



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

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

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE
CONTROL PARA LA MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE
INYECCIÓN DE AGUA EN EL POZO PZSIA-001 PARA LA
EMPRESA PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL
S.A.**

AUTOR: HIDALGO GUACHAMÍN, ROBERTO WILLIAM

DIRECTOR: ING. TIPÁN CONDOLO EDGAR FERNANDO

SANGOLQUÍ

2016



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL PARA LA MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA EN EL POZO PZSIA-001 PARA LA EMPRESA PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”, realizado por el señor ROBERTO WILLIAM HIDALGO GUACHAMÍN, 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 Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ROBERTO WILLIAM HIDALGO GUACHAMÍN para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 30 de marzo del 2016.

Ing. Edgar Tipán

DIRECTOR



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ROBERTO WILLIAM HIDALGO GUACHAMÍN, con cédula de identidad N. 1719601112 declaro que este trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL PARA LA MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA EN EL POZO PZSIA-001 PARA LA EMPRESA PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”, 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 declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 30 de marzo del 2016.

Roberto William Hidalgo Guachamín

1719601112



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, ROBERTO WILLIAM HIDALGO GUACHAMÍN, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO DE CONTROL PARA LA MONITORIZACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE AGUA EN EL POZO PZSIA-001 PARA LA EMPRESA PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mí exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 30 de marzo del 2016.

Roberto William Hidalgo Guachamín

1719601112

DEDICATORIA

A mis padres Willian y Nelly, a mi hermano Jonathan, a mi hermana Anahí, en fin a toda mi familia, quienes han estado incondicionalmente junto a mí, aconsejándome día tras día, apoyándome en cada decisión tomada, mostrándome que el camino correcto en la vida se lo hace mediante el buen ejemplo y trabajo constante.

Gracias por tanto y por todo.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida, la salud y la capacidad de permitirme culminar esta maravillosa etapa de mi vida.

A mis abuelitos, tíos, tías y primos que sabiamente me brindan consejos, palabras de apoyo y su amor incondicional.

A la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. por abrirme sus puertas, permitirme adquirir experiencia profesional y brindarme la oportunidad de realizar la tesis en sus instalaciones.

A mi director de tesis, Ing. Edgar Tipán cuyos conocimientos, esfuerzo, paciencia y dedicación han sido indispensables en mi formación académica y culminación del presente trabajo.

A mis amigos, Jefferson Rodríguez “Charango”, Gabriel Cárdenas “Gabicho”, Darío Aguilar “Xavi”, Diego Maya “Abejita”, Katherine Garcés “Zoqueta”, Bryan Lárraga “Rosado”, Jorge Clavijo “Clavo”, Josué Andino, Stefano Acosta, Natalia Benítez “Fanny” que con su amistad han hecho de mi estadía en la ESPE algo grato e inolvidable, con lo cual día tras día crezco como persona y entiendo el valor de la palabra amigo, este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes.

Muchísimas Gracias...!!!

Roberto Hidalgo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	I
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	II
AUTORIZACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Importancia del proyecto.....	2
1.3. Alcance del proyecto.....	2
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específicos	4
1.5. Generalidades de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. ...	5
1.5.1. Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.....	5
1.5.1.1. Descripción de la empresa.....	5
1.5.1.2. Misión.....	5
1.5.1.3. Visión.	6
CAPÍTULO 2	
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Descripción del proceso de extracción del crudo.....	7
2.2. Descripción del Proceso de Inyección de Agua.....	10
2.3. Descripción de los componentes del Proceso de Inyección de Agua existente.....	12
2.4. Conceptualización de un Sistema de monitorización.....	17

	vii
2.5. Definiciones y conceptos generales.	18
2.6. Descripción general del proyecto.....	19
2.7. Ubicación del proyecto.	19
2.8. Descripción de las Ingenierías por aplicarse.....	21
2.8.1. Ingeniería Conceptual.	21
2.8.2. Ingeniería Básica.....	21
2.8.3. Ingeniería de Detalle.	22

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA CONCEPTUAL.....	23
3.1. Definición de la visión y alcance del proyecto.	23
3.2. Definición de los requerimientos funcionales del proyecto.....	23
3.3. Diagrama del Proceso de Inyección de Agua.	24
3.4. Análisis de riesgos.	25
3.5. Cronograma de actividades.....	26
3.6. Análisis de factibilidades.	26
3.6.1. Factibilidad técnica.	26
3.6.2. Factibilidad económica.	27
3.7. Propuestas planteadas.....	28

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA	30
4.1. Nomenclatura.	30
4.2. Datos técnicos de los elementos.....	33
4.2.1. Levantamientos de planos.....	33
4.2.1.1. Elaboración de planos eléctricos.	34
4.2.1.2. Elaboración de planos mecánicos.....	34
4.2.2. Diagrama P&ID.	34
4.2.3. Layout general del tablero de control.....	127
4.3. Plan de trabajo.....	129

	viii
4.4. Diseño del tablero de control.	129
4.5. Selección de cables.	131
4.6. Selección de materiales y dispositivos.	133
4.7. Conexiones del PLC.....	135
4.8. Diseño del HMI para el sistema de monitorización.	137
4.9. Especificaciones de hardware y software.	137

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE	139
5.1. Lista y descripción de equipos.	139
5.2. Detalle de las conexiones realizadas.	165
5.3. Sistema de puesta a tierra utilizado.....	168
5.4. Señales y tags utilizados.....	170

CAPÍTULO 6

DESARROLLO DE LA INTERFAZ	173
6.1. Elaboración de la interfaz humano - máquina.....	173
6.1.1. Normas utilizadas para la elaboración del HMI.....	173
6.1.2. Consideraciones tomadas para la elaboración del HMI.....	173
6.1.3. Descripción de la HMI desarrollada.	182
6.1.4. Descripción de pantallas existentes.....	182
6.1.5. Descripción del funcionamiento.	186
6.2. Simulación del funcionamiento de la interfaz desarrollada.	189

CAPÍTULO 7

IMPLEMENTACIÓN.....	197
7.1. Integración de elementos de instrumentación y sistema de control.....	197
7.2. Puesta en marcha.....	214

CAPÍTULO 8

PRUEBAS Y RESULTADOS	216
8.1. Pruebas.....	216
8.1.1. Protocolos de Pruebas en fábrica – FAT (Factory Acceptance Test).....	216
8.1.1.2. Inspección visual del tablero de control.....	217
8.1.1.3. Revisión de materiales utilizados.....	217
8.1.1.4. Energización.....	217
8.1.1.5. Revisión y listado de puertos.....	217
8.1.2. Reporte fotográfico.....	218
8.2. Resultados.....	218
8.2.1. Carta de conformidad emitida por parte de Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.....	218
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Conclusiones.....	219
Recomendaciones.....	220
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	221
ANEXOS.....	222

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Fosa Recolectora de lodos FRL-001.....	12
Tabla 2. Características Trampa lanzadora TL-001.....	14
Tabla 3. Características Trampa de recibo TDR-001.....	14
Tabla 4. Características Filtro F-001/5116.....	14
Tabla 5. Características Fosa recolectora de lodos FRD-002.	15
Tabla 6. Características Bomba horizontal multietapa BHM-001.	16
Tabla 7. Datos referenciales del lugar donde funcionará el tablero de control. ...	20
Tabla 8. Tabla comparativa entre equipos CompactLogix y ControlLogix.....	28
Tabla 9. Nomenclatura utilizada en el desarrollo de documentos y anexos.....	31
Tabla 10. Identificadores de equipos existentes en el Proceso de Inyección de Agua.....	32
Tabla 11. Grados de protección NEMA.....	130
Tabla 12. Aliados estratégicos de Proyectos Integrales del Ecuador - PIL S.A.	134
Tabla 13. Especificaciones técnicas de equipos eléctricos y electrónicos del tablero para cálculo de la corriente total del sistema.....	161
Tabla 14. Lista de señales utilizadas en la elaboración del HMI.	172
Tabla 15. Especificación del uso de color en la interfaz.	178
Tabla 16. Especificación de los equipos para el desarrollo de pantallas.....	179
Tabla 17. Lista y descripción de alarmas.	180

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de torre de perforación.	8
Figura 2. Esquema básico de un proceso de Inyección de agua.....	10
Figura 3. Trampa lanzadora.....	13
Figura 4. Esquema básico de una trampa lanzadora.	13
Figura 5. Esquema básico de una trampa de recibo.	13
Figura 6. Filtro tipo canasta.....	15
Figura 7. Esquema básico del interior de un filtro tipo canasta.	15
Figura 8. Bomba horizontal multietapa.	16
Figura 9. Esquematación de un sistema SCADA.....	17
Figura 10. Esquema representativo – Manejo de datos del HMI.	18
Figura 11. Esquema de la ubicación de Bodegas y talleres PIL S.A.	20
Figura 12. Ubicación destino donde funcionará el tablero de control.....	20
Figura 13. Etapas del Proceso de Inyección de agua.	24
Figura 14. Dimensiones estándar de un PLC CompactLogix.	29
Figura 15. Esquema de las dimensiones de un PLC ControlLogix (1756-A7).....	29
Figura 16. Diagrama P&ID del proceso.	35
Figura 17. Sección del P&ID de equipos conectados a la bomba multietapa.	127
Figura 18. Layout general de equipos constitutivos del tablero de control.....	128
Figura 19. Conexiones de la tarjeta Modbus - slot 2.....	135
Figura 20. Conexiones de la tarjeta de Entradas Digitales - slot 3.....	136
Figura 21. Conexiones de la tarjeta de Salidas Digitales - slot 4.	136
Figura 22. Conexiones de la tarjeta de Entradas Analógicas - slot 5.	137
Figura 23. Gabinete de acero inoxidable, NEMA 4X (Marca: Hoffman, N. parte: A60H3616SSLP3PT).....	139
Figura 24. Panel doble fondo (Marca: Hoffman, N. parte: A60P36).....	140
Figura 25. Bases metálicas para tablero (Marca: Hoffman, N. parte:AFK1816).140	
Figura 26. Chasis de 7 slots (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-A7).	141
Figura 27. Fuentes de alimentación (Marca: Allen Bradley, N: 1756-PAR2)...	142
Figura 28. Dimensiones de fuentes AB.....	142
Figura 29. Esquema de conexión para reducción de fuentes.	143
Figura 30. Módulo procesador (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-L72).	144
Figura 31. Módulo de comunicación Ethernet (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-EN2T).....	145
Figura 32. Módulo de comunicación Modbus (Marca: Allen Bradley, N. parte: MVI56-MCM).....	146
Figura 33. Relación entre el PLC y variables digitales provenientes de alarmas relacionadas a la presión y caudal existentes.	147
Figura 34. Módulo de entradas digitales (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756- IB16).....	148
Figura 35. Distribución de entradas digitales en el módulo 1756-IB16.....	148

Figura 36. Relación entre el PLC y variables analógicas provenientes de transmisores de presión.	149
Figura 37. Distribución de entradas analógicas en el módulo 1756-IF8H.	150
Figura 38. Módulo de entradas analógicas (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-IF8H).	150
Figura 39. Relación entre el PLC y equipos a ser activados mediante salidas digitales.	151
Figura 40. Distribución de salidas digitales en el módulo 1756-OB8I y su alimentación.	152
Figura 41. Módulo de salidas digitales (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-OB8I).	152
Figura 42. Bloque de terminales de 36 pines (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-TBCH).	153
Figura 43. Relé de 110VAC (Marca: Allen Bradley, N. parte: 700-HLT1U1). .	154
Figura 44. PanelView 1000, full color (Marca: Allen Bradley, N. parte: 2711P-K10C4D9).	155
Figura 45. Switch Ethernet, 8 puertos Ethernet y 2 puertos de doble propósito (Marca: CISCO, N. parte: IE-3000-8TC-E).	156
Figura 46. Fuente de poder 85-264 VAC (Marca: SOLA, N. parte: SDN10-24-100P).	157
Figura 47. Dimensiones físicas del supresor de picos marca SOLA.	158
Figura 48. Supresor de picos (Marca: SOLA, N. parte: STV25K-10S).	158
Figura 49. Conexión entre fuentes y módulo de redundancia.	159
Figura 50. Módulo de redundancia (Marca: SOLA, N. parte: SDN 2.520RED).	160
Figura 51. Barra de cobre para sistema de puesta a tierra (Marca: Hoffman, N. parte: PGS2K).	160
Figura 52. Disyuntor de 10A (Marca: Allen Bradley, N: 1492-SPM1C200).	163
Figura 53. Fusilera (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1492-H4).	164
Figura 54. Bornera de paso (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1492-J3).	165
Figura 55. Conexión de alimentación principal.	165
Figura 56. Conexión para alimentación de equipos principales.	166
Figura 57. Conexión de fuentes redundantes del PLC.	167
Figura 58. Conexión de fuentes de alimentación.	167
Figura 59. Conexión principal del microswitch para iluminación.	168
Figura 60. Detalle del sistema de puesta a tierra eléctrico.	168
Figura 61. Detalle del sistema de puesta a tierra de instrumentación.	169
Figura 62. Sistema de puesta a tierra física.	169
Figura 63. Detalle de montaje del Sistema de puesta a tierra.	170
Figura 64. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz.	174
Figura 65. Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles.	174
Figura 66. Formato base de ventanas de tipo 1.	176
Figura 67. Formato base de ventanas de tipo 2.	177
Figura 68. Pantalla Principal o del Proceso general.	183

Figura 69. Ventana de ingreso al sistema.....	184
Figura 70. Ventana de información del PLC.....	184
Figura 71. Ventana de Alarmas.....	185
Figura 72. Ventana de Mensaje de Alerta de Alarma.	185
Figura 73. Esquema de la topología tipo árbol.....	186
Figura 74. Información del software RSLinx suministrado por PIL S.A.....	188
Figura 75. Información del software RSLogix suministrado por PIL S.A.....	188
Figura 76. Ingreso al sistema a través del botón “Ingresar al Sistema”.	189
Figura 77. Acceso a modificación de parámetros y botones de navegabilidad después de ingresar al sistema.....	190
Figura 78. Activación de botón "Bombas Booster".	191
Figura 79. Activación de botón "Bomba Multietapa".	191
Figura 80. Activación de botón "Electroválvulas F1”.....	191
Figura 81. Ingreso de valores de variables Caudal o Presión.....	192
Figura 82. Mensaje de alerta ante una alarma relacionada con las variables Caudal o Presión.	192
Figura 83. Información de la alarma activada.	193
Figura 84. Ventana "Información del PLC".	193
Figura 85. Ventana “Información del PLC” y comprobación de indicadores.....	194
Figura 86. Ventana de ayuda de la pantalla principal.	195
Figura 87. Ventana de ayuda de la pantalla Alarmas.	195
Figura 88. Ventana de ayuda de la pantalla Información del PLC.....	196
Figura 89. Ventana de ayuda de la pantalla Mensaje de alerta.	196
Figura 90. Canaleta plástica ranurada marca CAMSCO.....	197
Figura 91. Tornillo autopercorante.	197
Figura 92. Colocación de canaleta plástica mediante autopercorantes.....	198
Figura 93. Cortes realizados en la canaleta.	198
Figura 94. Aislantes para riel DIN.	199
Figura 95. Ajuste de riel DIN al aislante tipo barril.....	199
Figura 96. Sujeción del chasis para PLC al panel doble fondo.....	200
Figura 97. Terminales tipo ferrul para conexionado.	200
Figura 98. Bloque de terminales para conexión de módulos Allen Bradley.....	201
Figura 99. Brazo de conexión para PLC.	201
Figura 100. Ajuste de brazos para realizar el peinado del cable.	202
Figura 101. Distribución de cables en canaletas (peinado del cable) (1).	202
Figura 102. Distribución de cables en canaletas (peinado del cable) (2).	202
Figura 103. Conexionado del bloque de terminales de AC.....	203
Figura 104. Conexionado del bloque de borneras para entradas analógicas y equipos de comunicación Modbus.	203
Figura 105. Conexionado de fuentes SOLA.	204
Figura 106. Barra de tierra eléctrica con sus respectivos cables de conexión.....	204
Figura 107. Barra de tierra de instrumentación con sus respectivos cables de conexión.	204

	xiv
Figura 108. Ubicación de frenos de seguridad para equipos.....	205
Figura 109. Panel doble fondo listo para ser sujetado en gabinete metálico.....	205
Figura 110. Procesador 1756-L72 previo a su instalación.	206
Figura 111. Datos de fábrica del procesador 1756-L72.	206
Figura 112. Módulo de comunicaciones Ethernet 1756-EN2T previo a su instalación.	207
Figura 113. Datos de fábrica del módulo de comunicaciones Ethernet.	207
Figura 114. Módulo de comunicaciones Modbus previo a su instalación.	207
Figura 115. Datos de fábrica del módulo de comunicaciones Modbus.....	208
Figura 116. Módulo de entradas digitales 1756-IB16 previo a su instalación. ...	208
Figura 117. Datos de fábrica del módulo de salidas digitales 1756-IB16.....	208
Figura 118. Módulo de salidas digitales 1756-OB8I previo a su instalación.....	209
Figura 119. Datos de fábrica del módulo de salidas digitales 1756-OB8I.....	209
Figura 120. Módulo de entradas analógicas 1756-IF8H previo a su instalación.	209
Figura 121. Datos de fábrica del módulo de entradas analógicas 1756-IF8H. ...	210
Figura 122. Colocación del micro switch al gabinete metálico.	210
Figura 123. Ejemplo de conexiones a través de la estructura del gabinete.	211
Figura 124. Pruebas de energización de fuentes SOLA.	211
Figura 125. Prueba de energización y verificación de puertos Ethernet en switch CISCO (1).	212
Figura 126. Prueba de energización y verificación de puertos Ethernet en switch CISCO (2).	212
Figura 127. Vista frontal del tablero ensamblado.	213
Figura 128. Vista interior del tablero de control ensamblado.	213
Figura 129. Verificación del funcionamiento operacional del PLC.....	214
Figura 130. Verificación del funcionamiento operacional de fuentes SOLA.	215
Figura 131. Verificación del funcionamiento operacional de fuentes Allen Bradley.	215

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de la sección transversal de un conductor.	131
Ecuación 2. Resistividad volumétrica del cobre.	132
Ecuación 3. Reemplazo de valores en Ecuación 1.	132
Ecuación 4. Valor nominal de la sección transversal del conductor.	132
Ecuación 5. Análisis dimensional de la sección transversal del conductor.....	132
Ecuación 6. Reemplazo de equivalentes en Ecuación 5.....	132
Ecuación 7. Unidades de la sección transversal del conductor.	133
Ecuación 8. Corriente nominal de equipos.....	162
Ecuación 9. Cálculo de la corriente nominal del sistema.....	162
Ecuación 10. Reemplazo de valores en ecuación de la corriente nominal del sistema.....	162
Ecuación 11. Valor de la corriente nominal del sistema.	162
Ecuación 12. Fórmula para hallar la capacidad de corriente del disyuntor con factor de seguridad del 25%.	162
Ecuación 13. Reemplazo de valores en fórmula para hallar la capacidad de corriente del disyuntor.....	163
Ecuación 14. Valor de la corriente del disyuntor con factor de seguridad.....	163

RESUMEN

Sin duda alguna la extracción de crudo en el Ecuador fue durante las últimas décadas una de los principales fuentes de ingreso económico, este proceso consta de subprocesos industriales que requieren de su automatización. El trabajo realizado en este proyecto está relacionado a uno de estos subprocesos, básicamente al de la Inyección de Agua en pozos petroleros y a la implementación de un tablero de control que será destinado a manipulación y control de flujo de dicho líquido. El tablero a implementar cumplirá además con la tarea de la monitorización de dicho subproceso. Actualmente la supervisión del sistema de inyección de agua se requiere de la presencia de ingenieros instrumentistas u operarios, que vigilan cada cierto tiempo el perfecto funcionamiento de la instrumentación presente en dicho sistema y recogen datos en esos procesos de supervisión. Es así, como la finalidad de este proyecto es plasmar los conocimientos obtenidos específicamente en las materias de Control Industrial y Controladores Lógicos Programables para con ellos diseñar e implementar un tablero de control que cuente con un PLC y un PanelView, al igual que desarrollar la interfaz HMI permita de manera eficaz realizar la monitorización del Sistema de Inyección de Agua en el Pozo 012 del Bloque ATACAPI en la Provincia de Sucumbíos del Oriente ecuatoriano, siendo este proyecto suministrado por la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

PALABRAS CLAVE:

- PLC
- PANEL VIEW
- INTERFAZ HUMANO MÁQUINA – HMI
- TABLERO DE CONTROL

ABSTRACT

Undoubtedly the extraction of oil in Ecuador in recent decades was one of the main sources of income, this process consists of industrial threads that require automation.

The work done in this project is related to one of these threads, basically Water injection in oil wells and the implementation of a control panel that will be used for manipulation and control of flow of the liquid. The board that is to implement will comply with the task of monitoring this thread.

Currently monitoring the water injection system requires the presence of instrumentalist engineers or operators, who every so often monitor the perfect functioning of instrumentation present in the system and collect data on those monitoring processes.

Thus, as the purpose of this project it is to translate the knowledge gained specifically in the areas of Industrial Control and Programmable Logic Controllers in order to design and implement a dashboard that has a PLC and a PanelView, as well as to develop the HMI interface which effectively allows to perform monitoring of the Water Injection System in Well Block 012 Atacapi in Sucumbíos Province of eastern Ecuador, and this project provided by the company Proyectos Integrales del PIL S.A.

KEYWORDS

- PLC
- PANEL VIEW
- HMI
- CONTROL PANEL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La automatización de procesos industriales actualmente tiene gran acogida en técnicas en las que se requiere manipulación y control de flujo de agua. Esta automatización va de la mano con sistemas de monitorización de dichos procesos, monitorización que es de utilidad para actuar en el caso que se presente algún inconveniente durante el trabajo de los instrumentos.

Actualmente la supervisión del sistema de inyección de agua se requiere de la presencia de ingenieros instrumentistas u operarios, que vigilan cada cierto tiempo el perfecto funcionamiento de la instrumentación presente en dicho sistema y recogen datos en esos procesos de supervisión.

El presente proyecto se presenta con la finalidad de plasmar los conocimientos obtenidos específicamente en las materias de Control Industrial, Controladores Lógicos Programables y Redes Industriales para con ellos diseñar e implementar un tablero de control que cuente con un PLC marca Allen Bradley y un PanelView de la misma marca, que permita de manera eficaz realizar una adecuada monitorización del Sistema de Inyección de agua en el pozo 012 del bloque ATACAPI en la provincia de Sucumbíos del oriente ecuatoriano, este proyecto va a ser suministrado por la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

Con esto, se logrará que el sistema permita identificar los problemas de rendimiento antes de que afecten a sus operaciones normales, estar al tanto del estado actual de los equipos industriales y recibir alertas que permitirán una rápida y oportuna intervención ante posibles problemas.

1.2. Importancia del proyecto

La implementación de tableros de control en procesos industriales permite brindar la facilidad de supervisión remota del proceso productivo asegurando el funcionamiento de los instrumentos presentes en el sistema, así como brindar una herramienta para el mantenimiento preventivo.

Otro factor de gran importancia es la seguridad, debido a que al implementar un proceso de monitorización, se limita a los operarios a actuar en el proceso únicamente cuando sea necesario, lo cual a la vez involucra un cierto grado de mejora en sus labores cotidianas.

La aplicación de conocimientos adquiridos durante los estudios realizados en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE permite realizar de manera adecuada el proyecto planteado, especialmente gracias a los conocimientos adquiridos en PLC ya que se necesita diseñar e implementar un tablero de control con todos los componentes y equipos necesarios que permitan controlar las variables del proceso al que se lo va a destinar, además se requiere desarrollar una interfaz gráfica tanto para el panel del tablero y para la estación remota de supervisión, las mismas que deberán desarrollarse bajo normas, estándares y requerimientos del cliente.

La ejecución del proyecto planteado es necesaria para la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. ya que sus actividades laborables están orientadas a brindar servicios industriales para empresas contratistas, y este plan se encuentra dentro de un proyecto que se encuentra aprobado y listo para iniciar.

1.3. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye el diseño e implementación de un tablero de control destinado a ejecutar la monitorización de un Sistema de inyección de agua, sistema que posee entre sus componentes una bomba de inyección, una bomba de succión, transmisores de presión y temperatura, un variador de frecuencia e interruptores; el proyecto se dividirá en cuatro etapas: Identificación de elementos de campo que se

tienen en el sistema ya mencionado, diseño del tablero necesario con todos sus componentes, implementación del diseño realizado, pruebas de funcionamiento tanto del tablero como del sistema de monitorización y documentación.

En la primera etapa se realizará una identificación tanto de sensores y actuadores que participan en el sistema, para conocer las variables con las que se cuenta y establecer los equipos necesarios para la implementación del tablero. Para esto se realizarán los respectivos planos y diagramas de conexiones del tablero.

Posterior a esto, se brindará un mayor enfoque en el diseño y construcción del tablero de control, para lo cual es necesario identificar posibles alternativas en dispositivos, tanto en marca comercial como en características propias de los mismos. Dentro de esto es importante siempre tener en cuenta la cantidad de elementos que se van a colocar en el tablero, debido a que esto afecta directamente en el costo de implementación del proyecto. Un equipo indispensable que se debe seleccionar es el Controlador Lógico Programable (PLC) a utilizarse, los módulos que éste va a necesitar, el medio de transmisión por el cual se va a difundir la información a la estación remota, el conexionado que se va a realizar, etc.

Después de la etapa de diseño del tablero se procede a realizar la implementación y funcionamiento del mismo, así como de los dispositivos que lo componen.

Con lo anterior se procederá a desarrollar la interfaz humano - máquina que se desea implementar en el panel de visualización. Las simulaciones del funcionamiento del HMI se realizarán en los respectivos softwares en los que se esté trabajando el HMI y el programa del controlador lógico programable (PLC) que será desarrollado por separado.

La última parte del proyecto corresponderá básicamente a la implementación y pruebas del tablero de control tomando en cuenta las consideraciones del patrocinador del proyecto, al igual que al desarrollo de la información que requiere la ejecución de este proyecto.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Diseñar e implementar un tablero de control destinado para la monitorización remota del Sistema de Inyección de agua en el pozo ATACAPI PZSIA-001 para la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. para mejorar la supervisión del proceso disminuyendo posibles fallos mecánicos y corrigiéndolos de manera oportuna y eficaz.

1.4.2. Específicos

- Desarrollar la ingeniería conceptual del sistema de monitorización a implementarse dentro del Sistema de inyección de agua.
- Elaborar la ingeniería básica del proyecto, tomando como base la ingeniería conceptual desarrollada previamente, para así, estar al tanto de las especificaciones de los equipos e instrumentación presente en el sistema.
- Realizar la ingeniería de detalle del proyecto, enfocándose en las especificaciones técnicas necesarias, para posteriormente ejecutar la implementación de dicho proyecto.
- Realizar los diagramas P&ID del sistema de inyección de aguas según los sensores, actuadores y conexiones existentes.
- Diseñar un sistema de monitorización y supervisión tanto para el tablero como para el usuario remoto, utilizando una interfaz humano – máquina que sea funcional para el operario, teniendo en cuenta el software necesario para el mismo.
- Simular el sistema diseñado del HMI con la finalidad de brindar una clara idea del sistema que se desea implementar.
- Implementar el sistema de monitoreo en el tablero de control creado y realizar las pruebas correspondientes que verifiquen el perfecto funcionamiento del mismo.

- Generar un manual de usuario en cuanto al software desarrollado que brinde un fácil entendimiento a los operarios.

1.5. Generalidades de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

1.5.1. Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

1.5.1.1. Descripción de la empresa.

Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. es una organización que nace en los años 90 en Colombia y que se expande internacionalmente, comenzando sus trabajos en territorio ecuatoriano en el año 2002, para posterior instaurar sucursales en Perú y Bolivia, manteniendo así hasta la actualidad una trayectoria de 13 años en el mercado no solo ecuatoriano sino también en el sudamericano.

Es una empresa destinada a suministrar productos y servicios de alta calidad relacionados en el campo de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Instrumentación, Automatización, Telecomunicaciones, Mecánica y Civil, pudiendo evidenciar dicha calidad en cada uno de los procesos en los que se involucra, sin dejar a un lado la responsabilidad social y buscando siempre la satisfacción de las necesidades de los clientes.

PIL S.A. ha conseguido a lo largo de los últimos años ser una de las empresas pioneras en procesos de procura, construcción, montaje y puesta en marcha de proyectos para empresas petroleras que ejecutan sus actividades en el oriente ecuatoriano, el mismo que para este sector se encuentra dividido en bloques petroleros.

1.5.1.2. Misión.

Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. es una compañía líder en el mercado petrolero ecuatoriano, cuyo propósito es brindar servicios especializados y productos de calidad en ingeniería, procura, construcción, montaje y puesta en marcha de proyectos en los sectores energético, minero y en la industria en general. A través del uso de tecnología de punta, personal altamente capacitado, estándares de calidad y mejora continua de nuestros procesos. Garantizando rentabilidad a la compañía, satisfaciendo a las necesidades de nuestros clientes, mediante el cuidado del medio ambiente, seguridad, salud y calidad de vida de nuestros colaboradores. (PIL S.A., 2016)

1.5.1.3. Visión.

Para el 2018, llegar a ser líderes regionales, brindando servicios especializados y productos de calidad en ingeniería, procura, construcción, montaje y puesta en marcha de proyectos en los sectores energético, minero y en la industria en general, de esta manera, aportar al crecimiento y desarrollo de la región, mediante el uso racional y eficiente de los recursos naturales, cumpliendo siempre con nuestros principios y valores. (PIL S.A., 2016)

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción del proceso de extracción del crudo.

El proceso de extracción del crudo consta de 5 etapas fundamentales, las cuales se describen a continuación:

Exploración.

Es la etapa en la cual se realiza un estudio de suelos para localizar posibles yacimientos, en esta, se toman muestras de roca y suelo en los que se describe las características de la superficie, junto a estas muestras, imágenes satelitales y fotografías se puede realizar una investigación y análisis adecuado.

Sísmica.

Aquí es importante analizar dos tipos, la terrestre y la marina.

Para la sísmica terrestre se ubican pequeñas cantidades de sismigel (explosivo denso tipo sísmico, fácilmente sumergible en agua que no contiene nitroglicerina (INDUMIL, 2015)) en orificios de 8cm de diámetro y entre 5 y 15m de profundidad, se producen pequeñas detonaciones que generan ondas que se propagan hasta el subsuelo, a través de una estación receptora compuesta por equipos geófonos se recopila información de las diferentes características de las formaciones geológicas, así se genera una imagen de las diferentes capas del subsuelo, los geólogos determinan las zonas aptas para encontrar hidrocarburos y se da paso a la perforación exploratoria.

Para la sísmica marina se usan geófonos y pistolas de aire que será expulsado generando ondas que atraviesan el lecho marino y las diferentes formaciones del subsuelo y rebotan para ser identificadas por los geófonos y ser analizadas por geólogos.

Perforación.

El primer pozo que se realiza es el pozo exploratorio, el mismo que permite determinar si realmente hay o no hidrocarburos en la zona de perforación, para esto se instala una torre de perforación que permitirá abrir las formaciones del subsuelo hasta llegar al yacimiento que contiene el petróleo y/o el gas, esto puede durar entre un mes y más de un año dependiendo de la complejidad geológica y la profundidad del yacimiento.

La torre o taladro está compuesta de un sistema de tuberías que se van uniendo a medida que avanza la perforación, una broca va perforando el suelo, un sistema de lubricación bombea, inyecta, circula permanentemente y lubrica la broca, sostiene las paredes del pozo y saca a la superficie el material sólido que se va desintegrando; en la torre existen motores que imprimen la fuerza que requiere este proceso de perforación además de un sistema de prevención de la salida de fluidos provenientes del subsuelo; para llegar al yacimiento en las diferentes etapas de perforación se utiliza un tipo especial de tubería de revestimiento, la cual se cementa a las paredes del pozo y previene posibles contaminaciones de acuíferos.

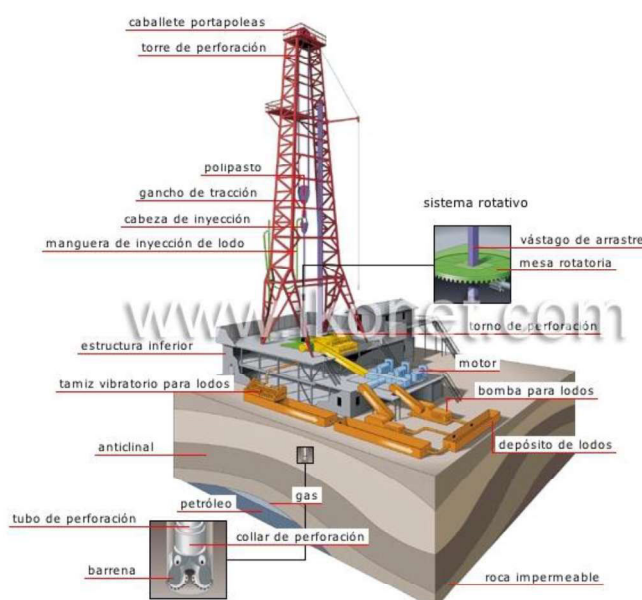


Figura 1. Esquema de torre de perforación.

Fuente: (QUIMICADE5TO, 2015)

Producción.

Al finalizar la perforación se realiza el completamiento y prueba de los pozos, si el volumen encontrado de hidrocarburos justifica su extracción se inicia la producción de crudo y gas natural. Mediante un instrumento llamado cañón se perfora el último tramo de tubería abriendo pequeños orificios por donde empezará a filtrarse el hidrocarburo, saliendo a la superficie de manera controlada, en ocasiones el hidrocarburo llega a la superficie por flujo natural, de ser necesario por insuficiente presión se instalan sistemas adicionales para bombear el crudo.

En el caso del gas natural, la presión del yacimiento es suficiente para impulsarlo hacia la superficie, pero en el caso del crudo cuando esta presión va disminuyendo es necesario implementar nuevos sistemas de compresión que estimulen su flujo hacia la superficie, aquí aparece entre varias la técnica de inyección de agua; una vez en la superficie se utilizan diferentes equipos para limpiar las impurezas del crudo, separando sedimentos, agua, gas natural y se adicionan diferentes químicos para alcanzar las propiedades químicas exigidas por el mercado y se coloca en tanques de almacenamiento para su transporte, en el caso del gas, se limpian sus impurezas y por razones de seguridad se agrega un producto químico que le da el olor característico, luego se almacena mediante compresión en tanques especiales o se convierte en gas licuado para transportarlo directamente.

Transporte.

Para el transporte a la refinería o puerto de exportación se utiliza un sistema de tuberías de acero llamados ductos, que en la mayoría de los casos van a 2 metros bajo tierra y en otros sobre la superficie del suelo, también se utiliza transporte automotor.

Para lograr que el petróleo o gas fluyan por el oleoducto o gasoducto se construyen estaciones o plantas de bombeo, las cuales inyectan presión al sistema impulsando el hidrocarburo. En los puertos o refinerías, se almacenan en tanques especiales.

Refinación.

El crudo se somete a temperaturas cercanas a los 400 grados centígrados mediante un conjunto de hornos, a través de torres de destilación, tanques, tuberías y separadores lo convierten en vapor, luego se conduce a la parte inferior de una torre cilíndrica que

puede superar los 50 metros, en ella se encuentran bandejas a diferentes niveles que separan los diferentes componentes del crudo según el punto de ebullición, a medida que el vapor sube por la torre pierde calor y se enfría, se condensa y se separan los diferentes componentes.

Mediante esta separación se puede extraer del petróleo diferentes productos como: gas propano, butano, ACPM (aceite combustible para motores), gasolina, keroseno, nafta, gasóleos, aceites lubricantes, asfaltos, etc. (ARIADNE, 2014)

Los gases como propano y butano se obtienen en la parte superior de la torre y los combustibles y asfaltos en la parte inferior. Los productos de este proceso se denominan derivados, se clasifican en combustibles y petroquímicos, existen más de 2000 y se utilizan en diferentes propósitos en la vida diaria.

2.2. Descripción del Proceso de Inyección de Agua.

Como se vio en la sección anterior, dentro del proceso de extracción del crudo es vital la cantidad de energía con la que se saca este material, ahora, al darse una considerable disminución de esta energía, la producción decrece y es preciso utilizar una adicional, la misma que es administrada mediante un proceso de inyección de agua, este líquido es producto de la extracción del crudo, ya que mediante la utilización de bombas se succiona al mismo tiempo agua y gas.

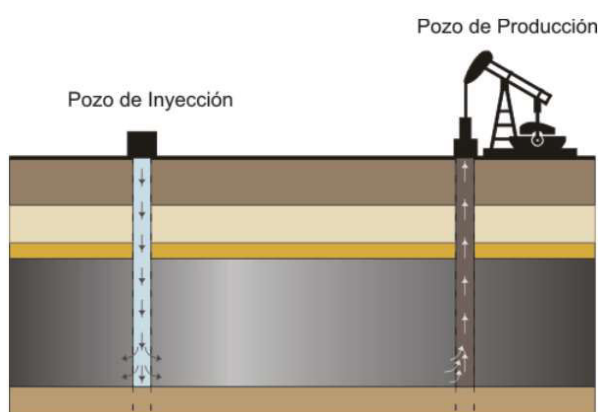


Figura 2. Esquema básico de un proceso de Inyección de agua.

El lugar donde se le da tratamiento al agua extraída y así garantizar las características necesarias que debe tener para su aplicación en la inyección es conocido como planta de tratamiento, dentro de los procesos involucrados en este se encuentran:

- Desbaste.
- Desarenado.
- Clarificación.
- Filtración.
- Eliminación de gases disueltos.
- Tratamiento bacteriológico.
- Tratamiento anticorrosivo.

Estos procesos se los aplica con la finalidad que el agua a utilizarse posea las siguientes características:

- No debe ser corrosiva. Se procurará eliminar el sulfuro de hidrógeno y el oxígeno que son dos fuentes comunes de problemas de corrosión.
- No debe contener minerales que afecten en la operación ya que estos pueden convertir al agua en muy saturada, y esto puede reducir la capacidad de flujo y a su vez puede generar corrosión.
- No debe contener sólidos suspendidos o líquidos en suficiente cantidad para causar taponamiento de los pozos de inyección.
- La salmuera (agua con alta concentración de sal disuelta) debe ser compatible con el agua presente inicialmente en la formación. El agua producida e inyectada debe ser manipulada separadamente, si no son completamente compatibles.

Tipos de inyección de agua.

Existen varios tipos de inyección de agua, de los cuales se detallan sus principales características a continuación.

Inyección periférica o externa.

Es conocida como inyección tradicional y su principio de funcionamiento se basa en inyectar el agua fuera de la zona de petróleo, en los flancos del yacimiento.

Este tipo de inyección es utilizada cuando no se posee una buena descripción del yacimiento o cuando los pozos de inyección se encuentran fuera de la zona de petróleo; es la utilizada en el área a la cual está destinado este proyecto, debido a la falta de extensión del área de extracción del crudo. Una gran ventaja de este tipo de inyección es que se puede utilizar antiguos pozos productores como pozos inyectoros evitando con esto nuevas perforaciones.

Inyección en arreglos.

Conocida como inyección dispersa o inyección de agua interna, consiste en inyectar agua dentro de la zona del petróleo, el agua invade esta zona y desplaza los fluidos del volumen invadido hacia los pozos productores. Esta inyección se la usa si existe un número considerable de pozos productores aledaños entre sí, además se puede utilizar pozos inyectoros entre los productores para obtener una distribución uniforme de pozos.

2.3. Descripción de los componentes del Proceso de Inyección de Agua existente.

Dentro del proceso de inyección de agua existente al que va a ser destinado el tablero de control existen una serie de equipos que es necesario detallarlos para saber con qué tipo de señales se trabajará, siendo estos los siguientes:

- Fosa recolectora de lodos.

Tabla 1.

Características Fosa Recolectora de lodos FRL-001.

Fosa recolectora de lodos	
Nomenclatura	FRL-001
Ancho	1[m] (3.28[ft])
Largo	1[m] (3.28[ft])
Profundidad	1[m] (3.28[ft])
Capacidad	1[m ³]

- Trampa lanzadora y de recibo.

Tanto la trampa lanzadora y la de recibo son equipos utilizados principalmente para introducir y remover herramientas de limpieza dentro de la tubería, para así dar mantenimiento o verificar los sistemas de transporte de hidrocarburos y fluidos en general. Son equipos impulsados por aire comprimido barren los poliductos, logrando así eliminar residuos de fluido, impurezas existentes en la tubería y/o restos de soldadura.



Figura 3. Trampa lanzadora.

Fuente: (DANIELCOM, 2016)

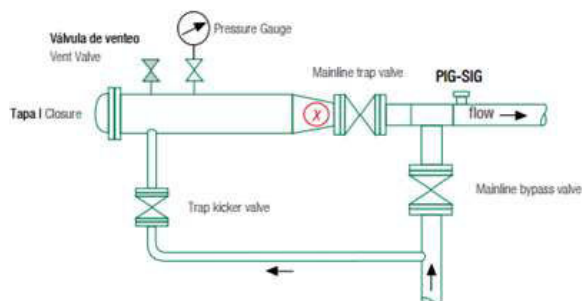


Figura 4. Esquema básico de una trampa lanzadora.

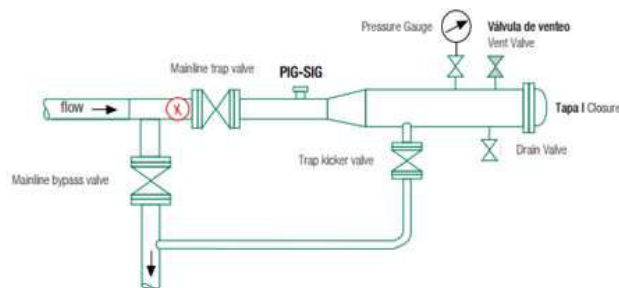


Figura 5. Esquema básico de una trampa de recibo.

Las trampas existentes en el sistema actual presentan las siguientes características:

Tabla 2.

Características Trampa lanzadora TL-001.

Trampa lanzadora.	
Nomenclatura	TL-001
Diámetro mayor	6 [in]
Diámetro menor	4 [in]
Presión de diseño	260 [PSGI]
Temperatura de diseño	170 [°F]

Tabla 3.

Características Trampa de recibo TDR-001.

Trampa de recibo.	
Nomenclatura	TDR-001
Diámetro mayor	6 [in]
Diámetro menor	4 [in]
Presión de diseño	260 [PSGI]
Temperatura de diseño	170 [°F]


- Filtro tipo canasta.

Este tipo de filtro es usado en aplicaciones en las que se involucra el uso de gases y líquidos, por lo general no se requiere de una limpieza muy frecuente. Este tipo de filtros deben de ser instalados horizontalmente ya que son fabricados para retener más partículas no deseadas dentro de la línea de tubería brindando así protección a equipos como bombas, válvulas, medidores, etc.

Tabla 4.

Características Filtro F-001/5116.

Filtro.	
Nomenclatura	F-001/5116

Continúa 

Tipo	Canasta
Fluido	Agua
Capacidad	3000 [BWPD]
Presión de diseño	260 [PSIG]
Temperatura de diseño	170[°F]



Figura 6. Filtro tipo canasta.

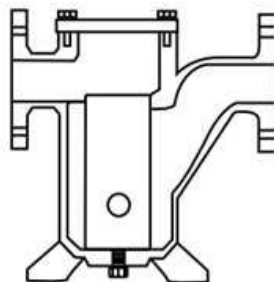


Figura 7. Esquema básico del interior de un filtro tipo canasta.


- Fosa recolectora de lodos.

Es aquella fosa en la cual se acumularán las impurezas que se sacan de las tuberías, sus características se muestran a continuación:

Tabla 5.

Características Fosa recolectora de lodos FRD-002.

Fosa recolectora de lodos	
Nomenclatura	FRD-002

Continúa 

Ancho	2 [m]
Largo	2 [m]
Profundidad	2 [m]
Capacidad	8 [m ³]

- Bomba horizontal multietapa.

Se llama bomba multietapa, aquella cuya estructura se basa en contener varios impulsores o turbinas de agua montadas en un mismo eje. El principio de funcionamiento de estas es el siguiente: en la primera etapa una turbina inicial chupa el agua de ingreso de la bomba, eleva la presión y se la pasa a la siguiente etapa en la cual una segunda turbina elevará nuevamente la presión y así sucesivamente hasta alcanzar la última etapa que es la que suministrará agua a gran presión.

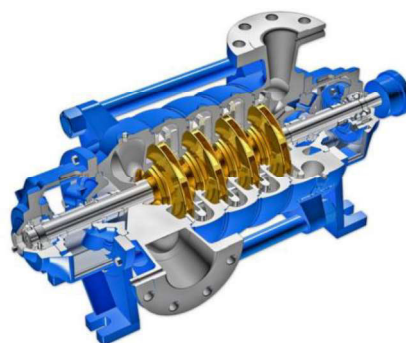


Figura 8. Bomba horizontal multietapa.


Fuente: (NEPTUNOPUMPS, 2016)

Las características de la bomba horizontal multietapa existente se muestran a continuación:

Tabla 6.

Características Bomba horizontal multietapa BHM-001.

Bomba horizontal multietapa	
Nomenclatura	BHM-001

Continúa 

Tipo	Centrífuga
Fluido	Agua
Capacidad	3000 [BWPD]
Cabeza	4620 [ft]

2.4. Conceptualización de un Sistema de monitorización.

La idea de utilizar el tablero de control dentro de un sistema SCADA es para realizar un control sobre un proceso industrial y que a la vez permita obtener datos y el control sobre los instrumentos constitutivos del sistema o instrumentos de campo. Sin duda alguna el tablero de control a implementarse será considerado como un RTU o Unidad de terminal remota que brindará alertas al operador sobre posibles cambios detectados en la planta.

A continuación se muestra un esquema funcional de un sistema SCADA.

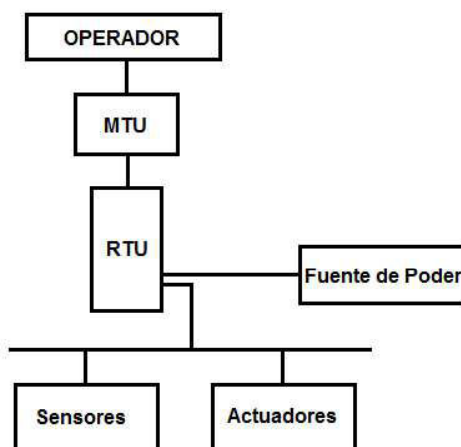


Figura 9. Esquematización de un sistema SCADA.

De la ilustración anterior el RTU sería el tablero de control que se está diseñando en el presente proyecto, para entender de mejor manera lo mencionado anteriormente, se detallan a en el punto 2.5 los principios y definiciones básicas que se encuentran estrechamente relacionadas con el desarrollo del proyecto.

2.5. Definiciones y conceptos generales.

- HMI: o Interfaz Humano-Máquina, consideradas generalmente como ventanas dinámicas que permiten brindar un control de aquellos procesos para las que fueron diseñadas. Según la *Guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión* GEDIS un HMI usualmente es utilizada para implementar procesos de monitoreo, control y obtención de información relacionada a procesos industriales. Siendo necesario para su funcionamiento la utilización conjunta con un PLC como se muestra a continuación:

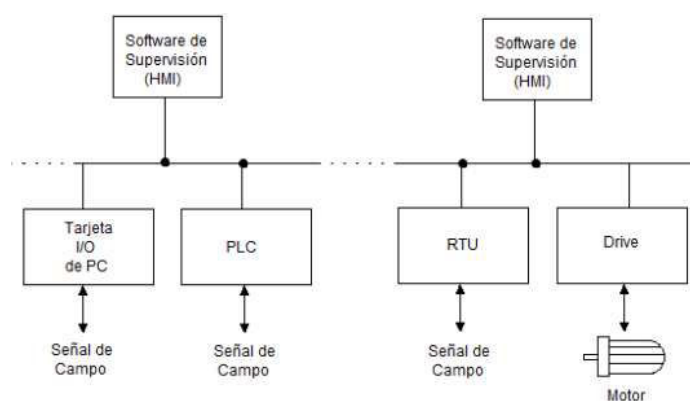


Figura 10. Esquema representativo – Manejo de datos del HMI.

Fuente: (IACI, 2012)

- PANEL VIEW: o terminales gráficos, son dispositivos de pantalla para montaje en panel que ofrecen opciones de teclado o pantalla táctil para el operador. Estos terminales gráficos están disponibles en tamaños de pantalla de 4 a 10 pulgadas. Incluyen procesadores de CPU de 800 MHz, pantallas de alta resolución con luz de retroalimentación LED que admiten hasta 65,000 colores, memoria flash y memoria dinámica RAM. Los puertos de comunicaciones Serial y Ethernet incorporados son compatibles con distintas redes.
- PLC: de las palabras en inglés “*Programmable Logic Controller*” cuyo significado es Controlador lógico programable, es un dispositivo que posee la capacidad de ser operado digitalmente y utiliza memoria para almacenar

internamente todas las instrucciones que caracterizan su comportamiento. Existe una gran variedad de marcas y tipos, pero es importante resaltar que en el desarrollo del proyecto se utilizará un PLC tipo modular.

- **TABLERO DE CONTROL:** Es aquel tablero cuyo objetivo y utilidad principal es controlar adecuadamente una situación. Está compuesto por switch e indicadores que dan seguimiento periódico a un proceso y permiten tener un mayor conocimiento sobre la situación del proceso al que fueron destinados.
- **SCADA:** Un sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) es la aplicación de software, diseñada para controlar y supervisar procesos a distancia; se basa en la adquisición de datos de procesos remotos.

2.6. Descripción general del proyecto.

El proyecto en general consiste en el diseño e implementación de un tablero de control que tendrá como finalidad realizar el control y monitoreo de un sistema de inyección de agua, la propuesta de este proyecto es implementar el tablero de control dotado de un PLC y una interfaz de usuario que posterior permita dar un seguimiento constante al proceso y las variables que éste involucra, pero dependerá de todos los requerimientos que el cliente suministre a lo largo de la implementación del tablero.

2.7. Ubicación del proyecto.

El tablero será construido completamente en la ciudad de Quito en bodegas de Proyectos Integrales del Ecuador ubicadas en la Av. Eloy Alfaro y De Los Aceitunos, pero será destinado para el oriente ecuatoriano.



Figura 11. Esquema de la ubicación de Bodegas y talleres PIL S.A.

A continuación se muestra el lugar al que se destinará el tablero de control:

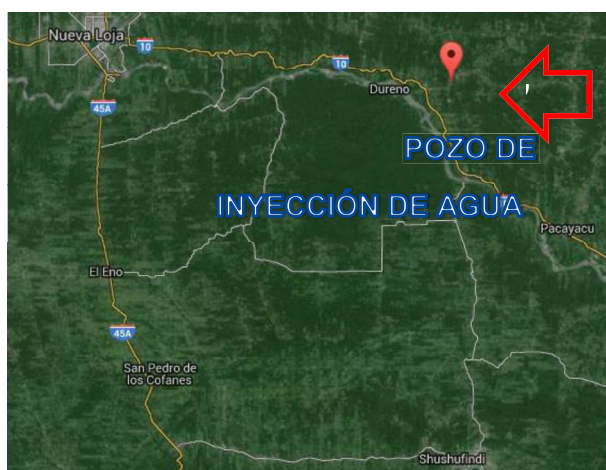


Figura 12. Ubicación destino donde funcionará el tablero de control.

Tabla 7.

Datos referenciales del lugar donde funcionará el tablero de control.

Provincia	Sucumbíos
Cantón	Lago Agrio
Parroquia	Dureno
Latitud	0.053889
Longitud	-76.6603

2.8. Descripción de las Ingenierías por aplicarse.

2.8.1. Ingeniería Conceptual.

Mediante la ingeniería conceptual se identificará la viabilidad técnica y la viabilidad económica del proyecto a implementarse, para así marcar el prototipo base para la elaboración de la ingeniería básica y la de detalle. Es importante dentro del desarrollo de esta ingeniería establecer los requerimientos del proyecto.

Generalmente dentro de los conceptos a analizar en esta etapa se encuentran:

- Especificaciones básicas del tablero a implementarse.
- La normativa bajo la cual se va a construir el tablero y bajo los cuales deben regirse los componentes del mismo.
- Descripción general del proceso de fabricación.
- Identificación y listado de los requerimientos del usuario/cliente.
- Diagramas de bloques, flujos de materiales, personas y esquemas de procesos.
- Elaboración de la lista inicial de equipos a utilizarse.

2.8.2. Ingeniería Básica.

Permite definir los lineamientos generales y las ideas básicas del proyecto, ya que en estas se basará la ingeniería de detalle al igual que la elaboración de los planos constructivos.

Dentro de esta ingeniería se elaboran planos, especificaciones técnicas, y documentación de oferta si fueran necesarios.

Para esta etapa se definen los siguientes trabajos:

- Estudios y requerimientos del sistema: voltajes y corrientes nominales, posibles extensiones futuras en el sistema.
- Esquemas unifilares.

- Ubicación de equipos o layout.
- Definición y especificación de equipos.
- Definición del cableado.
- Esquemas funcionales iniciales.

Cabe mencionar que la ingeniería básica no es constructiva, con los planos y documentación generada en esta etapa no se pueden construir ni montar los equipos que se disponen, por el contrario, gracias a la ingeniería básica se podrá evaluar el proyecto a realizarse y se tendrá una estimación real para brindar una cotización ajustada a los requerimientos del proyecto.

A la ingeniería básica generalmente se la desarrolla en dos etapas:

- Toma de datos y elaboración de requerimientos del usuario.
- Desarrollo de los trabajos descritos anteriormente.

2.8.3. Ingeniería de Detalle.

La ingeniería de detalle, se ajusta a las especificaciones técnicas obtenidas mediante el desarrollo de la ingeniería básica, para lo cual la ingeniería básica deberá ser sometida a una cuidadosa y meticulosa revisión. Esta ingeniería debe ser realizada bajo normas aceptadas por las partes involucradas en el proyecto. El objetivo primordial de desarrollar la ingeniería de detalle es convertir la información de la ingeniería básica en el diseño del sistema a implementarse, brindando con esto una facilidad al momento de adquirir o construir los elementos necesarios para la implementación.

Dentro de las funciones de la ingeniería de detalle está la elaboración de:

- Planos y esquemas.
- Memorias de cálculo.
- Especificaciones técnicas que permitan realizar a un tercero (generalmente el contratista) todos los trabajos detallados.
- Dimensionamiento de los conductos e instalaciones eléctricas a utilizarse.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA CONCEPUAL

3.1. Definición de la visión y alcance del proyecto.

El presente proyecto tiene como objetivo realizar el diseño e implementación de un tablero eléctrico que cuente con las siguientes características:

- Gabinete metálico bajo normativa NEMA.
- Cableado total y correctamente identificado mediante el uso de marquillas o identificadores adhesivos.
- Cumpla con los requerimientos funcionales del sistema al que se lo va a destinar.

3.2. Definición de los requerimientos funcionales del proyecto.

Dentro de los requerimientos funcionales para el desarrollo del proyecto, el cliente considera necesario los parámetros mínimos que se deben cumplir en la parte técnica del PLC, dentro de los cuales se destacan:

- Poseer un controlador lógico programable con capacidad de datos de 2MB.
- El número de entradas digitales mínimo será 16 con alimentación de 24VCC
- Se contará con 8 salidas digitales a transistor PNP.
- Se debe tener un mínimo de 8 entradas analógicas que funcionen bajo el rango de corriente de 4 a 20mA con un resolución de 8 cifras significativas.
- Se necesitará disponer de Comunicación serial RS 232 / 485 protocolo Modbus RS-485.
- La comunicación entre el tablero y la estación remota se la realizará vía Ethernet.
- Para la alimentación del PLC es necesario contar con fuentes de alimentación de 24VCC y 10A.

- Se contará con un sistema de redundancia de fuentes de alimentación y con un supresor de picos.
- Para conexiones futuras deberá suministrarse 2 puertos de fibra óptica y 1 switch de 8 puertos Ethernet.
- Para visualización del o los operarios se dispondrá de un Panel full color de al menos 7 pulgadas.

3.3. Diagrama del Proceso de Inyección de Agua.

Siendo la inyección de agua un proceso en el cual se involucran a varios equipos industriales, es necesario detallar el orden en el cual actúan dentro del proceso, y con esto entender las variables, alarmas y señales que se utilizarán en el diseño del HMI y posterior programación del PLC en campo. Es por esto que se ha dividido al proceso en 5 etapas denominadas: Activación de bombas booster, Accionamiento del lanzador y receptor, Filtraje, Activación de la bomba multietapa y la etapa final Inyección en pozo.

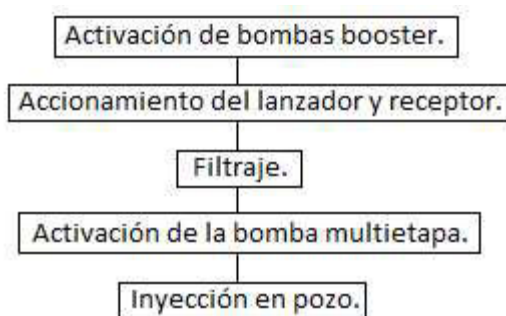


Figura 13. Etapas del Proceso de Inyección de agua.

El proceso inicia con la activación de bombas booster, las mismas que aumentan la presión del agua proveniente de la estación de reserva o almacenamiento, este líquido pasará por un tratamiento de químicos para disminuir la corrosión que pueda causar en la tubería del proceso. Siendo considerable en esta etapa tomar en cuenta que se necesitarán señales digitales para la activación de dichas bombas.

A continuación se cuenta con una trampa lanzadora y una trampa recibidora, ambas provistas de un indicador de presión, un indicador de posición y de una válvula de seguridad de presión, en la sección 2.3 se detallaron las características técnicas de estos equipos así como su funcionalidad.

En la etapa de filtraje se utilizan dos filtros para brindar un mejor tratamiento al agua, estos cuentan con indicadores de diferencial de presión.

En la fase de activación de la bomba horizontal multietapa se cuenta de este equipo dotado de un switch diferencial de viscosidad y de dos indicadores de presión, uno antes y uno después de la bomba.

Por último, en la etapa de inyección de agua se cuenta con un indicador de presión el cual permitirá visualizar que efectivamente se cuenta con la presión necesaria en el proceso.

3.4. Análisis de riesgos.

El HMI a implementarse brindará un aporte ligado a varios aspectos, entre ellos la parte seguridad, es decir, dará una herramienta que permitirá minimizar los riesgos a los que está expuesto el operario cuando tenía que vigilar personalmente un proceso industrial y con esto ponía en riesgo su integridad física y mental.

Es por esto que un HMI permite obtener datos en tiempo real y brindar facilidad de mantenimiento, lo cual limitará el contacto directo del operario en la zona de trabajo, evitando así posibles enfermedades laborales que se pueden presentar, como por ejemplo:

Silicosis y Asbestosis, siendo la silicosis una enfermedad crónica del aparato respiratorio producida por haber aspirado polvo de sílice en gran cantidad; por otro lado la asbestosis que es una enfermedad ocasionada por la inhalación de fibras de asbesto y esto puede influir en la formación de tejido cicatricial (fibrosis) en el interior del pulmón y por ende un cáncer pulmonar.

La silicosis se da por la aspiración de polvo sílice al que están expuestos los trabajadores en procesos hidráulicos en el ámbito petrolero, mientras que el asbesto que produce asbestosis se lo puede encontrar en equipos de la refinería que comúnmente utilizaban el aislador con asbesto, equipos como tuberías, tanques, reactores de calor, cambiadores, calderas, hornos, bombas, etc.

3.5. Cronograma de actividades.

El cronograma de actividades planteado deberá regirse a un límite de días impuesto por el cliente para la entrega del tablero; si bien es cierto para la implementación de un tablero de control PLC se tiene un período aproximado de 20 semanas pero este tiempo puede variar por requerimientos del cliente o por cuestiones de importación de equipos, en la medida de lo posible los trabajos a realizarse se deben ajustar a este período de tiempo, este cronograma se lo puede visualizar de mejor manera en el “Anexo 1. Cronograma de Actividades” y detalla las principales actividades ejecutadas en la elaboración de este proyecto. (Ver Anexo 1.)

3.6. Análisis de factibilidades.

El análisis de factibilidades permitirá orientar de manera adecuada la toma de decisiones del proyecto, para esto se ha considerado indagar en dos tipos, la factibilidad técnica y la económica, con la finalidad de medir las posibilidades de éxito o fracaso del proyecto y así proceder o no con su implementación.

3.6.1. Factibilidad técnica.

A través de esta, se pretende demostrar que el proyecto puede ponerse en marcha, señalando posibles opciones para la implementación así como los problemas que involucra dicha consumación.

Dentro de esto se pretende:

- Brindar un correcto funcionamiento del tablero, esto se podrá garantizar gracias al trabajo en conjunto con personal técnico capacitado con el que se cuenta en la empresa, el mismo que ya posee experiencia en la implementación de proyectos similares al presente.
- Estudiar la posibilidad tecnológica (existencia de equipos) para esto se verificará a través de varios proveedores la existencia de equipos y posibles reemplazos necesarios, ya que un problema al considerar un elemento es que éste ya no se encuentre en el mercado.
- Analizar regulaciones y el impacto ambiental que provocaría la implementación del proyecto, debido a que debe ser llevado a cabo satisfactoriamente con el menor riesgo posible.

3.6.2. Factibilidad económica.

La finalidad de ejecutar esta factibilidad es mostrar que el proyecto es rentable económicamente, es decir, que después de la implementación del mismo se haya producido una rentabilidad para la empresa, inicialmente se necesitará de una inversión para la adquisición de materiales y ensamble del mismo, cosa que es justificada por la ganancia que se generará al momento de entregar el proyecto, esta inversión será cubierta en su totalidad por la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

Dentro de los trabajos en los cuales se involucra la empresa existe un margen de rentabilidad mínimo garantizado por el departamento de Comercialización, gracias a la ayuda de este departamento se pudo deducir que este proyecto es económicamente factible.

3.7. Propuestas planteadas.


Dentro de las propuestas a plantear se ha considerado un aspecto extra, que son las alianzas estratégicas comerciales que la empresa Proyectos Integrales del Ecuador ha establecido con compañías de gran prestigio en el campo de la instrumentación industrial. Siendo hoy en día PIL S.A. distribuidor autorizado de Rockwell Automation, Wonderware, Yamasaki, Thermofisher, Energy Solutions, Entek, etc., es por esto que el trabajo se implementará con equipos de las marcas asociadas.

Siendo el PLC el equipo primordial dentro del tablero de control, es necesario hacer una comparación entre dos tipos de PLC de la marca Allen Bradley, para lo cual se tiene la siguiente tabla comparativa:

Tabla 8.

Tabla comparativa entre equipos CompactLogix y ControlLogix.

	CompactLogix	ControlLogix
Software de programación	RSLogix 5000 (última versión 20.01.00)	RSLogix 5000 (última versión 20.01.00)
Opciones de comunicación	Puertos EtherNet/IP para equipos 1769-L32E y 1769-L35E y puertos ControlNet para equipos 1769-L32C y 1769-L35CR	EtherNet/IP ControlNet DeviceNet Data Highway Plus Remote I/O SynchLink Third-party process and device networks
Módulo de comunicación	Equipo 1769-SDN	1756-EN2T
I/O	Módulos de montaje en Riel DIN	Proporciona de 8 a 32 puntos por módulo

Continúa 

Memoria del controlador	Entre 512KB y 1.5MB	Entre 2MB y 40MB
Número de tarjetas admitidas	Entre 4, 6 u 8	Según chasis hasta 17 módulos adicionales
Número de módulos de I/O locales admitidos	16 o 30 distribuidos en 3 bancos de I/O	128000 I/O máximo
Tipo de equipo	Industrial de Grupo 1, Clase A	Clase 1, División 2 Grupo A
Consideraciones de sensibilidad	Ante descargas electrostáticas	Presenta mayor robustez que un CompactLogix

A continuación se presentan los esquemas y dimensiones tanto de equipos CompactLogix como de equipos ControlLogix.

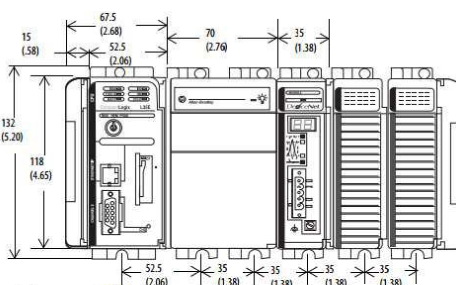


Figura 14. Dimensiones estándar de un PLC CompactLogix.

Fuente: (Rockwellautomation, 2015)

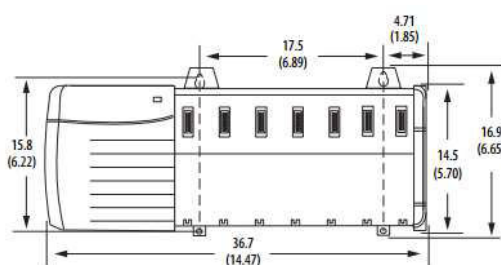


Figura 15. Esquema de las dimensiones de un PLC ControlLogix (1756-A7)

Fuente: (Rockwellautomation, 2015)

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA BÁSICA

Una vez realizada el análisis de factibilidades es necesario realizar la profundización del proyecto, mediante el cual detallar los diagramas a implementarse, para lo cual se ha previsto examinar lo siguiente:

- Nomenclatura.
- Datos técnicos de los elementos.
- Elaboración de planos.
- Diagramas P&ID.
- Plan de trabajo.
- Diseño del tablero de control.
- Selección de cables.
- Selección de materiales y dispositivos.
- Conexiones del PLC.
- Hojas de especificaciones de instrumentos, equipos e insumos.
- Especificaciones de hardware y software

4.1. Nomenclatura.

Para trabajar bajo cierta organización en cuanto a la identificación de equipos y elementos del sistema se ha visto indispensable parametrizar las variables dentro de los diagramas de potencia, control, instrumentación, etc., así como el conocer los distintos identificadores de equipos expuestos en el diagrama P&ID.

A continuación se muestran tanto la nomenclatura de documentos a utilizarse como los identificadores mencionados, nomenclatura basada en un documento estándar utilizado por contratistas petroleras, en el cual se detallan los requerimientos mínimos

para la elaboración de tableros de control, dicho documento se lo puede encontrar en el “Anexo 2. Formato para codificación de Documentos.” (Ver Anexo 2.)

Tabla 9.

Nomenclatura utilizada en el desarrollo de documentos y anexos.

Nomenclatura	Descripción
PLN	Abreviatura estándar utilizada para la descripción de la palabra “Plano”.
ANX	Abreviatura utilizada para la descripción de la palabra “Anexo”.
TB	Iniciales de “Terminal Block” o bloque de terminales.
DI	Iniciales de “Digital Input” o entradas digitales.
MCB-1	Nomenclatura utilizada para disyuntores.
UPS	Alimentación principal
[L]	Representación de línea o fase de alimentación.
[N]	Representación de neutro.
PLC-PS1	Fuente N.01 de alimentación del PLC.
PLC-PS2	Fuente N.02 de alimentación del PLC.
SURGE1	Fuentes de alimentación SOLA.
OUTLET	Tomacorrientes
SURGE2	Supresor de picos.
SYS RED	Módulo de redundancia para fuentes SOLA
PLC	PLC ControlLogix
P&ID	Diagrama de tuberías e instrumentación, en inglés “Piping and Instrumentation Diagram”
GND	Abreviatura de la palabra “Ground” o tierra en español.
INST.	Abreviatura de la palabra “Instrumentación”.
ELEC.	Abreviatura de la palabra “Eléctrica”.

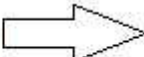
Lo que se busca es asemejar todo tipo de identificación al nombre (tag) del tablero, para así brindar un mejor entendimiento del funcionamiento del sistema, de igual

manera se procederá a identificar las distintas áreas a las que pertenecen los documentos elaborados.

Tabla 10.

Identificadores de equipos existentes en el Proceso de Inyección de Agua.

Identificador	Descripción
PI	Indicador de presión
PSV	Válvula de seguridad de presión
SP	Punto de prueba de velocidad o frecuencia
VDS	Switch diferencial de viscosidad
PSLL	Luz piloto de switch de presión baja
PT	Transmisor de presión
VAHH	Alarma de viscosidad alta alta
VI	Indicador de Viscosidad
PALL	Alarma de presión baja baja
PAHH	Alarma de presión alta alta
HS	Switch manual
TT	Transmisor de temperatura
VT	Transmisor de viscosidad
VSHH	Switch de viscosidad baja baja
XS	Switch no clasificado
XI	Indicador no clasificado
VAH	Alarma de viscosidad alta
LALL	Alarma de nivel bajo bajo
PAH	Alarma de presión alta
PSHH	Switch de presión alta alta
PDAH	Alarma de diferencial de presión alta
FAH	Alarma de caudal alto
FAL	Alarma de caudal bajo
FALL	Alarma de caudal bajo bajo

Continúa 

FQI	Indicador de cantidad de caudal
FQIT	Transmisor indicador de cantidad de caudal
FE	Elemento primario de caudal
PDSH	Switch diferencial de presión alta
PDI	Indicador diferencial de presión

4.2. Datos técnicos de los elementos.

4.2.1. Levantamientos de planos.

El proceso de levantamiento de planos es vital para conocer la manera en la que se utilizarán los distintos elementos y conexiones internos del tablero.

Dentro de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. en un proyecto se ejecutan planos en distintas revisiones:

- Planos para revisión interna, que son aquellos que se generan inicialmente y están destinados a revisarse por el área de trabajo, dentro de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador el área encargada de los tableros y contenedores eléctricos es denominada “Paquetizados”.
- Planos para revisión interdisciplinaria, estos, serán revisados conjuntamente con áreas comerciales, de ingeniería, compras, etc., para verificar el diseño realizado.
- Planos para aprobación, son aquellos que se envían al cliente para obtener una orden de construcción.
- Planos para construcción, son desarrollados a partir de los comentarios obtenidos por parte del cliente en cuanto a los planos para aprobación.
- Planos AsBuilt, son los planos que se sacan a partir de la implementación física del tablero, para con esto verificar la construcción aprobada previamente.
- Planos RedLine, son aquellos en los cuales se hacen constar las diferencias en ejecución del tablero y lo que previamente se había diseñado.

4.2.1.1. Elaboración de planos eléctricos.

Para los planos o diagramas eléctricos se consideran los siguientes:

- Diagrama de conexionado AC/DC.
- Conexionados de las tarjetas de entradas y salidas tanto digitales como analógicas.
- Sistemas de puesta a tierra.

Los planos eléctricos para el presente proyecto fueron desarrollados en las revisiones: Para Construcción y As Built, los mismos que se encuentran detallados de mejor manera en el Anexo 3 – Planos eléctricos. (Ver Anexo. 3)

4.2.1.2. Elaboración de planos mecánicos.

Para la parte mecánica se ha considerado mostrar la constitución y características del gabinete metálico a utilizarse así como también detallar los distintos montajes requeridos en el mismo, estos planos se encuentran en el Anexo 4 – Planos mecánicos. (Ver Anexo. 4)

4.2.2. Diagrama P&ID.

El diagrama P&ID del proceso al cual se destinará el tablero fue suministrado por el cliente, el mismo que se encuentra ejecutado bajo la norma ISA-S88.01 encargada de establecer parámetros relacionados con el control de procesos por lotes, dicho diagrama se lo puede visualizar de mejor manera en el Anexo 5 – Diagrama P&ID”. (Ver Anexo. 5) y es el mismo que se desglosa a continuación.

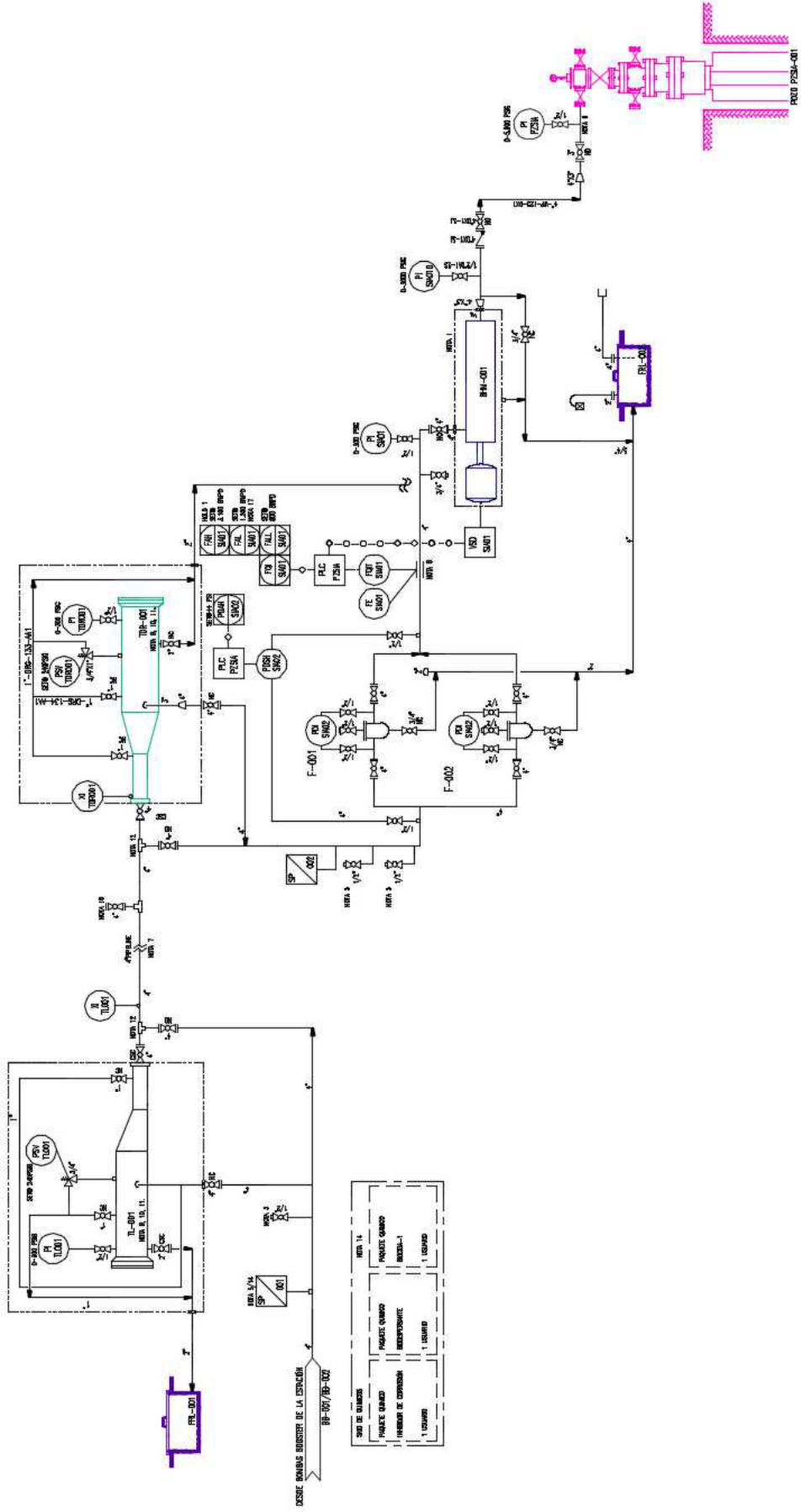


Figura 16. Diagrama P&ID del proceso.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

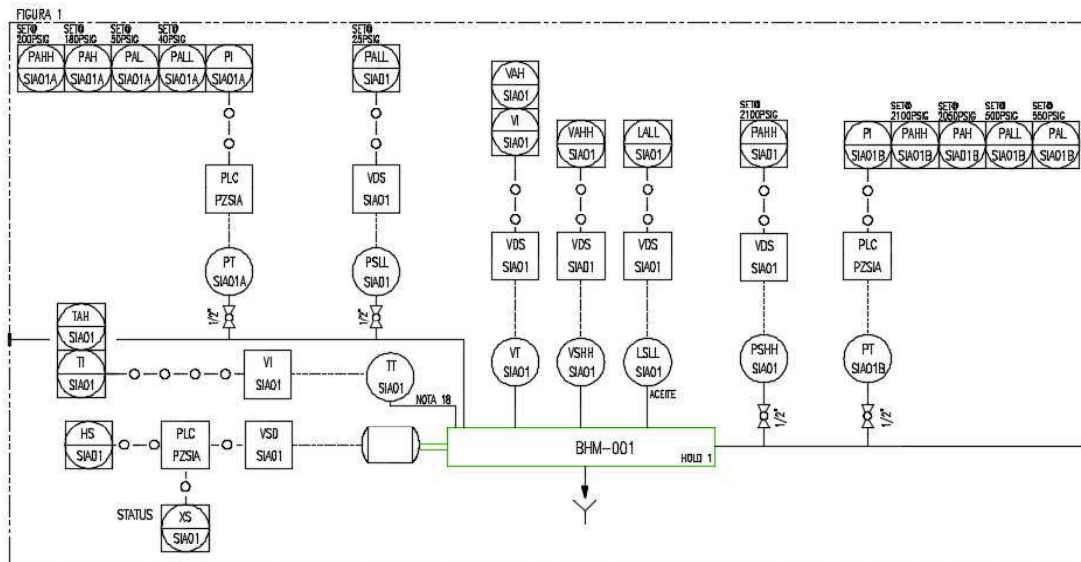


Figura 17. Sección del P&ID de equipos conectados a la bomba multietapa.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Es justo mencionar que mediante el análisis inicial de este diagrama se pudo establecer la cantidad de entradas y salidas (digitales y analógicas) necesarias para el desarrollo del proyecto, para con esto determinar el número de tarjetas o módulos para el PLC a seleccionarse. De igual manera todos los equipos e indicadores del P&ID se muestran en la TABLA 10. Identificadores de equipos existentes en el Proceso de Inyección de Agua. (Ver Tabla 10)

4.2.3. Layout general del tablero de control.

Un layout general del tablero representa e indica la distribución de los elementos utilizados en el proyecto, en este caso estos permitirá identificar visualmente los materiales utilizados y su respectiva ubicación dentro del tablero de control.

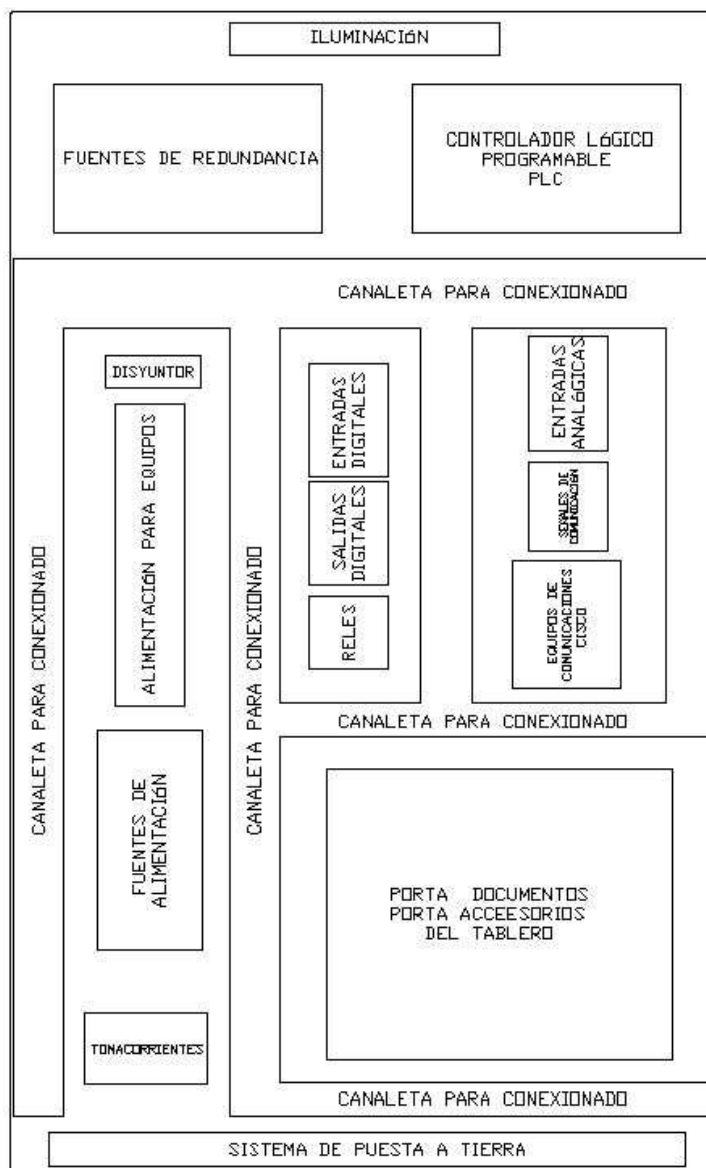


Figura 18. Layout general de equipos constitutivos del tablero de control.

De igual manera es necesario conocer la relación existente entre el tablero de control y los equipos industriales a los cuales está vinculado, esto se detalla de mejor manera en la “Sección 5.1 Lista y selección de equipos”.

4.3. Plan de trabajo.

Dentro del plan de trabajo planteado están varias etapas secuenciales y necesarias para la ejecución del proyecto, entre las cuales se puede destacar:

- Desarrollo de ingeniería: en la cual se elaborará la información necesaria para el ensamble del tablero.
- Procura: es aquella en la que se adquirirán los materiales necesarios.
- Recepción y verificación de materiales: en la cual se destina tiempo en verificar cada uno de los elementos adquiridos y verificar su estado físico y características técnicas para corroborar el cumplimiento de todo aquello desarrollado en la etapa de ingeniería.
- Ensamble: etapa mediante la cual se iniciarán las actividades constructivas del tablero en base a normas y reglamentos establecidos.
- Pruebas de funcionamiento: para determinar el correcto funcionamiento en conjunto de todos los elementos constitutivos del tablero.
- Desarrollo de información técnica del tablero.

4.4. Diseño del tablero de control.

Dado a que el tablero va a estar destinado para uso industrial, se debe considerar muchos aspectos primordiales:

- Tipo de gabinete metálico: debido a que va a estar expuesto en una zona húmeda del oriente ecuatoriano, se ha previsto utilizar acero inoxidable como material principal del gabinete, de igual manera deberá garantizar una hermeticidad ante agentes externos que pudiesen afectar al funcionamiento de los componentes internos del tablero.
- Certificaciones bajo las cuales deben regirse los materiales: para esto es necesario analizar la clasificación de protección de gabinetes NEMA, se analiza normativa NEMA (National Electrical Manufacturers Association) debido a que es más completa la IEC o Comisión Electrotécnica Internacional.

Tabla 11.

Grados de protección NEMA.

Grado de protección	Descripción
NEMA 1	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad.
NEMA 2	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad y el goteo de agua.
NEMA 3	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 3R	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve: además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 3S	Instalación interior o exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además, los mecanismos externos permanecen operativos a pesar de la formación de hielo.
NEMA 4	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua y agua proyectada; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 4X	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua, agua proyectada y corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 5	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos.
NEMA 6	Protección interior o exterior contra caída de suciedad, chorro de agua y entrada de agua a causa de la inmersión parcial, limitada a una profundidad determinada.

Por lo cual se ha optado por elegir un tablero NEMA 4X, que sirve tanto para instalación interior o exterior, y brinda protección contra el polvo transportado por el

viento y la lluvia, salpicaduras de agua, agua proyectada y corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el gabinete.

4.5. Selección de cables.

Para la selección del conductor adecuado a utilizarse en los conexionados del tablero es necesario analizar las magnitudes eléctricas a los que estarán expuestos, así como las distancias de los conductores y disponibilidad en el mercado. En el “Anexo 6. - Características de los Conductores” (Ver Anexo 6), se pueden visualizar de mejor manera una tabla con las propiedades de diversos conductores existentes en el mercado y mediante la cual se escogió el conductor adecuado para realizar las conexiones internas del tablero de control.

Del análisis de cargas simplificado en la “Tabla 13. Especificaciones técnicas de equipos eléctricos y electrónicos del tablero para cálculo de la corriente total del sistema” se tiene que la corriente del sistema (tablero) es de 7.29 [A].

Suponiendo que se requiere dar una vuelta completa de cableado a través de las dimensiones del tablero se sabe que la mayor distancia posible a cubrir sería aproximadamente 5 [m], es por esto que este valor es tomado para realizar el cálculo o dimensionamiento del conductor.

El voltaje del sistema al tratarse de equipos alimentado con corriente continua es de 24V DC.

Se calcula la sección transversal del conductor mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{V}$$

Ecuación 1. Fórmula para el cálculo de la sección transversal de un conductor.

En donde:

- S: sección transversal del conductor.
- ρ : resistividad volumétrica.
- L: longitud del conductor.
- I: corriente del sistema.
- V: voltaje del sistema.

Ahora, teniendo en cuenta que el conductor a utilizarse es constituido de cobre:

$$\rho = 0.017241[\text{mm}^2\Omega/\text{m}]$$

Ecuación 2. Resistividad volumétrica del cobre.

Con lo anterior se tiene lo siguiente:

$$S = \frac{2 * 0.017241 * 5 * 7.29}{24}$$

Ecuación 3. Reemplazo de valores en Ecuación 1.

$$S = 0.052$$

Ecuación 4. Valor nominal de la sección transversal del conductor.

$$S[u] = \left[\frac{\frac{\text{mm}^2 * \Omega}{\text{m}} * \text{m} * \text{A}}{\text{V}} \right]$$

Ecuación 5. Análisis dimensional de la sección transversal del conductor.

$$S[u] = \left[\frac{\frac{\text{mm}^2 * \Omega}{\text{m}} * \text{m} * \text{A}}{\text{A} * \Omega} \right]$$

Ecuación 6. Reemplazo de equivalentes en Ecuación 5.

$$S[u] = [mm^2]$$

Ecuación 7. Unidades de la sección transversal del conductor.

Por lo tanto se requiere un conductor con una sección transversal de mínimo $0.052[mm^2]$, teniendo en cuenta que el conductor elegido es de tipo THHN y según las tablas del Anexo 6 se tiene que por un lado se utilizará cable calibre 18AWG para las conexiones realizadas hacia los módulos del PLC y cable calibre 14AWG para las conexiones del tomacorriente y la lámpara existente.

El motivo principal de utilizar cables THHN es debido a que en gran escala son usados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones tanto industriales, comerciales como residenciales, además son aptos para instalaciones especiales por ductos difíciles y usarse en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, gasolinas, etc. y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc., tal como se especifica en el National Electrical Code (NEC). (ELECTROCABLE, 2015).

Adicional se consideran adecuados estos conductores debido a que la corriente del sistema no sobrepasa los $10[A]$ ni las distancias entre equipos son considerables como para tener pérdidas.

4.6. Selección de materiales y dispositivos.

Para el suministro de los instrumentos de automatización necesarios para la ejecución del proyecto existe una gran cantidad de marcas que pueden brindar soporte técnico y que cuentan con una amplia gama de equipos, pero como se había mencionado anteriormente la compañía Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. cuenta con aliados estratégicos comerciales y siempre se procura implementar todo tipo de proyecto con equipos de las marcas de estos aliados estratégicos.

A continuación se detalla con mayor detalle los aliados estratégicos y las marcas de las que PIL es representante en el Ecuador.

Tabla 12.

Aliados estratégicos de Proyectos Integrales del Ecuador - PIL S.A.

ROCKWELL AUTOMATION	<p>Contactores, térmicos, relés, temporizadores, arrancadores. Variadores de Velocidad, Arrancadores Suaves, protecciones inteligentes. Controladores programables. Puertas de Enlace (Gateway), Centros de Control de Motores (MCC). Señalización y mandos eléctricos, Manejo y monitoreo de energía, termostatos, presostatos, finales de carrera, controladores y transductores: presión temperatura caudal etc.</p> <p>Sensores: inductivos, fotoeléctricos, capacitivos, ultrasónicos, Productos industriales de seguridad, Redes Ethernet, Devicenet Controlnet. Interfaces de visualización, monitores, Software Scada, software MES, software de enlace a sistemas mayores ERP (Sap Ban).</p>
WONDERWARE	<p>Líder del mercado en software de gestión de operaciones en tiempo real. El software proporciona reducciones significativas de costos asociados con el diseño, construcción, despliegue y mantenimiento de aplicaciones seguras y estandarizadas para las operaciones de manufactura e infraestructura.</p>
YAMASAKI	<p>Fabricante de productos de fibra óptica, productos fusionadores, fuentes de luz, medidores de energía, interruptores, productos de CCTV, convertidores de medios.</p>
THERMOFISHER	<p>Instrumentos de análisis, equipos de laboratorio, software, servicios, consumibles y reactivos. Encuentra las mejores soluciones de flujo de trabajo que abarca la preparación de muestras, análisis de muestras e interpretación de datos.</p>
ENERGY SOLUTIONS	<p>Líder mundial de software de gestión de tuberías. Amplia gama de productos de excelencia en cuanto a eficiencia operativa, gestión de transacciones, gestión de rendimiento y seguridad de las tuberías.</p>

En la “Sección 5.1. Lista y descripción de equipos” se mostrará con mayor detalle los equipos seleccionados, sus características tanto físicas como técnicas y la justificación de la elección de cada uno de ellos. (Ver Sección 5.1)

4.7. Conexiones del PLC.

Antes de mencionar cuales son las conexiones a realizarse con el PLC, es necesario señalar que existen dos tipos de ellas, las conexiones realizadas en la etapa constructiva, las cuales permitirán verificar el estado perfecto funcional del tablero, y las conexiones en campo, que son aquellas que se realizarán en el lugar de instalación del tablero y depende netamente de las necesidades del cliente, estas últimas no se abarcarán en el presente proyecto.

Ahora, si bien es cierto el PLC del tablero contará con módulos de entradas y salidas, las conexiones realizadas en estos módulos son directamente hacia borneras de paso, esto con la finalidad de tener un fácil acceso y manipulación de las entradas y salidas a utilizarse, como se muestra en las siguientes ilustraciones.

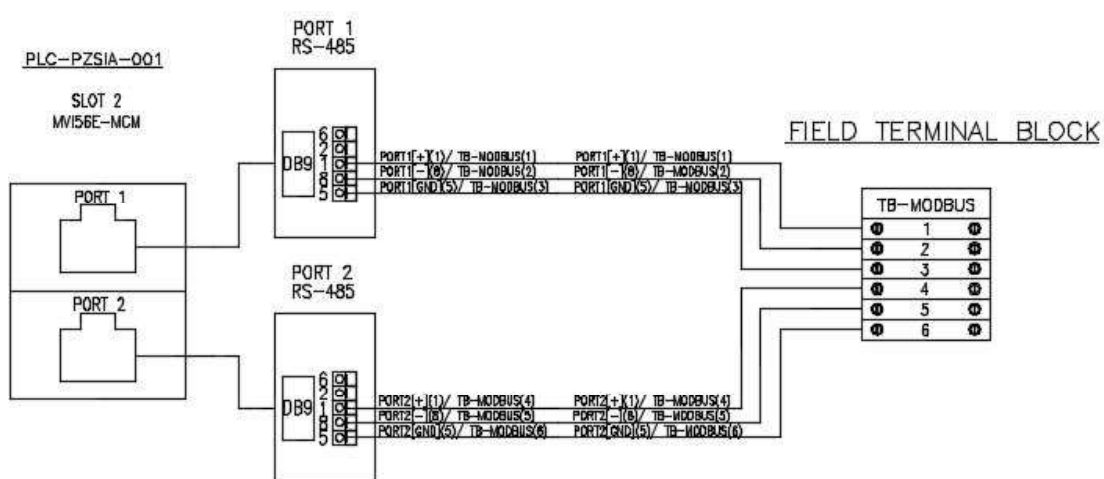


Figura 19. Conexiones de la tarjeta Modbus - slot 2.

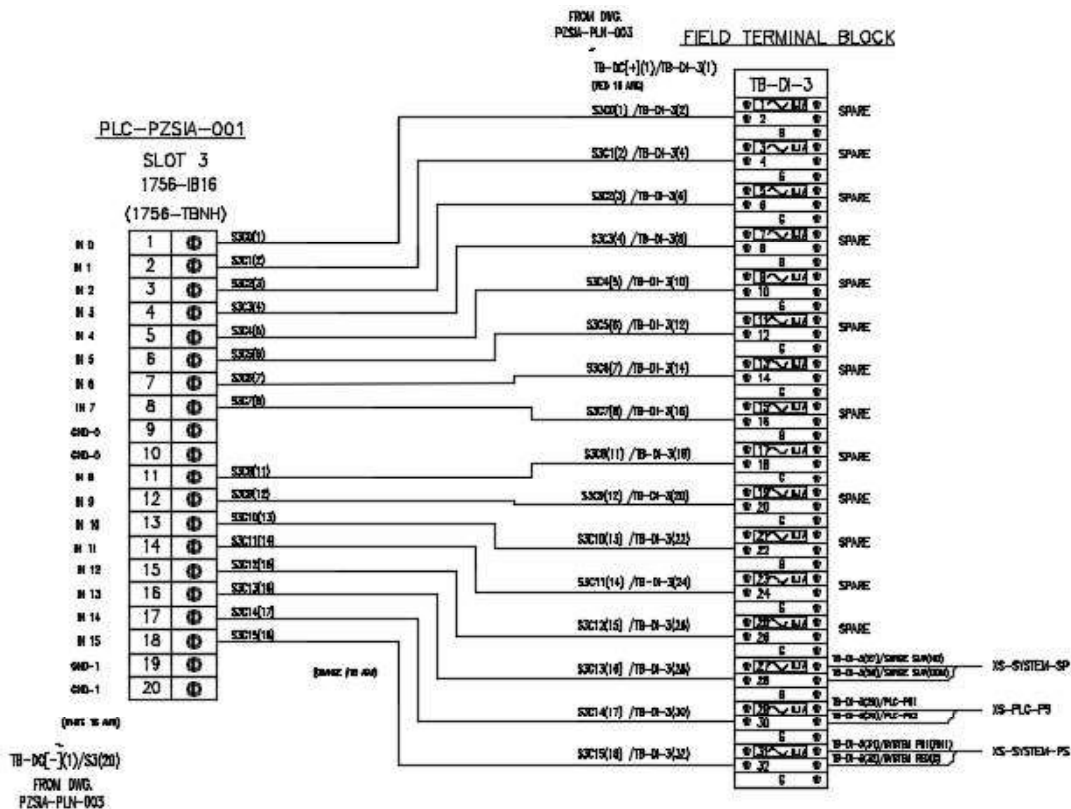


Figura 20. Conexiones de la tarjeta de Entradas Digitales - slot 3.

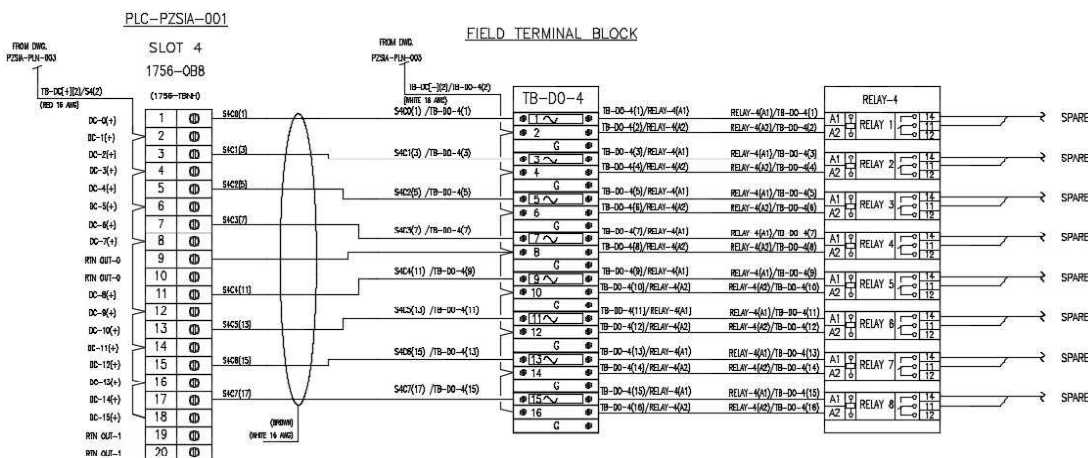


Figura 21. Conexiones de la tarjeta de Salidas Digitales - slot 4.

Cabe mencionar que para facilidad de visualización, todas las conexiones se encuentran en el Anexo 3. Planos eléctricos (Ver Anexo 3).

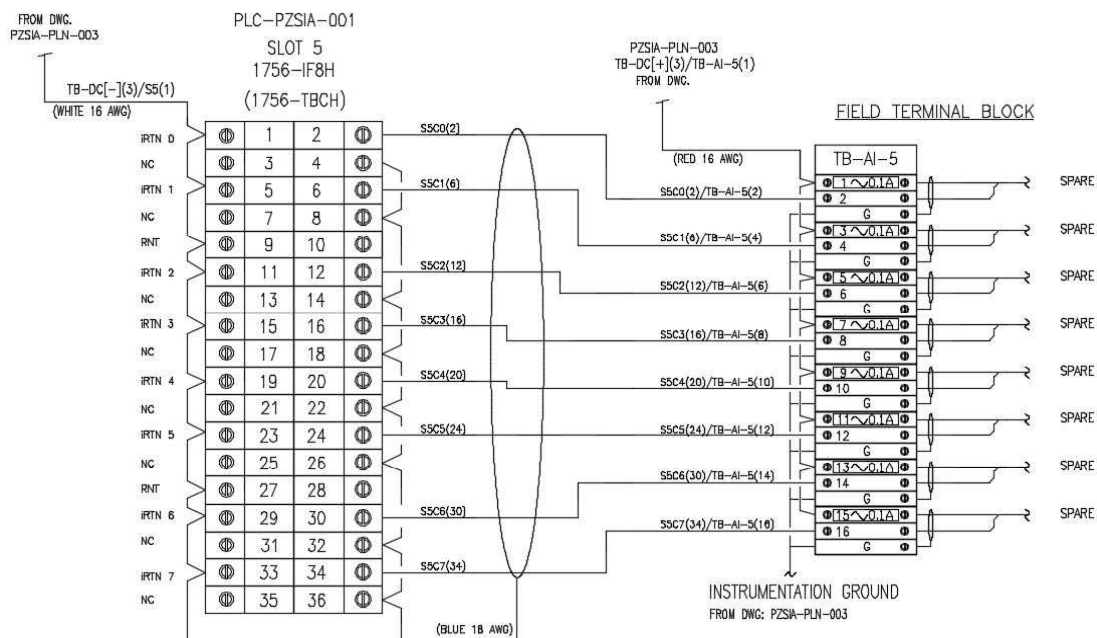


Figura 22. Conexiones de la tarjeta de Entradas Analógicas - slot 5.

4.8. Diseño del HMI para el sistema de monitorización.

El diseño del HMI a realizar se basará netamente en los fundamentos, recomendaciones y estándares que detalla la guía GEDIS, se describirá en el “Capítulo 6 Desarrollo de la interfaz” de mejor manera todo lo referente a la interfaz desarrollada para el presente proyecto (Ver CAPÍTULO 6).

4.9. Especificaciones de hardware y software.

Dentro del desarrollo del presente proyecto es necesario utilizar software y hardware específico, es por esto que se detallan a continuación los programas y requerimientos mínimos necesarios:

a. Para el desarrollo de la HMI

Dado que el cliente cuenta con las licencias originales de Wonderware, para la elaboración del HMI necesariamente se trabajó con Intouch, software que es líder en

el mercado del software de gestión de operaciones en tiempo real. La página oficial de Wonderware muestra varios beneficios que se tienen al utilizar Intouch, dentro de estos beneficios se tiene la facilidad de utilizar este software, la versatilidad que presenta al momento de dar un mantenimiento a las aplicaciones creadas, alta seguridad y escalabilidad, teniendo con lo anterior una reducción considerable de los costos asociados al diseño, elaboración y mantenimiento de aplicaciones seguras y estandarizadas para las operaciones de fabricación e infraestructura.

Ahora, para el desarrollo de la HMI se utilizó un computador portátil con las siguientes características:

- Sistema operativo: Windows 10 de 64 bits con máquina virtual VMWARE instalada.
- Fabricante: Toshiba.
- Modelo: Satélite S55-B
- Procesador: Intel(R) Core (TM) I7-4510U CPU @ 2.00GHz.
- Memoria RAM: 8.00GB.
- Máquina virtual VMWARE con las siguientes características: Memoria RAM de 512MB, 20GB de almacenamiento.

CAPÍTULO 5

DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE DETALLE

5.1. Lista y descripción de equipos.

- **Gabinete de acero inoxidable.**

Siendo necesaria la utilización de un gabinete metálico que va a estar expuesto a un ambiente húmedo, se requiere que cuente con certificaciones: NEMA 4X, UL 508A, las cuales brindan las garantías necesarias para utilizarlo en instalaciones interiores o exteriores, además de contar con protección contra el polvo transportado por el viento, la lluvia y ante salpicaduras de agua o agua proyectada.

Las dimensiones del gabinete utilizado son: 60x36x16 pulgadas (152,4 x 91,44 x 40,64 cm), lo cual garantizará contar con el espacio suficiente para ubicar todos los elementos necesarios en el tablero de control.



Figura 23. Gabinete de acero inoxidable, NEMA 4X (Marca: Hoffman, N. parte: A60H3616SSLP3PT).

Fuente: (HoffmanOnline, 2016)

- **Panel doble fondo.**

El panel doble fondo es una lámina de acero inoxidable que brinda la facilidad de montaje de equipos necesarios en el tablero, es el lugar donde se van a realizar las perforaciones para el cableado y soporte de equipos; este panel es de 57x33 pulgadas (144.78x83.82 cm).



Figura 24. Panel doble fondo (Marca: Hoffman, N. parte: A60P36).

Fuente: (HoffmanOnLine, 2016)

- **Juego de 2 bases metálicas.**

Debido a la necesidad de realizar perforaciones en la base del gabinete y mediante estas poder cablear las señales de campo, es necesario levantar al gabinete una cierta distancia desde el piso, para esto se requiere utilizar bases de acero inoxidable que brinden esta ventaja de manipulación del tablero.



Figura 25. Bases metálicas para tablero (Marca: Hoffman, N. parte: AFK1816).

- **Chasis para PLC ControlLogix.**

Como se había mencionado en la “Sección 3.7 Propuestas Planteadas” se utilizará un PLC ControlLogix, pero se requiere establecer el número de slots del chasis a utilizarse, inicialmente se contará con el Procesador, un módulo de comunicaciones Ethernet y otro Modbus (según requerimientos del usuario especificados en la sección 3.2), módulo de entradas digitales (para verificación del funcionamiento de equipos principales y señales varias), módulo de salidas digitales (para la activación de equipos como bombas, válvulas, etc.), módulo de entradas analógicas (para señales provenientes a sensores de presión, caudal, etc.).

Teniendo con lo anterior la necesidad de utilizar un chasis para PLC ControlLogix de mínimo de 7 slots, chasis que cuenta con las siguientes especificaciones técnicas:

- Corriente máxima de 2.8 [A] a 24[V] DC.
 - Potencia de disipación máxima: 4.5W.
 - Voltaje de aislamiento: determinado por las fuentes y módulos instalados.
 - Número de slots: 7
 - Método de montaje: horizontal.
 - Peso aproximado: 1.1Kg
 - Código de temperatura IEC: T4 (soporta hasta 135°C).
- (ROCKWELLAUTOMATION, 2015)

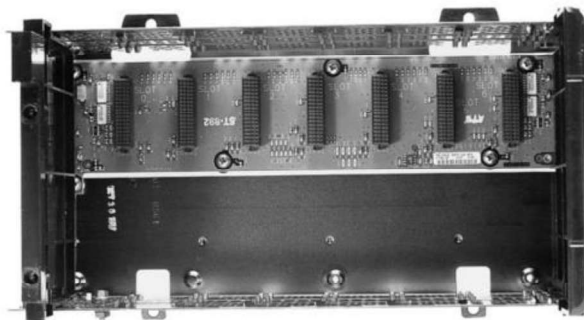


Figura 26. Chasis de 7 slots (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-A7).

Fuente: (AB, 2016)

- **Kit de fuentes de alimentación con redundancia para PLC ControlLogix.**

Uno de los requerimientos del cliente era el de poseer en el tablero un sistema redundante en la alimentación de equipos, es por eso que se requiere de una protección adicional para el tiempo de actividad del chasis. Para construir un sistema de redundancia de fuentes de alimentación se necesita los siguientes componentes:

- Dos fuentes de alimentación 1756-PA75R.
- Dos cables 1756-CPR2
- Un adaptador de chasis 1756-PSCA2

Estos elementos se pueden visualizar de mejor manera en la siguiente figura:



Figura 27. Fuentes de alimentación (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-PAR2).

Fuente: (AB, 2016)

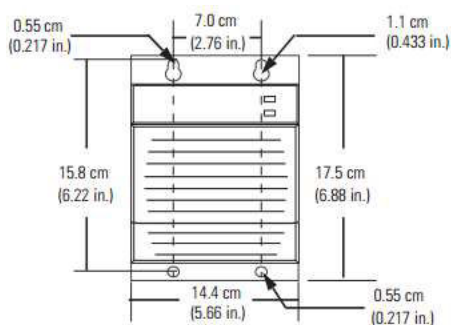


Figura 28. Dimensiones de fuentes AB.

Fuente: (ROCKWELLAUTOMATION, 2015)

Las fuentes de alimentación estarán conectadas al PLC, estas cuentan con las siguientes características:

- Rango de voltaje de entrada: 85-265V AC.
- Voltaje de entrada: 120V/240V AC, 50/60 [Hz].
- Rango de frecuencia de entrada: 47-63 [Hz].
- Potencia de entrada máxima: 120[VA], 115[W]
- Potencia de salida: 75W @60°C.
- Capacidad de corriente a 24V: 2.8 [A].

Para garantizar redundancia en las fuentes, es necesario realizar la siguiente conexión:

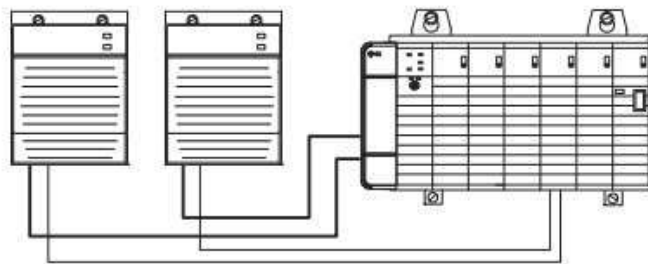


Figura 29. Esquema de conexión para redundancia de fuentes.

Fuente: (ROCKWELLAUTOMATION, 2015)

- **Módulo procesador.**

Bajo requerimientos del cliente se especificaba la necesidad de utilizar un procesador de 2MB de memoria para PLC ControlLogix, debido a discontinuidad de equipos con esa capacidad de memoria se ha optado por utilizar uno de 4MB de marca Allen Bradley cuyas principales características son las siguientes:

- Opciones de comunicación: Ethernet/IP, ControlNet, DeviceNet, Remote I/O, SynchLink, USB Client.
- Recursos del controlador: 500 conexiones.

- Lenguajes de programación soportados: escalera (ladder), texto estructurado, graficet o bloque de funciones.
- Memoria de datos: 4MB.
- Memoria I/O: 0.98MB.
- Capacidad de corriente @ 1.2V DC: 5mA
- Capacidad de corriente @ 5.1V DC: 800mA
- Potencia de disipación: 2.5 [W].
- Voltaje de aislamiento: 30[V]
- Peso aproximado: 0.25[kg] (0.55 [lb])
- Chasis compatibles: 1756-A4, 1756-A7, 1756-A10, 1756-A13, 1756-A17.
- Fuentes de alimentación compatibles: 1756-PA72, 1756-PA75, 1756-PB72, 1756-PB75.



Figura 30. Módulo procesador (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-L72).

Fuente: (AB, 2016)

- **Módulo de comunicación Ethernet**

Contar con comunicación Ethernet fue otro de los requerimientos iniciales establecidos, debido a compatibilidad de marcas y a existencia en el mercado se ha optado por el módulo de la empresa Allen Bradley que presenta las siguientes características:

- Marca: Allen Bradley.
- Número de conexiones TCP/IP: 128
- Capacidad de corriente @ 5.1V DC: 1[A].

- Potencia de disipación: 5.1 [W].
- Voltaje de operación: 30[V].
- Tipo de display: Digital.
- Puerto local de programación: 1 USB.
- Tipo de montaje: en chasis.
- Canales necesarios: 1.
- Chasis compatibles: 1756-A4, 1756-A7, 1756-A10, 1756-A13, 1756-A17.
- Fuentes de alimentación compatibles: 1756-PA72, 1756-PA75, 1756-PB72, 1756-PB75.
- Temperatura de operación: hasta 60°C.
- Certificaciones: CCC, CE, CSA, UL, KC. (Wenerelectric, n.d.)



Figura 31. Módulo de comunicación Ethernet (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-EN2T).

Fuente: (AB, 2016)

- **Módulo de comunicación Modbus.**

Para brindar el medio de comunicación Modbus, se ha considerado utilizar el módulo MVI56-MCM de la marca Allen Bradley, cuyas características físicas se presentan a continuación:

- Corriente de carga en el chasis: 800 [mA] @ 5[V] DC o 3 [mA] @24[V] DC.
- Temperatura de operación: de 0 a 60°C.
- Temperatura de almacenamiento: -40 a 85°C.

- Humedad relativa: 5 a 95%.
- Indicadores led: estado, transferencia, aplicación, actividad.
- Capacidad de transferencia: 5000 registros del o hacia el procesador.



Figura 32. Módulo de comunicación Modbus (Marca: Allen Bradley, N. parte: MVI56-MCM).

Fuente: (AB, 2016)

- **Módulo de entradas digitales.**

Debido a que el sistema cuenta con alarmas físicas en el proceso, estas serán utilizadas como señales para alertar al usuario de la estación remota sobre posibles fallos existentes, es por esto que a continuación se muestran estas alarmas que tendrán relación directa con el PLC y en base a esto se optó por la elección del módulo de entradas digitales.

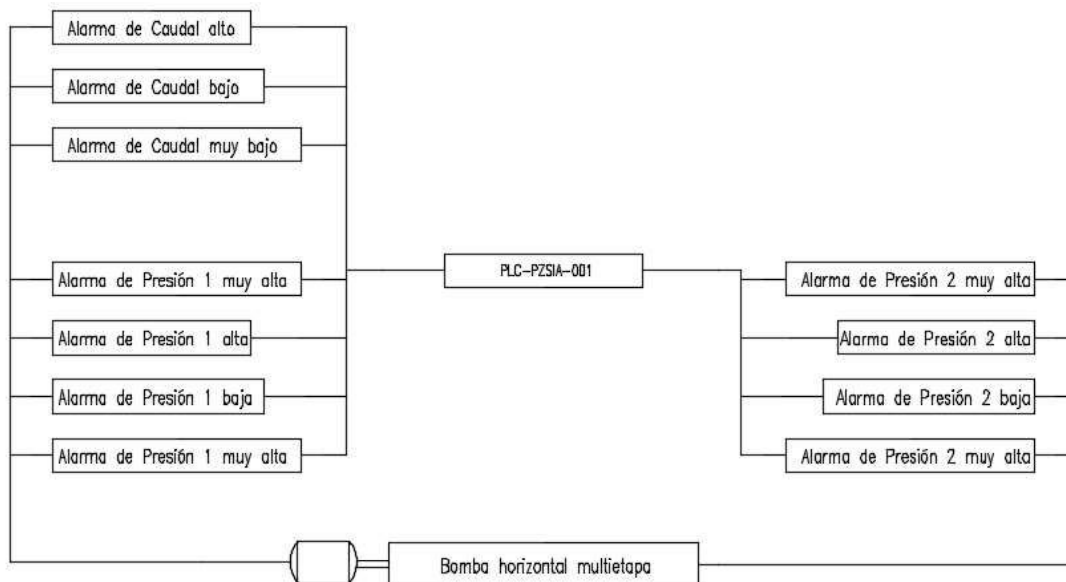


Figura 33. Relación entre el PLC y variables digitales provenientes de alarmas relacionadas a la presión y caudal existentes.

Es por esto que el módulo de entradas digitales que se ha previsto utilizar cuenta con las siguientes características:

- Marca: Allen Bradley.
- Número de parte: 1756-IB16.
- Número de entradas: 16 (2 grupos de 8 puntos).
- Voltaje: 12/24 [V] DC.
- Rango de operación de voltaje: 10-31V DC.
- Tiempo de retardo: 290 [μ s].
- Corriente: 2 [mA].
- Potencia: 0.56 [W].
- Impedancia de entrada: 3.12 [$k\Omega$] @ 31[V] DC.
- Tipo de montaje: en chasis.
- Número de slots necesarios: 1.
- Temperatura de operación: hasta 60°C.
- Certificaciones: UL E65584, CE EN 61326-1 relacionada a requerimientos industriales, CE EN 61131-2 referente a controladores programables.



Figura 34. Módulo de entradas digitales (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-IB16).

Fuente: (AB, 2016)

En cuanto a la distribución de las entradas, este módulo presenta la siguiente:

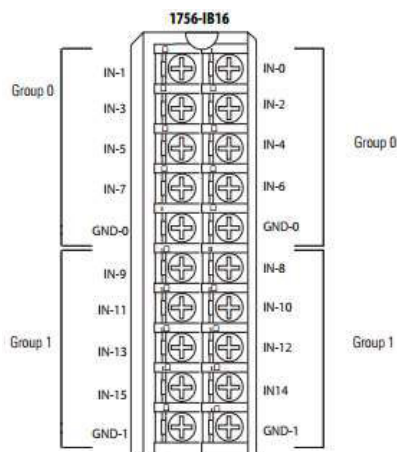


Figura 35. Distribución de entradas digitales en el módulo 1756-IB16.

Fuente: (AB, 2016)

- **Módulo de entradas analógicas.**

Para las entradas analógicas se ha utilizado el módulo Allen Bradley 1756-IF8H, el cual presenta las siguientes características:

- Rangos de entrada múltiples de voltaje y corriente.
- Rangos de entrada: ± 10 [V], 0-5 [V], 1-5 [V], 0-10 [V], 0-20 o 4-20 [mA].
- Resolución: 16-21 bits.
- Muestreo en tiempo real.
- Potencia: 4.77 [W].

- Impedancia de entrada: mayor a 1 [MΩ] para voltaje, 250 [Ω] para corriente.
- Protección sobrevoltaje: 30 [V] DC.
- Tipo de montaje: en chasis.
- Numero de slots: 1.

Este módulo fue seleccionado debido a la necesidad de manejar dos variables analógicas relacionadas a transmisores de presión existentes antes y después de la bomba horizontal multietapa como se ve en la siguiente figura.

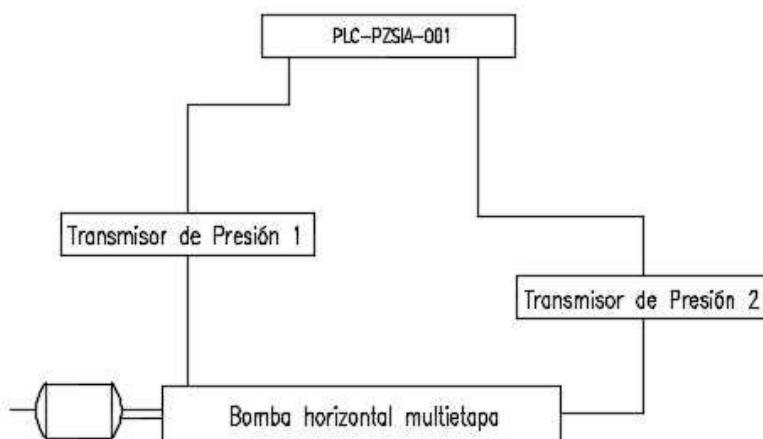


Figura 36. Relación entre el PLC y variables analógicas provenientes de transmisores de presión.

Al igual que el módulo de entradas digitales, este presenta una distribución en sus pines de conexión, la cual se muestra a continuación y facilita una correcta instalación y cableado.

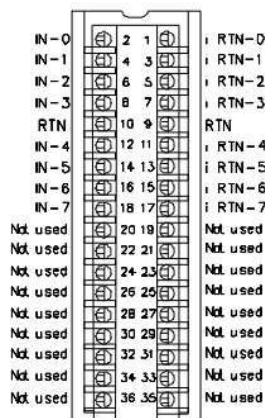


Figura 37. Distribución de entradas analógicas en el módulo 1756-IF8H.



Figura 38. Módulo de entradas analógicas (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-IF8H).

Fuente: (AB, 2016)

- **Módulo de salidas digitales.**

Para la activación de equipos como electroválvulas, switch, accionadores, entre otros, se ha visto la necesidad de utilizar un módulo de salidas digitales, el mismo que es el 1756-OB8I de la marca Allen Bradley. Este módulo cuenta con las siguientes características:

- Número de salidas: 8.
- Voltaje: 24 [V] DC.
- Rango de voltaje de operación: 10-30V DC.
- Retardo de salida: 1 [ms].
- Potencia: 0.89 [W].
- Tipo de montaje: en chasis.

- Número de slots: 1.
- Temperatura de operación: entre 0 y 60°C
- Certificaciones: UL E65584, CE EN61326-1 referente a los requerimientos industriales, CE EN 61000-6-4 referente a emisiones industriales, CE EN 61131-2 referente a controladores programables.

Al igual que para las tarjetas de entradas análogas y digitales, se muestra a continuación un esquema de los equipos que estarían destinados a ser manipulados mediante la activación de las salidas digitales.

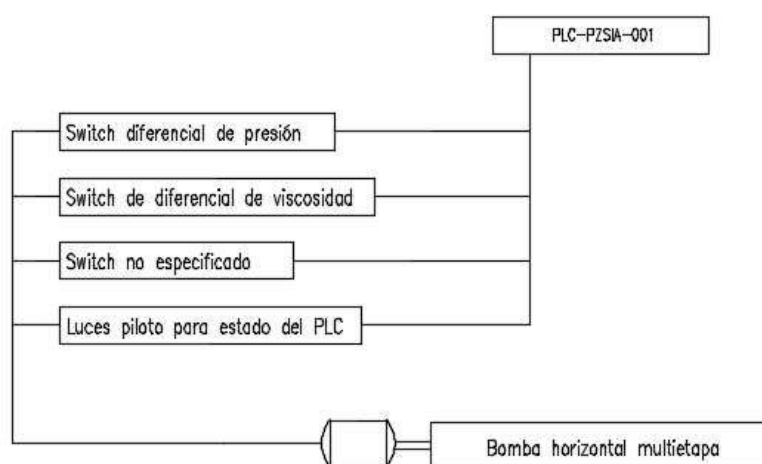


Figura 39. Relación entre el PLC y equipos a ser activados mediante salidas digitales.

Adicional es necesario saber que este módulo deberá contar con alimentación externa, por lo cual se considera el siguiente conexionado para el funcionamiento de sus salidas, este se esquematiza en la siguiente figura:

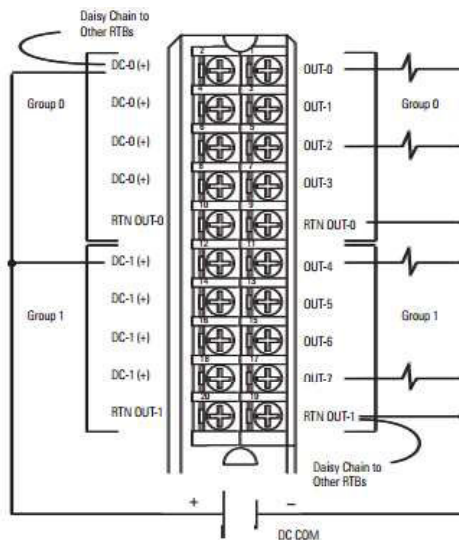


Figura 40. Distribución de salidas digitales en el módulo 1756-OB8I y su alimentación.

Fuente: (AB, 2016)



Figura 41. Módulo de salidas digitales (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-OB8I).

Fuente: (AB, 2016)

- **Bloque de terminales.**

Una vez seleccionadas las tarjetas y módulos necesarios, se necesitarán bloques de conexión para realizar el cableado de dichas tarjetas, es por esto que se utilizó los bloques con número de parte 1756-TBCH y 1756-TBNH de marca Allen Bradley tanto para los módulos de entradas y salidas.



Figura 42. Bloque de terminales de 36 pines (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1756-TBCH).

Fuente: (AB, 2016)

- **Relés de 110 VAC.**

Si bien es cierto se podría utilizar directamente las salidas digitales del módulo, pero existen equipos (válvulas, luces, etc.) que requieren de una alimentación de 110VAC, siendo prioridad utilizar relés que permitan esto, razón por la cual los relés utilizados para las salidas digitales fueron los de marca Allen Bradley y número de parte 700-HLT1U1, en cuanto a la corriente nominal de estos, se propone utilizar relés de 6A garantizando así cubrir la corriente nominal de equipos de campo, cabe mencionar que estos relés cuentan con las siguientes características:

- Rango de cable: $0.14mm^2$ - $0.25mm^2$ de sección transversal (#26-#14AWG).
- Contactos: 1 polo, 6A.
- Voltaje nominal de aislamiento: 250 [V].
- Potencia: 0.3 VA en AC, 0.2 [W] en DC.
- Voltaje de entrada: 120 [V] AC/DC.
- Impedancia: 26 [k Ω].
- Grados de protección: IP20.
- Número de operación en vida útil: 1×10^7
- Tiempo de respuesta: 3-7 [ms].
- Temperatura de operación: de -40 a 55°C.
- Protección de carcasa: IP67.
- Certificaciones: UL 60079-15, CAN/CSA E600079-15.



Figura 43. Relé de 110VAC (Marca: Allen Bradley, N. parte: 700-HLT1U1).

- **PanelView.**

Al igual que los módulos de comunicaciones y otros equipos, la elección de un PanelView se vio restringida por los requerimientos del cliente, se optó por uno full color de 10 pulgadas compatible con las marcas seleccionadas en los módulos del PLC, es así que el PanelView seleccionado posee las siguientes características:

- Marca y modelo: Allen Bradley modelo 1000 número de parte 2711P-K10C4D9.
- Tamaño del display: 10.4 pulgadas (7.97 [cm]).
- Tipo de pantalla: full color.
- Voltaje de alimentación: 24 [V] DC.
- Potencia: 70[W].
- Corriente nominal @ 24V DC: 2.9[A]
- Memoria RAM: 512 [MB].
- Comunicación: Ethernet, RS-232
- Temperatura de operación: 0-55°C.
- Humedad relativa: 5-95%.
- Altura de operación: 2000[m].
- Software de operación: FactoryTalk View Machine edición 6.0, FactoryTalk View Point software 1.2.
-



Figura 44. PanelView 1000, full color (Marca: Allen Bradley, N. parte: 2711P-K10C4D9).

- **Switch Ethernet.**

Como el tablero va a ser utilizado dentro de un sistema SCADA tiene la necesidad de comunicarse con la estación remota y con otros posibles RTU (unidad de transmisión remota), para lograr esto se requiere de un switch Ethernet que permita esta comunicación, por lo cual se ha optado por la utilización de un switch de capa 3 que posea 8 puertos Ethernet y 2 puertos de doble propósito cuyas características se detallan a continuación:

- Marca y modelo: CISCO IE-3000-8TC-E.
- Memoria: 128MB DRAM, 64MB flash memory.
- Configurable hasta 8000 direcciones MAC.
- Configurable hasta 255 grupos de IGMP.
- Unidad de transmisión configurable hasta 9000 bytes.
- Voltaje de operación: entre 18 y 60VDC.
- Peso y dimensiones: 4.0lb y 152x147x112mm.
- Temperatura de operación: -40 a 70°C.
- Humedad relativa de operación: 10 a 95% (condensación).
- Máxima potencia consumida: 31 [W].
- Certificaciones: UL 60950 tercera edición, EN 60950:2000, EN 60204-1, IEC60950, IEC 61000-4-2 equipos de clase 2.



Figura 45. Switch Ethernet, 8 puertos Ethernet y 2 puertos de doble propósito (Marca: CISCO, N. parte: IE-3000-8TC-E).

- **Fuente de poder.**

Como se ha visto previamente, los equipos necesitan de voltaje DC para su funcionamiento, es por esto que se requiere de una fuente que suministre un voltaje eficaz, para este propósito se ha previsto utilizar una fuente marca SOLA, la misma que presenta las siguientes características:

- Voltaje de operación: 115/230VAC.
- Tipo de montaje: para riel DIN.
- Rango de frecuencia de operación: 50/60 [Hz].
- Señal de salida: Voltaje DC ajustable.
- Temperatura de operación: -10 a 60°C.
- Voltaje de salida: 12, 24 o 48VDC.
- Corriente máxima: 10 [A].
- Potencia: 240 [W].
- Eficiencia: >90%.
- Dimensiones: 124.0 x 83.0 x 116.0 [mm].
- Peso aproximado: 3.3 [lb] (1.50 [kg]).
- Certificaciones: UL 508, CSA C22.2 No. 107.1, UL60950-1/CSA C22.2 No. 60950-1 segunda edición.



Figura 46. Fuente de poder 85-264 VAC (Marca: SOLA, N. parte: SDN10-24-100P).

- **Supresor de picos.**

El equipo anterior permite suministrar el voltaje adecuado al PLC y sus módulos, pero requiere de protección adicional, para esto se ha considerado utilizar un supresor de picos o equipo supresor de sobretensión transitoria (SSTV), el mismo que permitirá minimizar considerablemente las elevaciones repentinas y peligrosas de voltaje en cuestión de milisegundos evitando así alteraciones en los equipos electrónicos).

Como se ha dicho, la función principal del supresor es detectar un sobre voltaje, suprimirlo y mandarlo a tierra de manera que ese pico de voltaje no llega a ningún equipo utilizado en nuestro sistema, se ha utilizado un supresor de la marca SOLA, del cual se detallan las características a continuación:

- Voltaje nominal de entrada: 120VAC.
- Voltaje máximo de operación: 150VAC.
- Rango de frecuencia de operación: 47-63 [Hz].
- Corriente de entrada: 20 [A].
- Corriente de corto circuito: 5 [kA].
- Potencia: 2[W].
- Corriente de descarga nominal: 3[kA].
- Modos de protección: L-N, L-L, L-G, N-G.
- Rechazo ante ruido: 50dB en modo normal.
- Temperatura de operación: -40°C a 60°C.
- Tiempo de respuesta: <0.5 [ns].

- Dimensiones: 110.5 x 65 x 123 [mm].
- Peso neto: 3.0 [lb] (1.36 [kg]).
- Tipo de montaje: para riel DIN.
- Chasis: metálico IP20.
- Certificación UL: 1449 tercera edición.

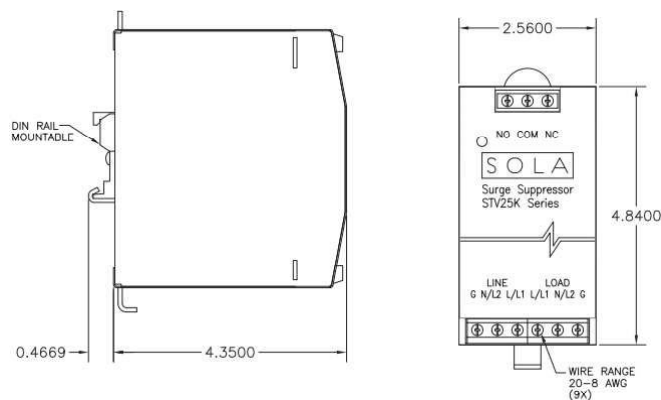


Figura 47. Dimensiones físicas del supresor de picos marca SOLA.



Figura 48. Supresor de picos (Marca: SOLA, N. parte: STV25K-10S).

- **Módulo redundante para fuente de alimentación.**

Adicional al supresor se ha previsto dotar al tablero de un módulo redundante para la alimentación del PLC, es por esto que se utilizará uno marca SOLA SDN 2.5-20RED, la misma que permite mediante una conexión, utilizar dos fuentes de alimentación y unir las en un sistema de redundancia que garantizará el suministro

continuo de energía al sistema, de dicho módulo a continuación se resaltan sus principales características:

- Voltaje nominal: 24VDC.
- Máximo voltaje permitido: 355VDC.
- Potencia: 1.2[W]
- Capacidad de corriente: 2 [A].
- Dimensiones: 124 x 50 x 116 [mm].
- Peso neto: 1.4 [lb].
- Rango de temperatura de operación: -25°C a 85°C.

Como se mencionó, se requiere de un cierto tipo de conexionado entre las fuentes y este módulo para conseguir la funcionalidad de redundancia, esta conexión es la siguiente:

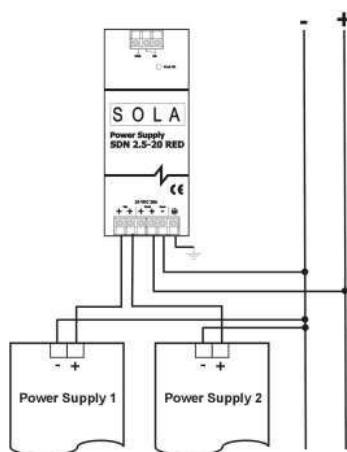


Figura 49. Conexión entre fuentes y módulo de redundancia.

Fuente: (OCTOPART, 2014)



Figura 50. Módulo de redundancia (Marca: SOLA, N. parte: SDN 2.5-20RED).

- **Barra de cobre para sistema de puesta a tierra.**

Siendo un sistema de puesta a tierra de un sistema de potencia muy importante, debido a que estos sistemas minimizan las sobretensiones transitorias, y brindan seguridad del personal y a los equipos, permitiendo que las fallas se detecten y aislen en forma rápida. Es por esto que se requiere utilizar de un dispositivo principal de un sistema de puesta a tierra, para esto se ha previsto utilizar una barra de marca Hoffman, pues posee certificación UL E61997, la misma que garantiza una adecuada protección al sistema y una perfecta funcionalidad en ambientes húmedos como en el que va a ser destinado el tablero de control.



Figura 51. Barra de cobre para sistema de puesta a tierra (Marca: Hoffman, N. parte: PGS2K).

- **Disyuntor de 10A.**

Dentro de cualquier circuito siempre debe existir protección eléctrica, a más del sistema de tierra a implementarse se ha tomado como precaución utilizar un disyuntor de 10[A] que permitirá salvar a este sistema ante posibles fallos como por ejemplo cuando la corriente eléctrica que por él circula excede de un determinado valor. El valor de este disyuntor se tomó en base a las cargas existentes en el tablero y a las corrientes nominales que manejan estas, lo cual se muestran a continuación:

Tabla 13.

Especificaciones técnicas de equipos eléctricos y electrónicos del tablero para cálculo de la corriente total del sistema.

Equipo	Cantidad	Potencia [W]	Voltaje de operación [V]	Corriente nominal [A]	Corriente total [A]
Chasis del PLC	1	4.5	24	0.19	0.19
Fuentes de alimentación para PLC	2	115	120	0.96	1.92
Procesador del PLC.	1	2.5	24	0.1	0.1
Módulo Ethernet	1	5.1	24	0.21	0.21
Módulo Modbus.	1	7.2	24	0.3	0.3
Módulo Entradas digitales.	1	0.56	24	0.02	0.02
Módulo Entradas analógicas.	1	4.77	24	0.2	0.2
Módulo Salidas digitales	1	0.89	24	0.04	0.04
PanelView	1	70	24	2.92	2.92
Switch Ethernet	1	31	24	1.29	1.29
Fuente de poder SOLA.	2	2	120	0.02	0.03
Supresor de picos.	1	2	120	0.02	0.02
Módulo redundante.	1	1.2	24	0.05	0.05
Corriente del sistema [A]					7.29

Tomando en cuenta que el cálculo de la corriente nominal de cada equipo se lo realizó mediante la fórmula:

$$\text{Corriente nominal} = \frac{\text{Potencia}}{\text{Voltaje de operación}}$$

Ecuación 8. Corriente nominal de equipos.

Con esto se calcula la corriente nominal del sistema que es la suma de cada una de las corrientes nominales de los equipos.

$$\begin{aligned} \text{Corriente nominal}_{\text{sistema}} &= \text{Corriente nominal}_{\text{equipo1}} + \text{Corriente nominal}_{\text{equipo2}} \\ &+ \text{Corriente nominal}_{\text{equipo3}} + \dots \end{aligned}$$

Ecuación 9. Cálculo de la corriente nominal del sistema.

$$\begin{aligned} \text{Corriente nominal}_{\text{sistema}} &= (0.19 + 1.92 + 0.1 + 0.21 + 0.3 + 0.02 + 0.2 + 0.04 + 2.92 \\ &+ 1.29 + 0.03 + 0.02 + 0.05)[A] \end{aligned}$$

Ecuación 10. Reemplazo de valores en ecuación de la corriente nominal del sistema.

$$\text{Corriente nominal}_{\text{sistema}} = 7.29[A]$$

Ecuación 11. Valor de la corriente nominal del sistema.

Este valor indica que el disyuntor en teoría debe tener como mínimo una capacidad de corriente de 7.29 [A], a este se le aplica un factor de seguridad de 25% para hallar el valor final del disyuntor, es decir:

$$\text{Capacidad de corriente}_{\text{disyuntor}} = 1.25 * \text{Corriente nominal}_{\text{sistema}}$$

Ecuación 12. Fórmula para hallar la capacidad de corriente del disyuntor con factor de seguridad del 25%.

$$\text{Capacidad de corriente}_{\text{disyuntor}} = 1.25 * 7.29[A]$$

Ecuación 13. Reemplazo de valores en fórmula para hallar la capacidad de corriente del disyuntor.

$$\text{Capacidad de corriente}_{\text{disyuntor}} = 9.11[A]$$

Ecuación 14. Valor de la corriente del disyuntor con factor de seguridad.

Como en el mercado se encuentran valores estándar en cuanto a la corriente de las protecciones, se optó por la utilización de uno de 10[A], del cual se detallan a continuación sus características:

- Número de polos: 1.
- Tipo de montaje: para riel DIN.
- Corriente nominal: 10 [A].
- Frecuencia de operación: 50/60 [Hz].
- Voltaje de operación: 250 VAC – 48 VDC.
- Capacidad de interrupción: 10 [kA].
- Temperatura de operación: 40°C.
- Grados de protección: IP20.
- Tipo de conductor para conexiones: 18-10AWG
- Dimensiones: 88 x 69 x 17.5 [mm].
- Peso por polo: 115 [g].



Figura 52. Disyuntor de 10A (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1492-SPM1C200).

- **Bloque para fusibles**

Se utilizarán bloques de fusibles para las señales digitales y analógicas, estos dispositivos serán marca Allen Bradley y cuentan con las siguientes características:

- Máximo voltaje soportado: 500 [V] AC/DC
- Corriente máxima: 12 [A].
- Tipo de indicador: luz led.
- Tamaño del fusible: ¼ pulgada.
- Rango de temperatura de operación: -40°C a 105°C
- Tipo de montaje: para riel DIN.
- Dimensiones: 47 x 81.3mm.

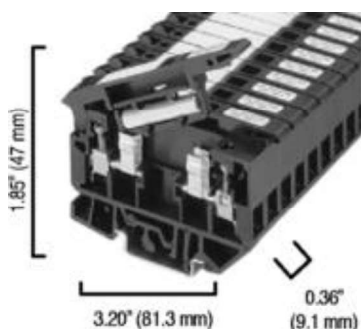


Figura 53. Fusilera (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1492-H4).

- **Borneras de paso**

Como el conexionado a realizarse implica conexiones de y hasta los módulos del PLC, se ha previsto utilizar borneras de paso que servirán de conexión a estas sin la necesidad de manipular directamente los módulos del PLC a menos que sea por razones de mantenimiento. Se ha previsto utilizar las borneras de marca Allen Bradley 1492-J3, las mismas que presentan las siguientes características:

- Voltaje de operación: 800 [V].
- Corriente máxima: 24 [A].
- Rango del conductor: 26-12 #AWG.
- Temperatura de operación: -50°C a 120°C.
- Certificaciones: CSA, IEC, ATEX.

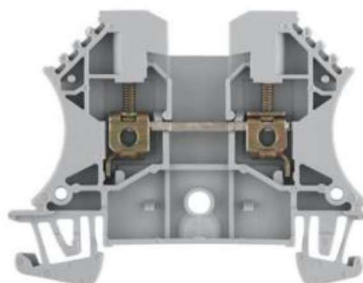


Figura 54. Bornera de paso (Marca: Allen Bradley, N. parte: 1492-J3).

5.2. Detalle de las conexiones realizadas.

Es necesario analizar las conexiones realizadas en dos campos, la parte de control y la parte de fuerza, para la primera se analizarán las conexiones entre los módulos del PLC y elementos dentro del tablero (borneras, relés, luces piloto, etc.) que trabajan con 24 VDC. Por otro lado para la parte de potencia o fuerza se enlistarán las conexiones realizadas que trabajarán con 120 VAC.

A continuación se muestran las conexiones realizadas dentro del tablero, conexiones que para una mejor visualización, se las ha agregado en el Anexo 3 – Planos eléctricos (Ver Anexo 3).

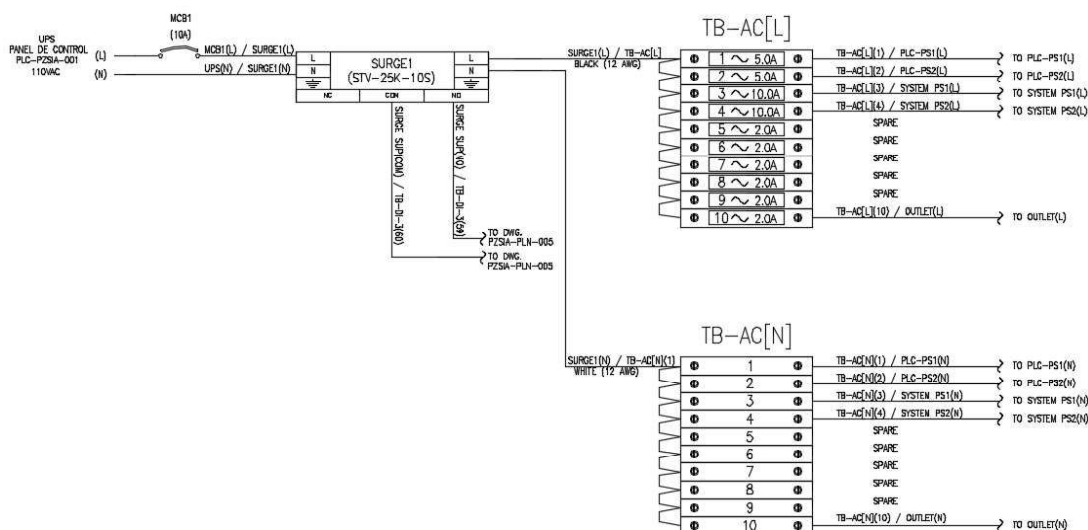


Figura 55. Conexionado de alimentación principal.

En el anterior grafico se encuentran detalladas las conexiones necesarias desde la alimentación principal (110VAC) hacia la fuente SOLA que proporcionará dos tipo de voltajes en sus salidas, por un lado voltaje AC destinado para la alimentación de las fuentes redundantes de alimentación del PLC y por otro voltaje DC que alimentará a bloques de borneras para las salidas digitales y a los módulos del PLC.

Como se ha mencionado, se debe dotar de voltaje DC a los módulos del PLC y al switch CISCO, es por esto que a continuación se muestra el conexionado realizado para suplir esta necesidad.

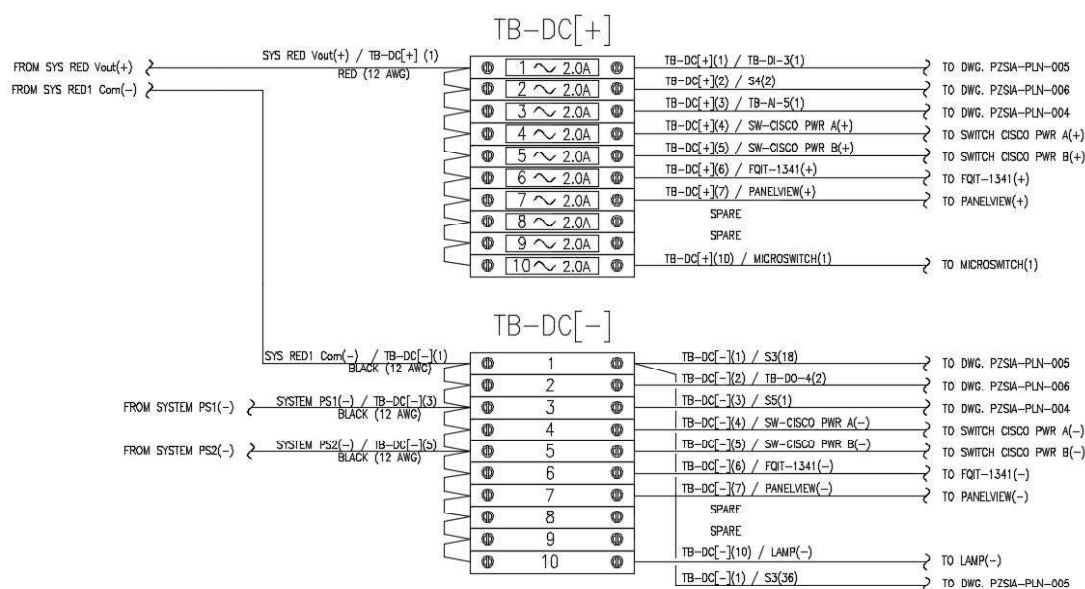


Figura 56. Conexionado para alimentación de equipos principales.

Cabe recalcar que se utilizan dos grupos de borneras para el voltaje DC, uno para la parte positiva y otro para la negativa, con la única finalidad de establecer una similitud y simetría en el conexionado y con esto un adecuado manejo de todas las señales. Ahora el conexionado realizado entre las fuentes de redundancia que alimentan al PLC se muestra a continuación:

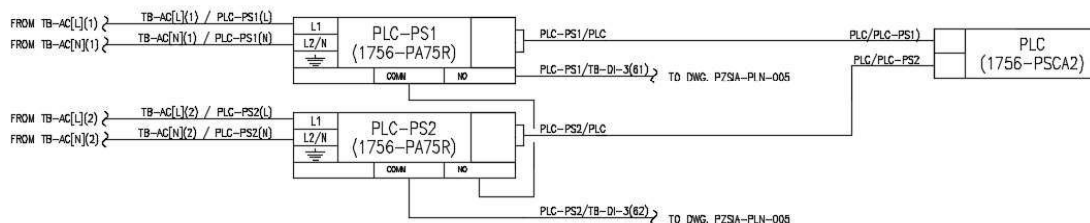


Figura 57. Conexión de fuentes redundantes del PLC.

Como se ha mencionado en la selección de equipos, la fuente SOLA que suministra voltaje adecuado para el funcionamiento de equipos requería de dispositivos adicionales como el supresor y el módulo de redundancia, las conexiones necesarias a realizarse entre estos equipos son las siguientes:

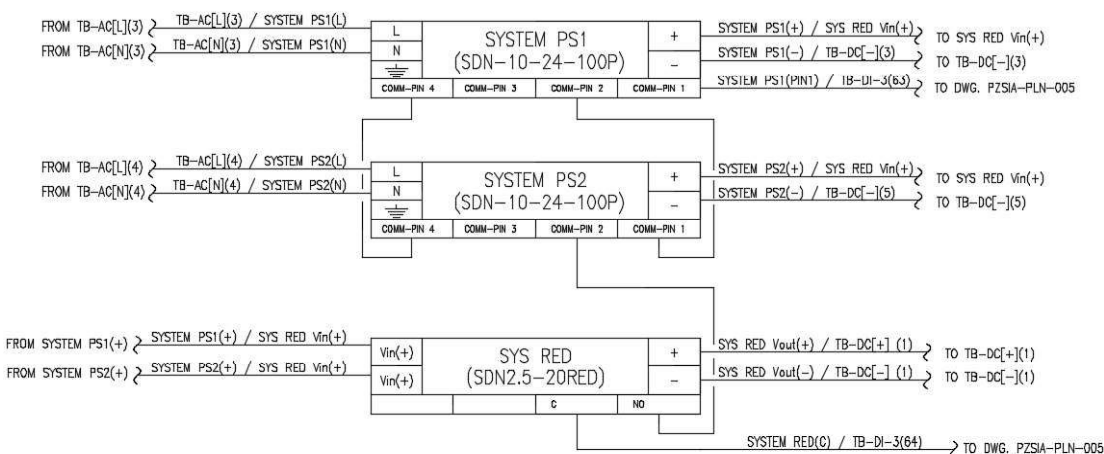


Figura 58. Conexión de fuentes de alimentación.

Con estas conexiones se podrá suministrar el voltaje requerido por los equipos del tablero según sus especificaciones técnicas.

La última conexión necesaria en la parte de control se relaciona a la parte de iluminación, esto se dará gracias a la utilización de un microswitch que servirá como interruptor y brindará iluminación cada vez que las puertas del tablero se encuentren abiertas.

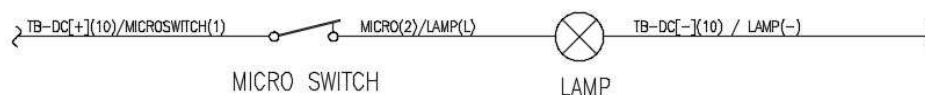


Figura 59. Conexión principal del microswitch para iluminación.

Ahora con las conexiones mencionadas anteriormente y con las que se mostraron en la sección 4.7. Conexiones del PLC se tiene todas las conexiones que se realizaron en la ejecución de este proyecto.

5.3. Sistema de puesta a tierra utilizado.

En todo trabajo eléctrico o electrónico es necesario contar con un sistema de puesta a tierra que servirá para salvaguardar las vidas humanas, evitando así producir choques eléctricos al tocar algún gabinete, chasis de motor o maquinaria, al igual que proteger los equipos eléctricos y electrónicos de corrientes de falla y/o corto circuitos.

De igual manera se requiere esquematizar este sistema para indicar que cargas se conectarán hacia el mismo sistema.

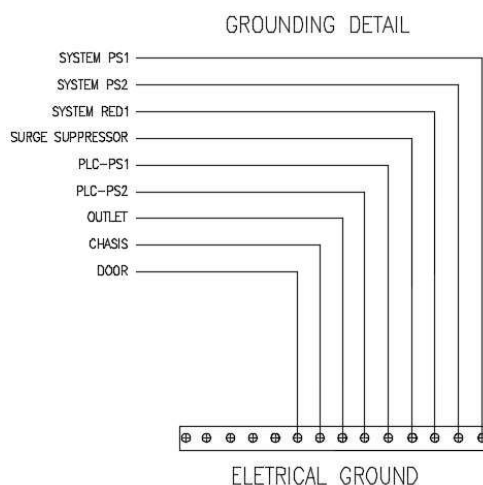


Figura 60. Detalle del sistema de puesta a tierra eléctrico.

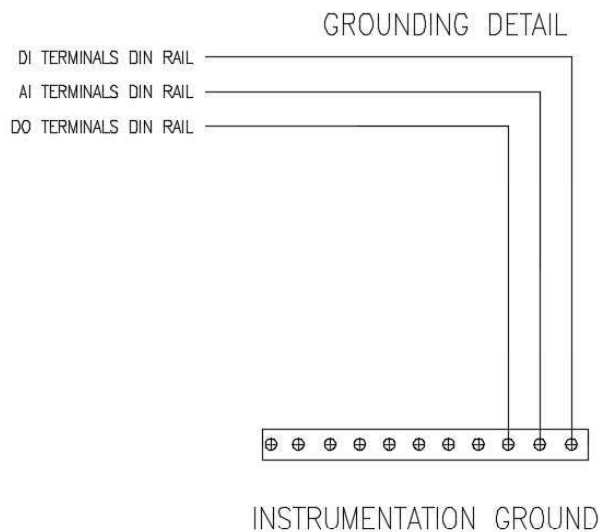


Figura 61. Detalle del sistema de puesta a tierra de instrumentación.

Dentro del tablero de control, el sistema de puesta a tierra físicamente es una barra de tierra de 200 [mm] de longitud y 15 orificios para conexiones como la que se muestra a continuación:

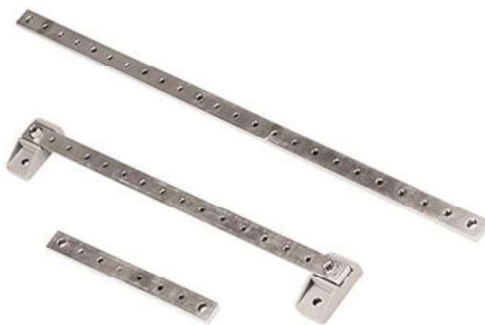


Figura 62. Sistema de puesta a tierra física.

Esta barra es instalada al gabinete de control mediante pernos de sujeción, para lo cual se muestra a continuación un esquema de dicho montaje.

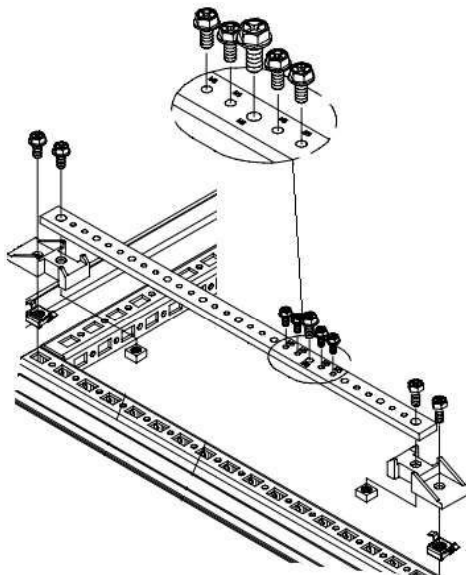


Figura 63. Detalle de montaje del Sistema de puesta a tierra.


5.4. Señales y tags utilizados.

Para la implementación de equipos dentro del gabinete, es necesario contar con sus respectivos nombres o tags como se vio en los diagramas de conexión, es por esto que se detalla a continuación una lista de los tags utilizados en el proyecto y mediante los cuales se podrán conocer con mejor certeza las conexiones realizadas.

Tabla 14.

Lista de tags físicos utilizados en la elaboración del tablero de control.

# Parte	Descripción
PLC-PZSIA-001	Placa metálica de 200x60 [mm] relacionada con el PLC Allen Bradley y utilizada en la parte frontal del gabinete metálico.
PLC-PZSIA-001	Placa acrílica con letras negras de 100x30 [mm] a utilizarse en el interior del tablero y brinda facilidad de ubicación del PLC.
PLC-PS1	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] utilizada para identificar la fuente de alimentación 1 del PLC

Continúa 

PLC-PS2	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] utilizada para identificar la fuente de alimentación 2 del PLC
SYS. PS1	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] que identifica el lugar donde está la fuente de alimentación N.01 SOLA.
SYS. PS2	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm], identifica el lugar donde está la fuente de alimentación N.02SOLA.
INST. GND	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] utilizada para indicar la barra de tierra de instrumentación.
ELEC. GND	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] utilizada para indicar la barra de tierra eléctrica.
SYS. RED	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] indica la ubicación del módulo de redundancia de fuentes SOLA.
SYS. SP	Placa acrílica con letras negras de 60x20 [mm] indica el módulo supresor de picos marca SOLA.
SWITCH CISCO	Placa acrílica con letras negras de 60X20 [mm], utilizada para identificar la ubicación del switch CISCO.

Ahora dentro del desarrollo del HMI fue necesario utilizar variables que permitieron realizar las animaciones de los componentes de la interfaz, a continuación la lista de estas variables y su descripción:

Tabla 15.

Lista de señales utilizadas en la elaboración del HMI.

Señal	Descripción
Fuente1	Identifica si la fuente N. 01 de alimentación está eléctricamente funcional.
Fuente2	Identifica si la fuente N.02 de alimentación del PLC está eléctricamente funcional.
BHM	Señal de activación de bomba horizontal multietapa.
BombasBooster	Señal de simulación para encendido de Bombas booster.
Caudal	Señal analógica indica el nivel de caudal existente.
F1	Señal de activación de electroválvulas del filtro 1.
F2	Señal de activación de electroválvulas del filtro 2.
Presión1	Señal analógica indica el nivel de presión existente antes de la bomba multietapa (presión N.01).
Presión2	Señal analógica indica el nivel de presión existente después de la bomba multietapa (presión N.02).

CAPÍTULO 6

DESARROLLO DE LA INTERFAZ

6.1. Elaboración de la interfaz humano - máquina.

6.1.1. Normas utilizadas para la elaboración del HMI.

Para el desarrollo de las HMI se ha establecido como prioridad la guía GEDIS (Guía ergonómica de diseño de interfaces de supervisión), pero se han considerado aspectos o consideraciones que se muestran en normas como la ISA101 que es aquella que plantea pautas para el diseño de HMI industrial.

6.1.2. Consideraciones tomadas para la elaboración del HMI.

La guía GEDIS sugiere tomar a consideración varios aspectos dentro de la elaboración del HMI, aspectos como arquitectura, navegación, distribución, color, texto, equipos, valores, tablas, comandos e ingreso de datos, y alarmas, para lograr una estandarización de interfaces.

Estos aspectos en conjunto forman la metodología a aplicarse para el desarrollo del HMI y pueden ser ordenados de tal manera que se indique el orden a seguir en la elaboración de la interfaz, dicho orden se muestra en la siguiente figura.

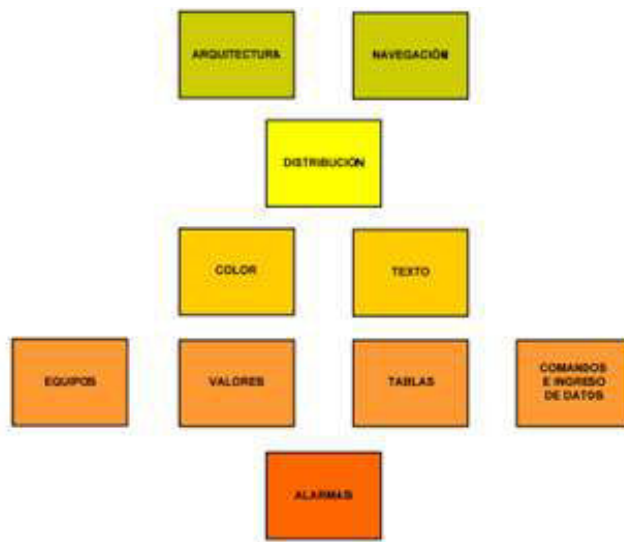


Figura 64. Esquema general de la metodología de desarrollo de la interfaz.

Fuente: (Granollers)

Arquitectura y navegación.

Es importante señalar las relaciones lógicas entre las pantallas a realizar, siendo estas las siguientes:

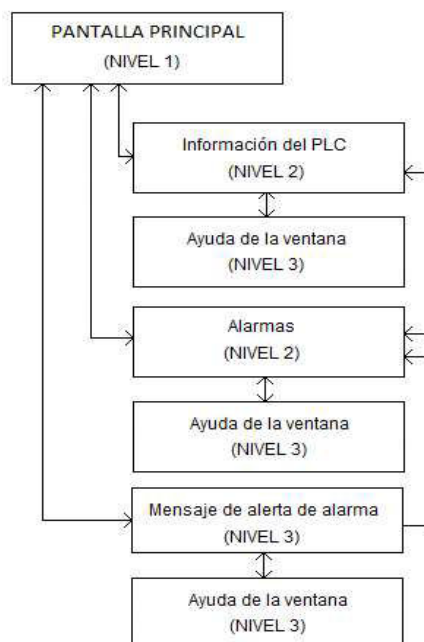


Figura 65. Arquitectura y navegación entre pantallas de distintos niveles.

De la imagen anterior se puede categorizar cada una de las ventanas según su nivel, si bien es cierto la guía GEDIS sugiere utilizar categorías como Nivel área, Nivel sub área, Nivel equipo, para un mejor entendimiento y desarrollo se usará categoría Nivel 1, nivel 2, nivel 3, nivel 4, etc., teniendo así lo siguiente:

- Nivel 1: Pantalla principal.
- Nivel 2: Ingreso al sistema, Menú de opciones.
- Nivel 3: Estado del PLC, Alarmas y Simulación.
- Nivel 4: Mensaje de alarma.

Tipos de pantallas.

Siendo posible categorizar las pantallas en Pantallas de proceso (general de planta, general de área, de detalle y de equipo), Pantallas de Comandos, Pantallas de Configuración, Pantalla de Tendencias, Pantallas de Alarmas, las ventanas que se utilizarán para el HMI son las siguientes:

- Pantalla principal: es una Pantalla de Proceso y a la vez de Configuración, en la cual se mostrará el proceso de inyección de agua mediante un sinóptico del mismo y permitirá al usuario establecer parámetros del sistema.
- Estado del PLC: al igual que la anterior, es una Pantalla de Proceso de la su categoría Equipos.
- Simulación: es una Pantalla de Comandos que permitirá al operador realizar arranque o paro de equipos.
- Alarmas: ventana que obviamente pertenece a la categoría Alarmas.

Distribución de pantallas.

Para esto, es necesario comenzar por el desarrollo de plantillas de los tipos de ventanas que se tendrán. Las ventanas a desarrollarse se pueden dividir en dos tipos.

- Tipo 1: Pantalla principal, Estado del PLC y Alarmas.
- Tipo 2: Ayuda y Mensaje de alerta de alarma.

Para las ventanas de tipo 1 se ha considerado necesario la utilización de los siguientes conceptos:

- Ubicación del título de la pantalla, hora y fecha.
- Utilización de un Menú del sistema.
- Ubicación de alarmas del proceso (para la pantalla principal).
- Ubicación del mímico del área.
- Utilización de funciones genéricas como la ventana emergente de confirmación de alarma.

Para la ventana de tipo 2 se ha considerado usar los siguientes aspectos:

- Ubicación del título de la pantalla.
- Texto unificado.
- Utilización de un botón para retorno a la ventana anterior.

Lo anterior se plasma en las siguientes figuras:

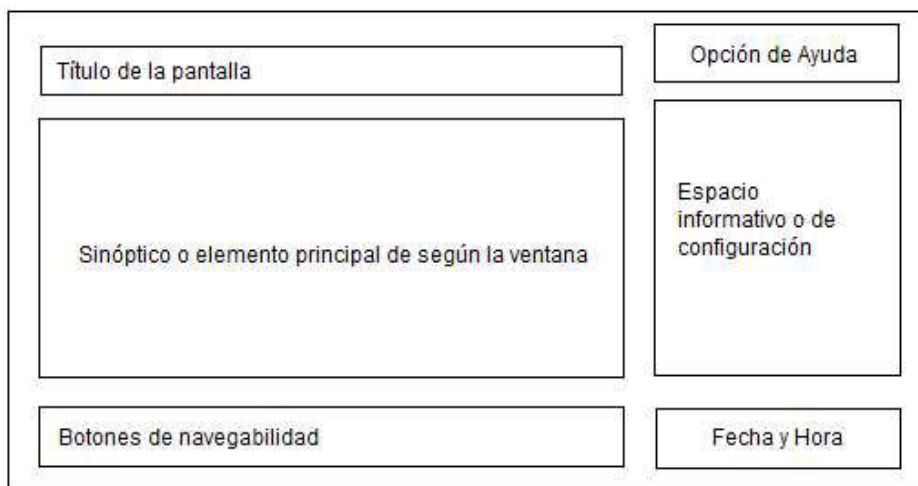


Figura 66. Formato base de ventanas de tipo 1.

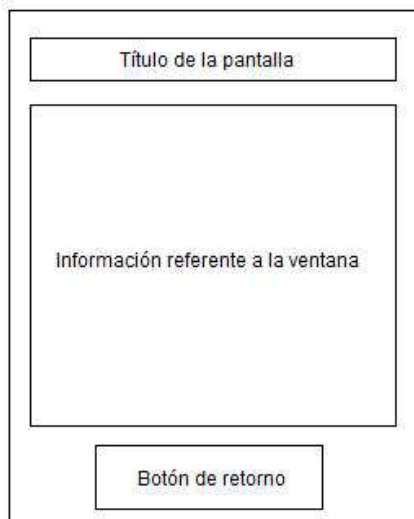


Figura 67. Formato base de ventanas de tipo 2.

Uso de colores.

Siendo el color uno de los principales aspectos a considerar para el desarrollo del HMI, se ha tomado en cuenta el color necesario para representar el estado de los equipos, lo cual se muestra a continuación:

- Marcha de equipo: verde.
- Paro de equipo: negro.
- Paso de fluido o funcionamiento correcto de las tuberías: azul.
- Activación de un indicador de alarma: rojo.
- Texto general: letras negras.
- Fondo de pantalla: gris o similar.

Con lo anterior se asegura de cumplir las directrices mencionadas en la Guía GEDIS, directrices como:

- Se limitará el número de colores utilizados en una pantalla (entre 4 y 7 colores) y se utilizará un color neutro (gris) para el fondo y con eso evitar exceso de resplandor.
- No se utilizaron combinaciones con contrastes (rojo-azul, azul-amarillo, amarillo-blanco, etc.).
- Se reforzará la distinción de colores con textos, formas, etc.

- Se utilizará el color blanco para información periférica.
- Se limitará el uso de intermitencias salvo al caso especial de la notificación de alarmas activadas.

Tabla 16.

Especificación del uso de color en la interfaz.

Alarmas			
Ítem	Color	Descripción	Rojo/Verde/Azul
Alarma desactivada		Negro	0/0/0
Caudal alto		Naranja	255/100/0
Caudal bajo		Naranja	255/100/0
Caudal muy bajo		Amarillo	255/0/0
Presión 1 muy alta		Amarillo	255/0/0
Presión 1 alta		Naranja	255/100/0
Presión 1 baja		Naranja	255/100/0
Presión 1 muy baja		Amarillo	255/0/0
Presión 2 muy alta		Amarillo	255/0/0
Presión 2 alta		Naranja	255/100/0
Presión 2 baja		Naranja	255/100/0
Presión 2 muy baja		Amarillo	255/0/0
Materiales del proceso			
Ítem	Color	Descripción	Rojo/Verde/Azul
Agua		Azul rey	0/0/255
Señales			
Ítem	Color	Descripción	Rojo/Verde/Azul
Caudal		Azul marino	0/64/128
Presión		Azul rey	0/0/255
Indicador señal digital desactivado		Negro	0/0/0
Indicador señal digital activado		Verde claro	0/255/0
Ítems varios			
Ítem	Color	Descripción	Rojo/Verde/Azul
Código equipos normal		Negro	0/0/0
Código activación de equipos		Verde	0/113/0
Botón confirmar alarmas		Amarillo claro	255/255/128
Títulos de pantallas		Negro	0/0/0
Texto notificación de alarma		Rojo	255/0/0
Texto general		Negro	0/0/0

Información textual.

En este punto se definirán los parámetros que se ajustan al texto de la interfaz, siendo estos parámetros los siguientes:

- No se utilizarán más de tres (3) tipos de fuentes ni de tamaños (la fuente menor será de 8 puntos).
- Conforme a la sugerencia de la GEDIS se utilizará la fuente MS Sans Serif.
- Se evitará el uso de énfasis como subrayado, sombreado, etc. y a su vez garantizará el contraste con el fondo.
- Se alinearán los textos y puntos decimales garantizando evitar el aglutinamiento de caracteres.


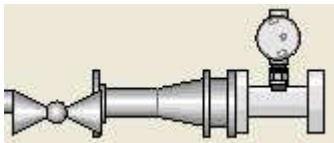
Simbología, nomenclatura y estatus de equipos.

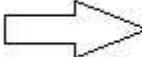
La simbología utilizada en la interfaz corresponderá estrictamente a la determinada en la “Sección 4.1. Nomenclatura”. (Ver Sección 4.1)

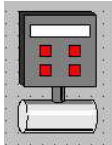


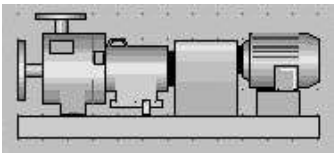
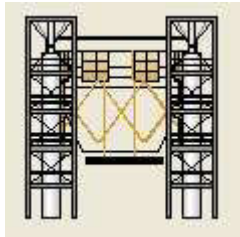

A continuación se definirán los gráficos estándar de los equipos relacionados al proceso (tubería, válvulas, trampas, filtros, bomba, pozo, indicadores, sensores, actuadores, etc.), al momento de desarrollar el HMI se ha considerado que todos los gráficos deben ser de un tamaño lo suficientemente visible y no deben ser confusos.

Tabla 17.

Especificación de los equipos para el desarrollo de pantallas.

Símbolo	Descripción
	Tubería
	Trampa (lanzadora o receptora) provista de válvula para su mantenimiento.

Continúa 


	Medidor de caudal o presión.
	Electroválvula.
	Filtro.
	Bomba horizontal multietapa.
	Pozo.
	Indicador de alarmas.

Alarmas.

Aquí se procede a indicar las distintas alarmas existentes en el proceso, siendo estas las siguientes:

Tabla 18.
Lista y descripción de alarmas.

Variable	Nombre de la alarma	Descripción o condición de activación
Caudal	Caudal Alto	Se activa cuando el caudal existente en la tubería sobrepasa los 3100 [BWPD].

Continúa 

	Caudal Bajo	Se activa cuando el caudal existente en la tubería está entre los 1200 y 800 [BWPD].
	Caudal muy bajo	Se activa cuando el caudal existente en la tubería es menor a los 800 [BWPD].
Presión 1	Presión 1 muy alta	Se activa cuando la presión antes de la bomba multietapa sobrepasa 200 [PSIG].
	Presión 1 alta	Se activa cuando la presión antes de la bomba multietapa se encuentra en un rango de 180 y 200 [PSIG].
	Presión 1 baja	Se activa cuando la presión antes de la bomba multietapa se encuentra en un rango de 50 y 40 [PSIG].
	Presión 1 muy baja	Se activa cuando la presión antes de la bomba multietapa es menor a 40 [PSIG].
Presión 2	Presión 2 muy alta	Se activa cuando la presión existente después de la bomba multietapa sobrepasa 2100 [PSIG].
	Presión 2 alta	Se activa cuando la presión existente después de la bomba multietapa se encuentra en un rango de 2100 y 2050 [PSIG].
	Presión 2 baja	Se activa cuando la presión existente después de la bomba multietapa se encuentra en un rango de 550 y 500 [PSIG].
	Presión 2 muy baja	Se activa cuando la presión existente después de la bomba multietapa es menor a 500 [PSIG].

6.1.3. Descripción de la HMI desarrollada.

Para el presente proyecto se ha desarrollado una interfaz en el software Intouch, esto debido a la facilidad de manejo que brinda este programa y una alta calidad en sus gráficos.

Posterior a la aprobación de dicha interfaz por parte del cliente, personal de campo encargado de la programación del PLC elaborará una interfaz similar o transformará la misma a formato compatible con PanelView de Allen Bradley es decir que corra sin inconvenientes en el software Factory Talk versión 6.0 (como se indicó en las especificaciones del PanelView en la “Sección 5.1 lista y descripción de equipos”) y que a su vez se pueda adoptar los cambios requeridos en campo.

Una vez mencionado lo anterior, se tendrán varias pantallas que conforman la interfaz, garantizando con esto una adecuada navegabilidad y ahorro en posibles confusiones al momento de operar el HMI, inicialmente se ha desarrollado las siguientes ventanas:

- Pantalla principal o pantalla del proceso.
- Información del PLC.
- Alamas.
- Mensaje de confirmación de alarma.

Los tipos y niveles de las ventanas se especifican en la “Sección 6.1.2. Consideraciones tomadas para la elaboración del HMI”. (Ver Sección 6.1.2)

6.1.4. Descripción de pantallas existentes.

Pantalla principal o pantalla del proceso.

En esta pantalla se esquematiza el proceso de inyección de agua con sus principales componentes (trampas lanzadora y receptora, filtros, válvulas, medidores, bomba horizontal multietapa y pozo).

Posee además contadores que permiten conocer al operario el nivel de presión y caudal existente en la tubería, de igual manera se los puede ingresar numéricamente.

Para el nivel de caudal se utilizará como unidad los BWPD (barriles de agua por día), mientras que para la presión se utilizará la presión relativa y por ende se usará los PSIG (libra sobre pulgada cuadrada).

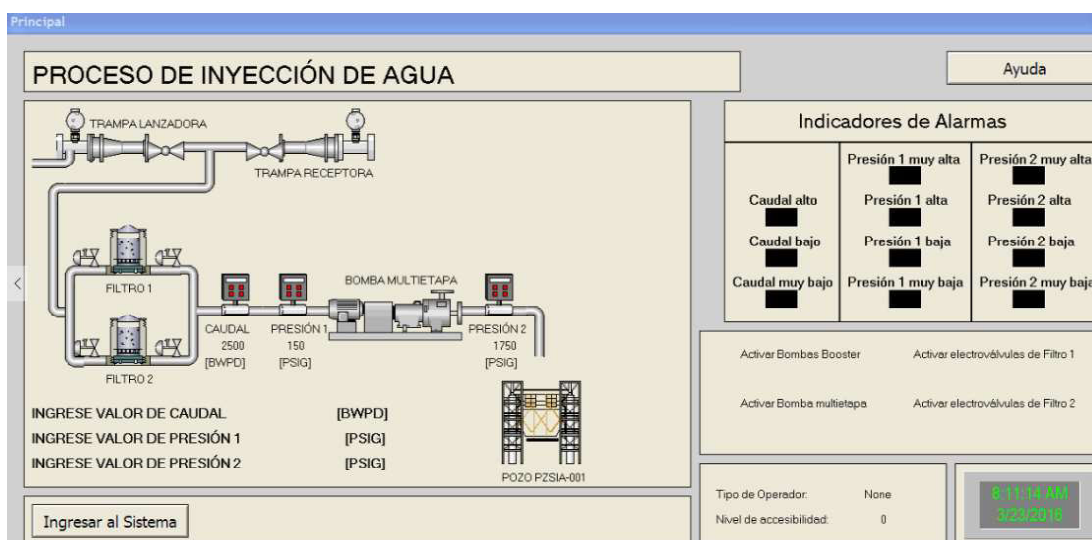


Figura 68. Pantalla Principal o del Proceso general.

Esta pantalla está dotada de indicadores relacionados con todas las alarmas existentes en el sistema.

A través de esta ventana se puede acceder al sistema garantizando con esto que únicamente el operador pueda acceder a la modificación de parámetros, de igual manera se puede acceder a otras ventanas a través de botones de navegabilidad.

Ventana de Ingreso.

Mediante esta ventana propia de Intouch se podrá ingresar al sistema y realizar modificaciones en ciertos botones de accionamiento del sistema.

Pese que actualmente no se requiere de modificaciones o accionamientos del sistema, esto quedará a rienda suelta ante las necesidades del personal encargado de la programación del PLC en campo que requerirá la activación de equipos como Bombas Booster, las electroválvulas de los filtros y la Bomba Horizontal Multietapa.

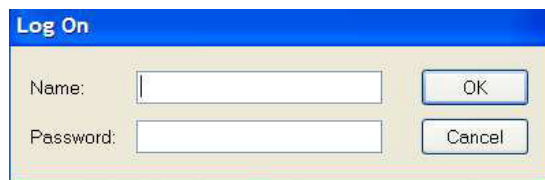


Figura 69. Ventana de ingreso al sistema.

Información del PLC.

En esta ventana se esquematiza el PLC utilizado al igual que sus respectivos módulos, se puede encontrar detallado qué módulo ocupa cada uno de los slots del chasis y se posee dos indicadores que permiten conocer qué fuente está operando.

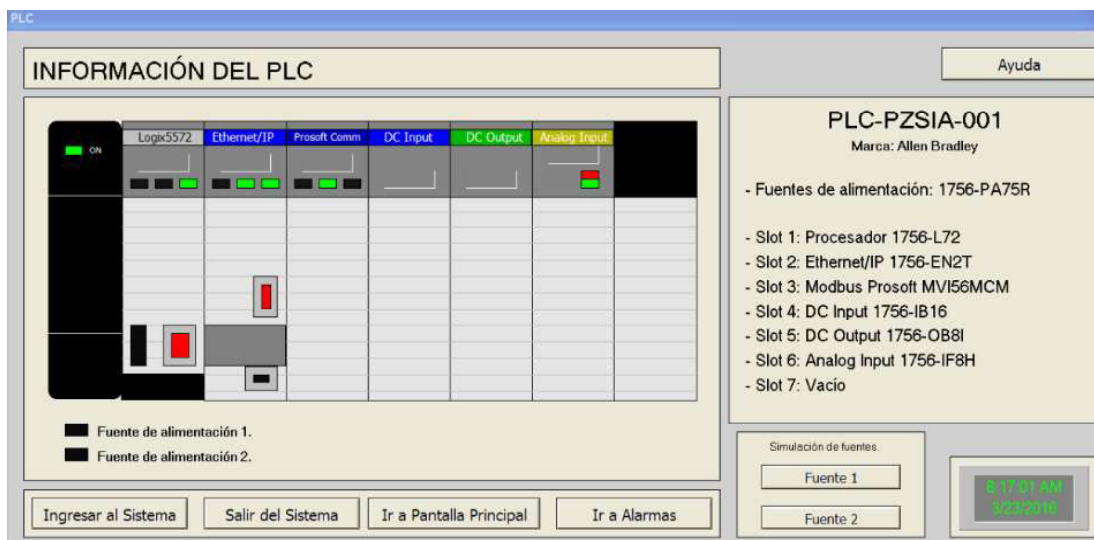


Figura 70. Ventana de información del PLC.

Ventana de Alarmas.

En esta ventana se puede encontrar varias secciones, por un lado se cuenta con un histórico de las alarmas, el mismo que brinda al operario información sobre cualquier alarma que sea activada (nombre de la alarma, fecha y hora en la que fue activada, a qué clase o tipo de alarma pertenece, qué prioridad tiene, etc.).

Otra sección importante de esta ventana es la informativa (ubicada en la parte superior derecha), la misma que permite conocer los rangos de presión y caudal permitidos en el Proceso de Inyección de Agua.

Figura 71. Ventana de Alarmas.

En la parte inferior cuenta con los botones de navegabilidad, y con una sección destinada a dar información relativa a los valores actuales de las variables del proceso.

Ventana de Mensaje de Alarma.

Esta ventana es una de tipo auxiliar, permite conocer cuando una alarma es activada, al mismo tiempo mediante un botón brinda la posibilidad de realizar el reconocimiento de dicha alarma.



Figura 72. Ventana de Mensaje de Alerta de Alarma.

6.1.5. Descripción del funcionamiento.

Para realizar la descripción del funcionamiento del HMI desarrollado, se ha visto la necesidad de elaborar un esquema mediante el cual se encuentran detallados los posibles movimientos o accesos entre cada una de las pantallas existentes, este esquema está determinado en la “Sección 6.1.2. Consideraciones tomadas para la elaboración del HMI”. (Ver Figura 63)

Adicional se ha elaborado un graficet para entender de mejor manera el funcionamiento de la interfaz, el mismo se lo puede visualizar de mejor manera en el “Anexo 9. Graficet del HMI”. (Ver Anexo 9)

Conexión con el PLC

Siendo el tablero de control un RTU (Unidad terminal remota) es necesario indicar los requerimientos que se deben tener para realizar la conexión con el HMI realizado, es por esto que la topología de red que conformará el ordenador (estación master), el tablero, y los equipos de campo es tipo árbol.

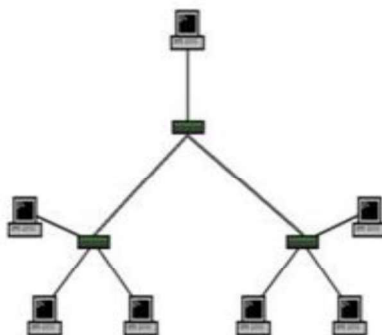


Figura 73. Esquema de la topología tipo árbol.

Dicha topología brinda al sistema varias ventajas como:

- Permite un fácil crecimiento de la red: ya que se puede conectar varios equipos.
- Cableado punto a punto para segmentos individuales

- El Hub central (concentrador, dispositivo utilizado en redes de área local) al retransmitir las señales amplifica la potencia e incrementa la distancia a la que puede viajar la señal. (Galeón, 2016)
- La falla de algún nodo secundario, no implicará con una falla general del sistema, garantizando con esto una buena seguridad en el funcionamiento del mismo.
- Para el control de la transmisión de datos se utilizan switches, permitiendo así priorizar y aislar las comunicaciones de distintas computadoras.

De igual manera presenta algunas desventajas en su utilización, desventajas como:

- Para realizar la conexión entre equipos o a su vez para generar la estructura de la topología se necesitará más cable que en otros tipos.
- Si falla o se viene abajo el segmento principal todo el segmento bajo con él fallará.
- La complejidad de su configuración es mayor comparada a otros tipos de topologías.

Ahora en cuanto a requerimientos de software al momento de realizar la programación en campo se necesitará la utilización de los siguientes programas:

- RSLinx: herramienta de comunicación esencial cuando se requiere comunicar equipos o redes Allen Bradley.
- RSLogix Emulate: Emulador para verificar el funcionamiento de programas realizados y que serán utilizados en equipos Allen Bradley.
- RSLogix 5: Software de programación para PLC Allen Bradley.

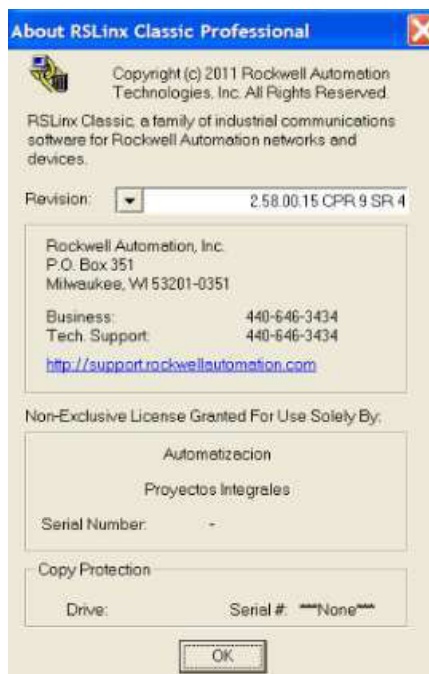


Figura 74. Información del software RSLinx suministrado por PIL S.A.

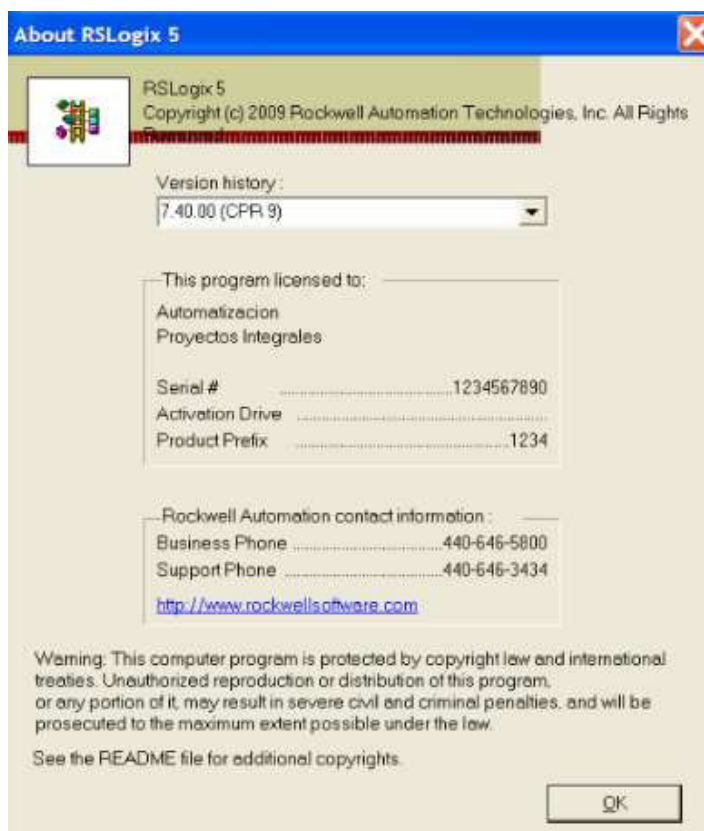


Figura 75. Información del software RSLogix suministrado por PIL S.A.

6.2. Simulación del funcionamiento de la interfaz desarrollada.

El proceso inicia en la pantalla principal o pantalla del Proceso de Inyección de Agua, en esta se puede acceder al sistema y así acceder a otras ventanas del HMI, cabe recalcar que si no se accede al sistema no se podrá realizar modificación alguna con respecto a las variables o acceder a otras ventanas, esto para garantizar que sea únicamente el personal capacitado quien altere las condiciones normales del funcionamiento del HMI.

El funcionamiento inicia con el ingreso del operario al sistema, esto se lo hace al presionar el botón “Ingresar al Sistema”.



Figura 76. Ingreso al sistema a través del botón “Ingresar al Sistema”.

Una vez que el usuario ingrese al sistema, se habilitan los botones de acceso a ventanas como Información del PLC, Alarmas o Ayuda, así como los botones de activación de equipos y espacios de modificación de parámetros.

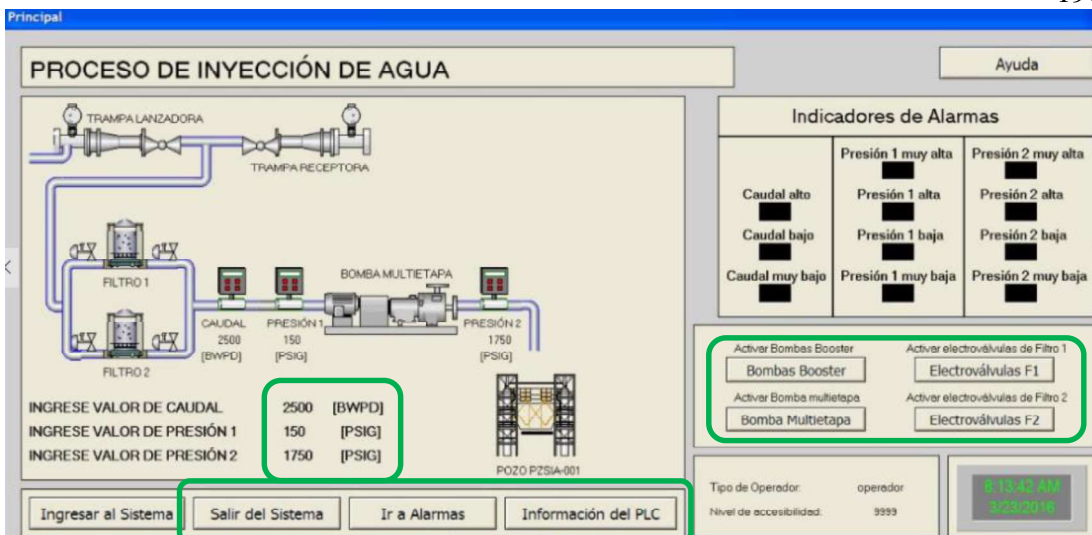


Figura 77. Acceso a modificación de parámetros y botones de navegabilidad después de ingresar al sistema.

Aquí al pulsar sobre cualquier botón de activación de equipos producirá un cambio visual en el color de ellos en el esquemático, siendo estos cambios los siguientes:

- Activación del botón Bombas Booster: cambia el color del borde de la tubería de negro a azul (haciendo referencia que el líquido que pasa por las tuberías es agua).
- Activación del botón Bomba multietapa: genera un cambio de color en el borde de la imagen de la bomba horizontal multietapa, de negro a verde.
- Activación del botón Electroválvulas F1 / Electroválvulas F2: genera cambio de color en las electroválvulas que permiten cortar el paso del fluido a través del filtro, esto si se requiere de un mantenimiento de dichos filtros.

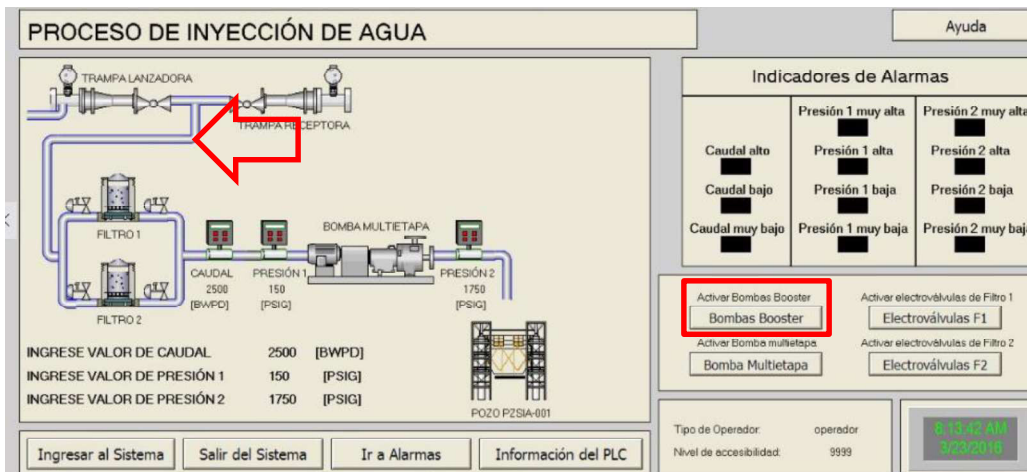


Figura 78. Activación de botón "Bombas Booster".

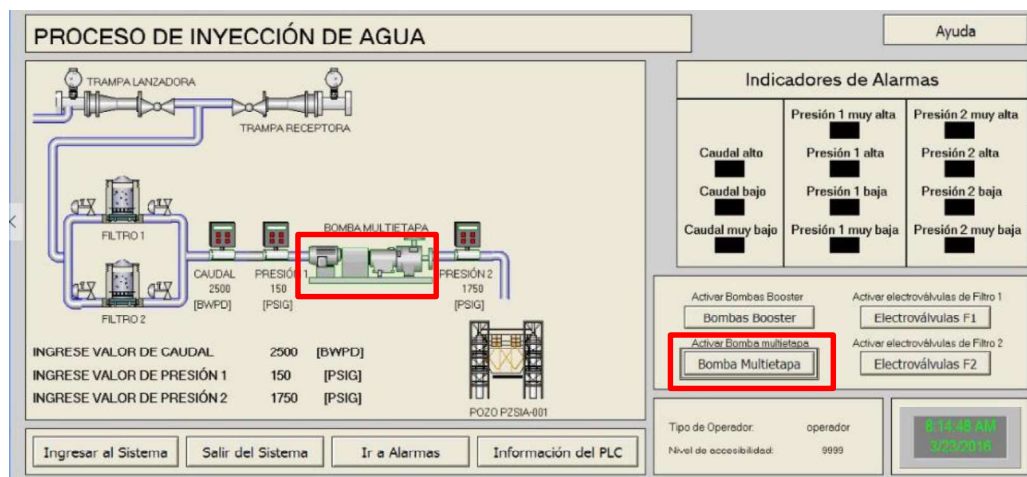


Figura 79. Activación de botón "Bomba Multietapa".

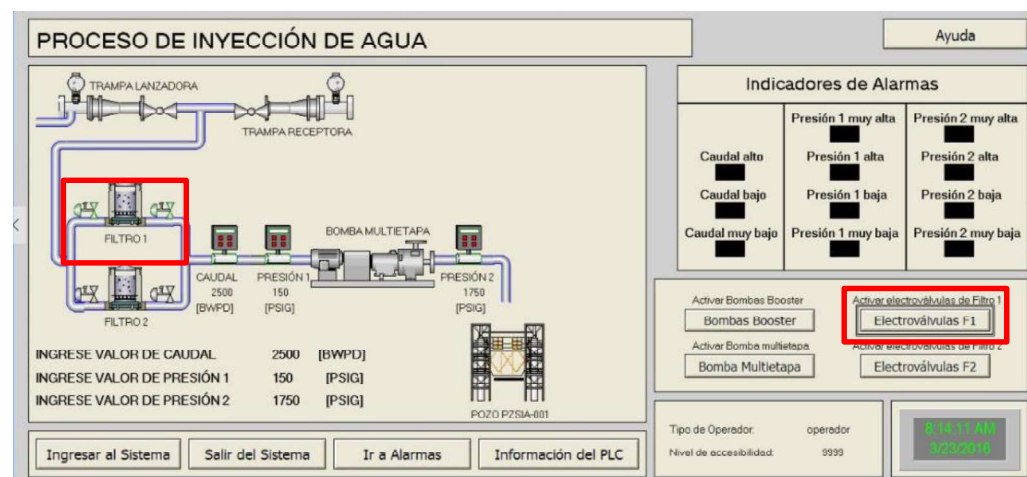


Figura 80. Activación de botón "Electroválvulas F1".

Como se ha mencionado previamente, en esta ventana también se pueden modificar los valores de las variables Caudal y Presión, esto mediante un ingreso numérico como se muestra a continuación.

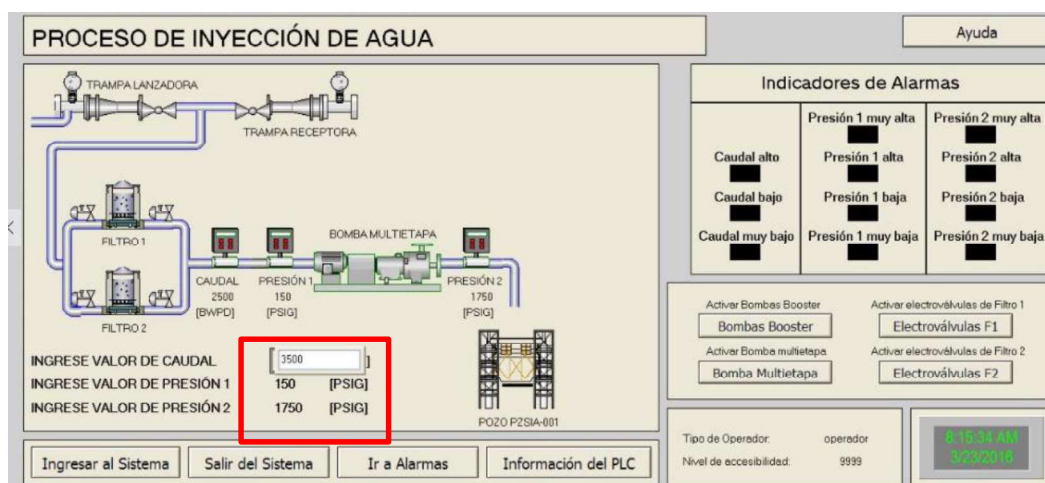


Figura 81. Ingreso de valores de variables Caudal o Presión.

Si los valores ingresados exceden los rangos de funcionamiento establecidos, aparecerá una ventana de alerta y a su vez cambiará el estado de los indicadores de la parte superior derecha de la ventana.

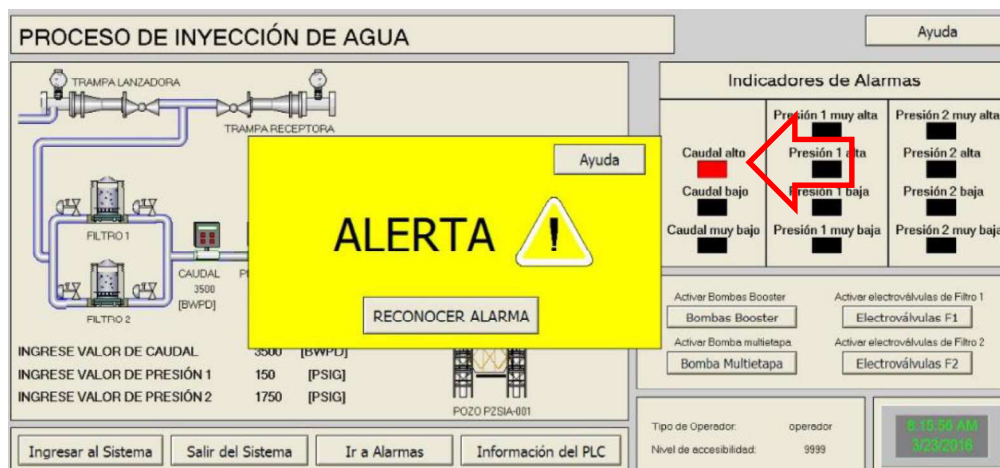


Figura 82. Mensaje de alerta ante una alarma relacionada con las variables Caudal o Presión.

Al presionar el botón “Reconocer alarma” se accederá a la ventana de alarmas, en la cual se mostrará información relacionada con la alarma que haya sido activada.

Date	Time	State	Class	Type	Priority	Name	Group	Provider
23 Mar	08:16	ACK	VALUE	HI	1	Caudal	\$System	/intouch

Update Successful Default Query

VALOR ACTUAL DE CAUDAL: 3500 [BWPD]
 VALOR ACTUAL DE PRESIÓN 1: 150 [PSIG]
 VALOR ACTUAL DE PRESIÓN 2: 1750 [PSIG]

ESTADO DE ALARMA: ACTIVADA

LÍMITES DE CAUDAL Y PRESIÓN

CAUDAL ALTO	9100 [BWPD]
CAUDAL BAJO	1200 [BWPD]
CAUDAL MUY BAJO	800 [BWPD]
PRESIÓN 1 MUY ALTA	200 [PSIG]
PRESIÓN 1 ALTA	180 [PSIG]
PRESIÓN 1 BAJA	50 [PSIG]
PRESIÓN 1 MUY BAJA	40 [PSIG]
PRESIÓN 2 MUY ALTA	2100 [PSIG]
PRESIÓN 2 ALTA	2050 [PSIG]
PRESIÓN 2 BAJA	550 [PSIG]
PRESIÓN 2 MUY BAJA	500 [PSIG]

8:16:23 AM
3/23/2016

Figura 83. Información de la alarma activada.

Se requerirá de una modificación de los parámetros para apagar dicha alarma, considerando que en la parte derecha se encuentran los rangos permitidos para su modificación.

Otra ventana a la que se puede acceder es a “Información del PLC”.

INFORMACIÓN DEL PLC

PLC-PZSIA-001
 Marca: Allen Bradley

- Fuentes de alimentación: 1756-PA75R

- Slot 1: Procesador 1756-L72
- Slot 2: Ethernet/IP 1756-EN2T
- Slot 3: Modbus Prosoft MVI56MCM
- Slot 4: DC Input 1756-IB16
- Slot 5: DC Output 1756-OB8I
- Slot 6: Analog Input 1756-IF8H
- Slot 7: Vacío

Simulación de fuentes

Fuente 1
Fuente 2

8:17:01 AM
3/23/2016

Figura 84. Ventana "Información del PLC".

Esta ventana es esencialmente informativa ya que se encuentra información referente al PLC utilizado y sus distintos módulos, pero existe también la posibilidad de verificar cuál de las dos fuentes de alimentación del sistema de redundancia está funcionando. Esto se lo realizó mediante el uso de dos botones (Fuente 1, Fuente 2) con la finalidad de verificar el funcionamiento de los indicadores, pero en campo serán señales analógicas provenientes de las fuentes.

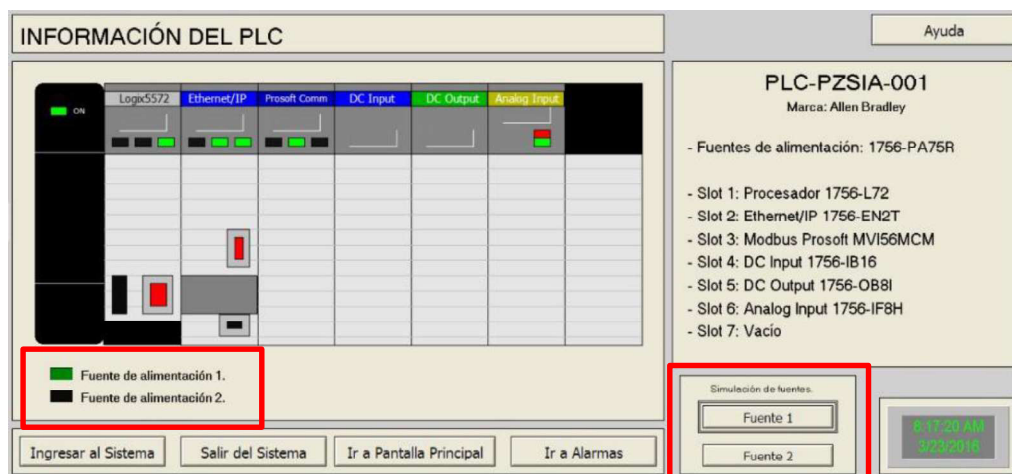


Figura 85. Ventana “Información del PLC” y comprobación de indicadores.

Es necesario mencionar que cada una de las ventanas anteriormente descritas posee en la parte superior derecha un botón de acceso que permite visualizar una nueva ventana de ayuda, que contiene información relevante sobre la ventana actual y un botón de retorno a la anterior ventana.

Todas las ventanas de ayuda se muestran a continuación.

AYUDA - PANTALLA PRINCIPAL
<p>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</p> <p>La Pantalla principal está destinada a brindar al usuario una clara idea del Proceso de Inyección de agua, el mismo que se describe a continuación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - El proceso inicia con la activación de las Bombas Booster - Estas bombas envían agua a los trampas (lanzadora y receptora) las cuales son utilizados para dar mantenimiento a la tubería y así eliminar impurezas. - El agua pasará a la etapa de filtraje en la cual existen dos filtros en paralelo que serán activados mediante electroválvulas controladas desde la estación. - La etapa previo a la inyección en el pozo corresponde a la actuación de la bomba horizontal multietapa que se encarga de subir la presión y así enviar el líquido a grandes presiones hacia el pozo.
<p>COMPONENTES DE LA PANTALLA</p> <p>En la actual pantalla se pueden encontrar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>ESQUEMÁTICO</u> del proceso de Inyección de Agua: con equipos y contadores que permiten visualizar el valor de las variables Caudal y Presión. - <u>BOTONES DE NAVEGACIÓN</u>: permiten acceder a otras ventanas según la necesidad del operador. - <u>INDICADORES DE ALARMAS</u>: permiten conocer si alguna alarma vinculada al Caudal o Presión fue activada. - <u>COMANDOS DE CONFIGURACIÓN</u>: a través de estos se podrá: <ol style="list-style-type: none"> 1. Activar equipos (bombas, electroválvulas, etc.). 2. Ingresar y modificar los valores de las variables Caudal y Presión. <p style="text-align: center;">Regresar</p>

Figura 86. Ventana de ayuda de la pantalla principal.

AYUDA - PANTALLA ALARMAS
<p>DESCRIPCIÓN Y FINALIDAD</p> <p>La Pantalla de Alarmas está destinada a brindar al usuario toda la información referente a las alarmas existentes, siendo estas las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alarmas relacionadas con la variable Caudal. Caudal Alto, Caudal Bajo, Caudal muy Bajo. - Alarmas relacionadas con la variable Presión 1 (presión existente antes de la bomba multietapa). Presión 1 muy alta, Presión 1 alta, Presión 1 baja, Presión 1 muy baja. - Alarmas relacionadas con la variable Presión 2 (presión existente después de la bomba multietapa). Presión 2 muy alta, Presión 2 alta, Presión 2 baja, Presión 2 muy baja.
<p>COMPONENTES DE LA PANTALLA</p> <p>En la actual pantalla se pueden encontrar 4 partes importantes:</p> <p><u>HISTORIAL DE ALARMAS</u>: en la cual se visualizarán los datos relacionados con cualquier alarma que haya sido activada, datos como: Fecha y hora en la que fue activada la alarma. Tipo y prioridad de la alarma.</p> <p><u>VALORES DE VARIABLES</u>: aquí se encuentran los valores numéricos de las variables Caudal, Presión 1 y Presión 2 en tiempo real.</p> <p><u>BOTONES DE NAVEGACIÓN</u>: a través de los cuales el operador puede acceder a otras ventanas o a su vez ingresar al sistema.</p> <p><u>TABLA DE DATOS INFORMATIVOS</u>: en la cual se encuentran establecidos los valores normales en los que se debe manejar las variables.</p> <p style="text-align: center;">Regresar</p>

Figura 87. Ventana de ayuda de la pantalla Alarmas.

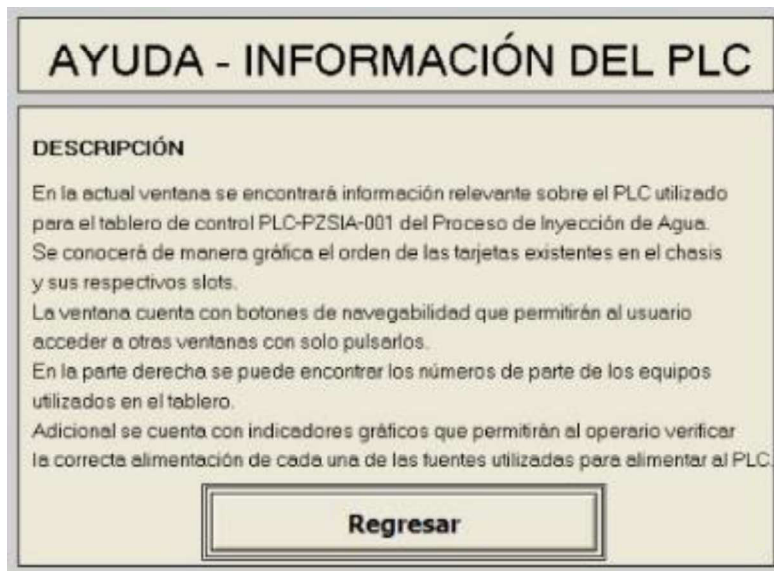


Figura 88. Ventana de ayuda de la pantalla Información del PLC.



Figura 89. Ventana de ayuda de la pantalla Mensaje de alerta.

CAPÍTULO 7

IMPLEMENTACIÓN

7.1. Integración de elementos de instrumentación y sistema de control.

Dentro de esta sección se pretende mostrar la implementación del tablero físicamente, para lo cual se muestra a continuación una serie de imágenes antecedidas con una breve descripción del proceso de ensamble.

Dicho proceso comienza con la ubicación de canaletas plásticas ranuradas (con ranuras) que servirán como ductos o caminos para el cableado a realizarse, estas se colocan mediante la perforación del panel doble fondo con tornillos autoperforantes.



Figura 90. Canaleta plástica ranurada marca CAMSCO.



Figura 91. Tornillo autoperforante.

Estos tornillos son colocados cada 50 centímetros a lo largo de la canaleta, mediante el uso de un taladro eléctrico, esto para garantizar una adecuada fijación de la canaleta al doble fondo.



Figura 92. Colocación de canaleta plástica mediante autoperforantes.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

A lo largo de la canaleta se realizan cortes que permitan conectar varias canaletas y tener un solo ducto como se había previsto en la “Sección 4.2.3. Layout general del tablero de control” y en el “Anexo 4 – Planos mecánicos. (Ver Anexo. 4).



Figura 93. Cortes realizados en la canaleta.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Posterior a esto, se procede a colocar las riel DIN en donde irán ubicados los distintos elementos como borneras, disyuntor, relés, fuentes SOLA, etc., para esto se colocan barriles aisladores que separan a la riel DIN de la superficie del doble fondo, con la finalidad de evitar futuros cortos y daños de equipos empotrados en la riel DIN.



Figura 94. Aislantes para riel DIN.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Colocados los aislantes se asegura el riel DIN mediante un perno.



Figura 95. Ajuste de riel DIN al aislante tipo barril.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Con el riel DIN disponible para ser utilizada se proceden a colocar los elementos como borneras de paso, relés, fuentes, etc., en fin todos los equipos que deben ser empotrados.

Ahora, el chasis del PLC va sujeto directamente al doble fondo mediante el uso de autoperforantes como se muestra en la figura a continuación.



Figura 96. Sujeción del chasis para PLC al panel doble fondo.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Una vez sujetado el chasis y puesto los respectivos equipos en los rieles DIN se procede a hacer el conexionado según planos eléctricos detallados en la Sección 4.2.1.1. Elaboración de planos eléctricos. Cabe mencionar que para el conexionado se utilizan el cable dimensionado en la “Sección 4.5 Selección de cables”, terminales tipo ferrul para lograr una adecuada conexión e identificadores tipo marquillas adhesivas según los planos eléctricos.



Figura 97. Terminales tipo ferrul para conexionado.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Para las conexiones directas al PLC, como se mencionó se utilizarían bloques de terminales Allen Bradley como el de la siguiente figura.



Figura 98. Bloque de terminales para conexión de módulos Allen Bradley.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Una vez armados los tramos de cable necesarios para cada terminal de conexión de los módulos del PLC se colocan dentro de estos terminales y se ajustan. A este conjunto se lo denomina brazo de conexión para PLC.

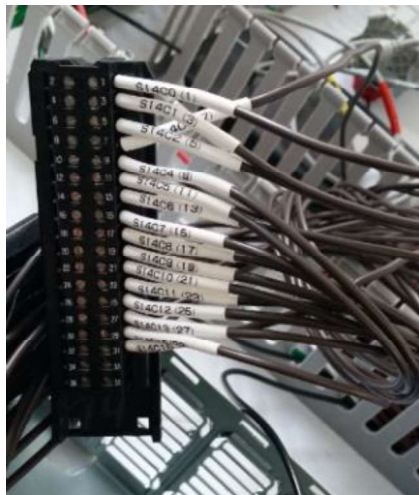


Figura 99. Brazo de conexión para PLC.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Armados todos los brazos de conexión al PLC necesarios se los ubica cerca del chasis y se procede a “peinar” el cableado a través de las canaletas. Para esta sujeción se puede utilizar amarras plásticas que serán retiradas al momento de colocar los brazos de conexión dentro de sus respectivos módulos.



Figura 100. Ajuste de brazos para realizar el peinado del cable.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

El proceso de peinado puede simplificarse al agrupar cables pertenecientes a similares equipos o funcionalidades, esta agrupación se la realiza con amarras plásticas.

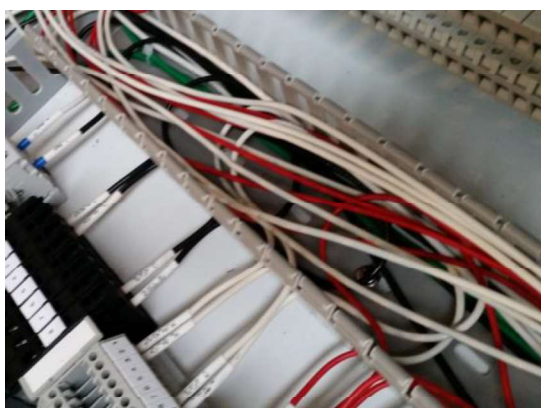


Figura 101. Distribución de cables en canaletas (peinado del cable) (1).

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 102. Distribución de cables en canaletas (peinado del cable) (2).

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Al igual que con los brazos se procede a realizar el conexionado de todos los equipos.



Figura 103. Conexionado del bloque de terminales de AC.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 104. Conexionado del bloque de borneras para entradas analógicas y equipos de comunicación Modbus.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 105. Conexión de fuentes SOLA.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Ahora otra acción importante es la ubicación de la tierra de instrumentación y de la eléctrica con sus respectivos cableados, todos los cables que se conectan a las tierras están descritos en la “Sección 5.3. Sistema de puesta a tierra utilizado”.



Figura 106. Barra de tierra eléctrica con sus respectivos cables de conexión.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 107. Barra de tierra de instrumentación con sus respectivos cables de conexión.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Cada bloque de borneras, de relés, fuentes, equipos que se empotran en la riel DIN deben estar fijos para evitar que por vibraciones salgan de su puesto, esto se logra colocando frenos a los costados de los equipos como se puede ver a continuación.



Figura 108. Ubicación de frenos de seguridad para equipos.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Todo el proceso antes descrito se lo ejecuta sobre una mesa de trabajo, esto para garantizar una adecuada ubicación de equipos y en el aspecto ergonómico una eficaz posición de trabajo para la persona que ensambla el tablero, posterior a esto se procederá a colocar el doble fondo en el gabinete metálico.



Figura 109. Panel doble fondo listo para ser sujetado en gabinete metálico.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Una vez colocado el doble fondo en el gabinete se procede a ubicar las tarjetas (módulos) del PLC, para esto es necesario tener en cuenta que cada una de estas es

dotada por un número de serie único que será respaldo de la garantía de los equipos, esto por si durante la programación a realizarse en campo alguna de estas tarjetas sufriera daño y requiera un cambio.



Figura 110. Procesador 1756-L72 previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 111. Datos de fábrica del procesador 1756-L72.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 112. Módulo de comunicaciones Ethernet 1756-EN2T previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

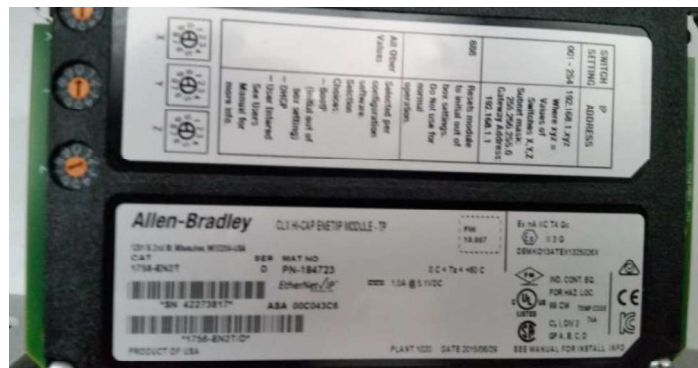


Figura 113. Datos de fábrica del módulo de comunicaciones Ethernet 1756-EN2T.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 114. Módulo de comunicaciones Modbus previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 115. Datos de fábrica del módulo de comunicaciones Modbus.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 116. Módulo de entradas digitales 1756-IB16 previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 117. Datos de fábrica del módulo de salidas digitales 1756-OB16.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 118. Módulo de salidas digitales 1756-OB8I previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 119. Datos de fábrica del módulo de salidas digitales 1756-OB8I.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 120. Módulo de entradas analógicas 1756-IF8H previo a su instalación.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

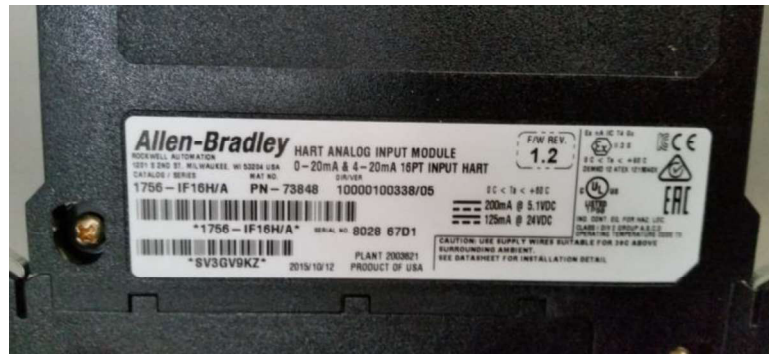


Figura 121. Datos de fábrica del módulo de entradas analógicas 1756-IF8H.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Con los módulos ubicados solo queda colocar el micro switch que servirá de interruptor de la lámpara colocada en la parte superior interna del gabinete metálico. Este micro switch es ajustado a un lado del gabinete mediante el uso de dos tornillos autoperforantes.



Figura 122. Colocación del micro switch al gabinete metálico.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Toda conexión que requiera de cableado a través de la estructura física del gabinete metálico, será implementada a través del uso de amarras plásticas y de sujetadores con cinta doble faz.



Figura 123. Ejemplo de conexiones a través de la estructura del gabinete.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Es justo mencionar que para ubicar en el tablero aquellos equipos que requieren de alimentación se los prueba eléctricamente por separado antes de dicha instalación, esto se evidencia a continuación.



Figura 124. Pruebas de energización de fuentes SOLA.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

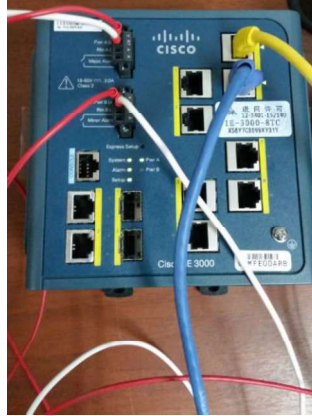


Figura 125. Prueba de energización y verificación de puertos Ethernet en switch CISCO (1).

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 126. Prueba de energización y verificación de puertos Ethernet en switch CISCO (2).

Fuente: (PIL S.A., 2016)

Con todo lo anterior se tendrá el tablero de control totalmente ensamblado.



Figura 127. Vista frontal del tablero ensamblado.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 128. Vista interior del tablero de control ensamblado.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

7.2. Puesta en marcha.

Para verificar el perfecto estado físico y funcional del tablero y sus componentes, se requiere de la elaboración y ejecución de varias pruebas, las mismas que se encuentran detalladas en el Capítulo 8 Pruebas y Resultados (Ver CAPÍTULO 8).

Esta verificación se la realizó inicialmente en las bodegas de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. y debido al perfecto funcionamiento del tablero de control fue aprobada su entrega al cliente, esta aprobación estará reflejada en la carta de conformidad emitida por la empresa auspiciante del presente proyecto (Ver Anexo. 8 Carta de Conformidad emitida por Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.).

De igual manera y gracias a la colaboración de personal de campo, a continuación se puede visualizar el correcto funcionamiento de los equipos del tablero de control una vez ya instalado en el lugar al que fue designado en el proceso, este funcionamiento se lo puede evidenciar en las siguientes figuras:



Figura 129. Verificación del funcionamiento operacional del PLC.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 130. Verificación del funcionamiento operacional de fuentes SOLA.

Fuente: (PIL S.A., 2016)



Figura 131. Verificación del funcionamiento operacional de fuentes Allen Bradley.

Fuente: (PIL S.A., 2016)

CAPÍTULO 8

PRUEBAS Y RESULTADOS

8.1. Pruebas.

8.1.1. Protocolos de Pruebas en fábrica – FAT (Factory Acceptance Test).

Las pruebas FAT son aquellas que se realizan conjuntamente con el cliente para verificar el estado físico y funcional del tablero, siendo la aprobación de estas pruebas un requisito necesario para la liberación y posterior entrega final del tablero a su destinatario.

Dentro de las pruebas es necesario tomar en cuenta todos los registros necesarios para realizar la liberación del tablero, siendo un tablero de control se deben manejar los siguientes registros:

- Inspección visual del tablero.
- Revisión de materiales utilizados.
- Energización.
- Revisión de puertos.

Debido a que estas pruebas necesariamente llevan firmas de responsabilidad y aprobación serán adjuntadas al final de este documento como el Anexo 7 – Registros de pruebas. (Ver Anexo. 7)

Para entender de mejor manera cada uno de los registros mencionados, a continuación se detalla en qué consisten cada una de las pruebas que se realizan al tablero antes de la entrega al cliente.

8.1.1.2. Inspección visual del tablero de control.

La finalidad de esta prueba es verificar conjuntamente con los planos realizados correspondiente a la vista exterior e interior del tablero y un correcto ensamble y estado físico del tablero.

8.1.1.3. Revisión de materiales utilizados.

Esta prueba pretende verificar que todos los materiales que se dimensionaron inicialmente sean los que se han necesitado para el ensamble del tablero. En esta prueba es primordial poner atención en los números de serie de los equipos, marcas y cantidades utilizadas.

8.1.1.4. Energización.

A través de esta prueba se comprobará el estado funcional de cada equipo que requiere de alimentación continua o alterna.

Dentro de esta prueba se verifica PLC, módulos del PLC, equipos de comunicaciones, lámparas, microswitch, etc.

8.1.1.5. Revisión y listado de puertos.

Mediante la revisión de puertos se pretende comprobar uno por uno los módulos de entrada y de salida del PLC, para con esto garantizar un buen funcionamiento en el momento en que se requiera realizar la programación del PLC.

8.1.2. Reporte fotográfico.

Si bien es cierto, la liberación del tablero mediante el desarrollo y ejecución de las pruebas FAT permite garantizar un correcto funcionamiento del tablero, es necesario indicar mediante imágenes el estado del tablero al momento de entregarlo al cliente. Debido a esto, dentro del reporte fotográfico se pretende mostrar fotografías del interior y del exterior del tablero.

Para el registro fotográfico bastan dos imágenes por tablero, una que permitirá evidenciar el estado físico externo del tablero y otra que permita verificar un correcto orden de equipos internos.

8.2. Resultados.

El resultado final y esperado después de la implementación del tablero de control se verá reflejado con la aceptación de dicho tablero por parte de la empresa, esta aceptación tendrá como respaldo una carta de conformidad.

8.2.1. Carta de conformidad emitida por parte de Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

La carta de conformidad generada se encuentra en el Anexo 8 – Carta de conformidad emitida por la empresa Proyectos Integrales del Ecuador – PIL S.A. (Ver Anexo. 8). Dicha carta es el sustento físico de haber culminado los trabajos relacionados con el proyecto y mediante la cual se corrobora un perfecto funcionamiento del tablero de control.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

El tablero de control construido verifica la elaboración de un diseño eléctrico y electrónico que le permite trabajar bajo los requerimientos necesarios dentro de un Sistema de Inyección de agua, está provisto de equipos que cumplen con distintas normativas (ANSI, NEMA, IP) lo cual le permitirán trabajar sin novedad dentro de las condiciones ambientales al que está destinado.

Después de haber realizado las pruebas funcionales del tablero los resultados verifican un adecuado diseño y ensamble, lo cual permitió realizar sin novedad la liberación del tablero por parte del cliente.

El autómatas programable (PLC) escogido será de gran importancia en el Proceso de Inyección de agua debido a que en un futuro se prevé implementar el control sobre el caudal y la presión que se han tomado en cuenta dentro del desarrollo del HMI presentada en este proyecto, adicional al ser el PLC un equipo industrial posee la robustez necesaria para trabajar en ambientes húmedos (al que va a destinarse) y también tiene la capacidad de manejar procesos en los cuales se requiere de cambios críticos en sus variables.

Se ha establecido cada uno de los equipos mediante un análisis de cada una de las posibles opciones existentes en el mercado, esto es, validando las características técnicas y mecánicas de ellos para que se ajusten al proceso al que va a ser destinado el tablero.

Previo al diseño se debe saber el funcionamiento del Proceso de Inyección de agua, es por esto que al realizar el diagrama P&ID de este proceso se ha podido conocer de mejor manera cuales son los sensores y actuadores que serán monitoreados por parte del operador y la utilización del interfaz HMI, lo cual disminuye el tiempo de supervisión presencial que los operarios debían hacer en sitio en el sistema.

El HMI elaborado es intuitivo y de fácil de manejar para los operarios que deben actuar dentro del Sistema de Inyección, esta interfaz prevé posibles requerimientos futuros y está flexible a cualquier tipo de modificación según dichos requerimientos.

Dentro del desarrollo de proyectos similares a este, en los que se involucra la entrega de equipos a un cliente final, es necesario priorizar tiempos de entrega en base a las necesidades del cliente, debido a que los procesos industriales relacionados al ámbito petrolero implican un gran flujo de dinero en su tiempo de funcionamiento.

La elaboración y simulación conjunta con el cliente en cuanto al HMI realizado es de vital importancia para cubrir todos los requerimientos y lograr minimizar tiempos de entrega.

Recomendaciones.

Siendo que en el sistema existen equipos industriales que deben ser vigilados personalmente por el operario debido a su limitada tecnología, se recomienda a futuro la actualización tecnológica de estos, teniendo así la posibilidad de vincularlos al PLC y así monitorearlos o manipularlos a distancia si fuese necesario hacerlo.

Se recomienda a futuro cuando se vaya a empezar la etapa de programación del PLC tomar en cuenta las variables creadas durante la elaboración del HMI.

Es recomendable en campo durante la instalación del tablero de control ejecutar las mismas pruebas que se han realizado antes de la liberación de dicho tablero, esto para garantizar un perfecto funcionamiento del mismo, además dar de manera periódica un mantenimiento a los elementos internos del tablero para reducir la posibilidad de fallo en el funcionamiento de los mismos.

Una vez funcionando el tablero de control se recomienda capacitar a los todos los operarios que se han involucrado en el Proceso de Inyección de agua anteriormente, para que así conozcan sobre el manejo básico del tablero de control y el funcionamiento del HMI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ARIADNE. (2014). Documento digital sobre El petróleo. Available: http://ariadne.cti.espol.edu.ec/sidweb36/sidweb_1/1957/198686/EJERCICIO+PARTE+7.doc
- [2] DANIELCOM. (2016). Características de las Trampas lanzadora y receptoras. Available: <http://www.danielcom.com/index.php/trampas-lanzadoras>
- [3] ELECTROCABLE. (Agosto, 2015). Descripción de cables THHN. Available: <http://electrocable.com/productos/cobre/THHN.html>
- [4] Granollers, A. (s.2010). Diseño de pantalla MIPO. Universidad Politécnica de Catalunya.
- [5] INDUMIL. (2015). Descripción de productos civiles - Sismigel Plus. Available: <https://www.indumil.gov.co/producto/explosivos/567-sismigel-plus>
- [6] NEPTUNOPUMPS. (2016). Bombas horizontales multietapa (HR). Available: [http://www.neptunopumps.com/bombas_horizontales_multietapas_\(hr\).html](http://www.neptunopumps.com/bombas_horizontales_multietapas_(hr).html)
- [7] OCTOPART. (2014). Hoja de datos de fuentes SOLA. Available: <http://datasheet.octopart.com/SDN2.5-24-100P-Sola-Hevi-Duty-datasheet-21216812.pdf>
- [8] PIL AUTOMATION. (2016). Página oficial de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador. Available: http://www.pilautomation.com.ec/site/?page_id=1477
- [9] QUIMICADE5TO. (Noviembre, 2015). Ensayo digital de Hidrocarburos. Available: <https://quimicade5to.wikispaces.com/Hidrocarburos>
- [10] Rockwellautomation. (2015). Rockwellautomation. Documento digital sobre especificaciones de las variedades de chasis existentes - Datasheet. Available: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td006_-en-e.pdf
- [11] Wenerelectric. (s.f.). WERNERELECTRIC. Características módulo Ethernet. Available: <https://www.wenerelectric.com/ROCKWELL-AUTOMATION-1492-CJRL6/PD92188>

ANEXOS

A continuación se enlistan los anexos mencionados en el desarrollo del presente documento:

- Anexo 1. Cronograma de actividades.
- Anexo 2. Documento para codificación de documentos.
- Anexo 3. Planos eléctricos.
- Anexo 4. Planos mecánicos.
- Anexo 5. Diagrama P&ID.
- Anexo 6. Características de los Conductores.
- Anexo 7. Registros de Pruebas.
- Anexo 8. Carta conformidad.
- Anexo 9. Graficet del HMI