



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

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

**PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE
CONTROL Y MONITOREO DE NIVEL Y FLUJO DE AGUA
POTABLE EN LA ESTACIÓN DE RESERVA Y LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AZAYA DE LA EMAPA-IBARRA.**

AUTOR: GUAGALANGO GUAGALANGO JAIRO SANTIAGO

DIECTOR: ING. ORTIZ, HUGO

CODIRECTOR: ING. CHACÓN, ALEJANDRO

SANGOLQUÍ, AGOSTO 2015

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

CERTIFICADO

ING. ORTIZ TULCÁN HUGO, M.Sc

ING. CHACÓN ENCALADA ALEJANDRO, M.Sc

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado “Diseño e implementación del sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de agua potable en la estación de reserva y la planta de tratamiento de Azaya de la EMAPA-Ibarra”, realizado por Guagalango Guagalango Jairo Santiago, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación. El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF).

Autorizan al Sr. Guagalango Guagalango Jairo Santiago que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

Sangolquí, Agosto del 2015



Ing. Ortiz Tulcán Hugo, M.Sc

DIRECTOR



Ing. Chacón Encalada Alejandro, M.Sc

CODIRECTOR

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

GUAGALANGO GUAGALANGO JAIRO SANTIAGO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Diseño e implementación del sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de agua potable en la estación de reserva y la planta de tratamiento de Azaya de la EMAPA-Ibarra”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie, de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

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

Sangolquí, Agosto del 2015



Guagalango Guagalango Jairo Santiago

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

AUTORIZACIÓN

YO, GUAGALANGO GUAGALANGO JAIRO SANTIAGO

Autorizo a la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Diseño e implementación del sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de agua potable en la estación de reserva y la planta de tratamiento de Azaya de la EMAPA-Ibarra”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Agosto del 2015



Guagalango Guagalango Jairo Santiago

DEDICATORIA

El presente proyecto va dedicado a todas las personas importantes dentro del transcurso de mi vida tanto personal como estudiantil, las cuales siempre estuvieron conmigo para apoyarme en las decisiones más trascendentales de mi vida.

Mis padres que siempre me apoyaron en mis sueños, mis hermanos que en los momentos ya sean felices o difíciles siempre estarán ahí y a todas las personas que de una u otra manera ayudaron a cumplir este objetivo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a dios por la salud prestada en todo el transcurso de mi vida, a mis padres que siempre fueron un apoyo para culminar mi carrera estudiantil, a mi director y codirector de tesis por guiarme en la elaboración del proyecto y un agradecimiento especial a EICONS por ser la empresa que me acogió desde mis practicas pre-profesionales y la auspiciante de la tesis de grado y la promotora de grandes proyectos en mi vida profesional.

INDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| CERTIFICADO | ii |
| DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD..... | iii |
| AUTORIZACIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTO | vi |
| INDICE GENERAL | vii |
| ÍNDICE DE TABLAS | xii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xiii |
| RESUMEN..... | xvii |
| ABSTRACT..... | xviii |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| GENERALIDADES | 2 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA | 3 |
| 1.3 ALCANCE DEL PROYECTO | 4 |
| 1.4 OBJETIVOS | 5 |
| 1.4.1 General | 5 |
| 1.4.2 Específicos | 5 |
| 1.5 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS..... | 5 |
| 1.5.1 Descripción | 5 |
| 1.5.2 Requerimientos técnicos del proyecto | 7 |
| CAPÍTULO II | 9 |
| MARCO TEÓRICO..... | 9 |
| 2.1 ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE..... | 9 |
| 2.1.1 Agua potable | 9 |
| 2.1.2 Descripción planta de tratamiento de agua de Azaya | 10 |

| | | |
|--------------------------|--|----|
| 2.2 | ESTACIÓN DE RESERVA DE AGUA POTABLE..... | 11 |
| 2.2.1 | Abastecimiento de agua potable por gravedad..... | 12 |
| 2.2.2 | Descripción estación de reserva de Azaya..... | 12 |
| 2.3 | MEDIDORES DE NIVEL | 14 |
| 2.3.1 | Instrumentos de medida de forma directa | 14 |
| 2.3.2 | Instrumentos de medida de forma indirecta..... | 15 |
| 2.3.2.1 | Por presión hidrostática..... | 15 |
| 2.3.2.2 | Por características eléctricas | 15 |
| 2.4 | MEDIDORES DE CAUDAL | 19 |
| 2.4.1 | Medidor magnético de caudal | 19 |
| 2.5 | VÁLVULAS | 20 |
| 2.6 | SISTEMAS DE CONTROL | 22 |
| 2.7 | SISTEMA DE TELEMETRÍA Y CONTROL INALÁMBRICO | 23 |
| 2.7.1 | Sistema de Telemetría ZigBee 2.4GHz Mesh..... | 24 |
| 2.8 | INTERFACES DE OPERADOR..... | 26 |
| 2.8.1 | Terminal de Operador | 26 |
| 2.9 | REDES INDUSTRIALES | 26 |
| 2.9.1 | Protocolos de bus de campo..... | 27 |
| CAPÍTULO III..... | | 29 |
| DISEÑO DEL SISTEMA | | 29 |
| 3.1 | INGENIERÍA BÁSICA..... | 29 |
| 3.1.1 | Requerimientos necesarios del sistema..... | 29 |
| 3.1.2 | Especificaciones..... | 29 |
| 3.1.3 | Análisis y revisión de elementos existentes..... | 31 |
| 3.1.3.1 | Elementos de instrumentación y control..... | 31 |
| 3.1.3.2 | Plataforma de comunicación existente..... | 31 |
| 3.1.3.3 | Elementos de adquisición y supervisión | 32 |
| 3.1.4 | Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema..... | 32 |
| 3.1.4.1 | Viabilidad Técnica | 32 |
| 3.1.4.2 | Factibilidad técnica | 33 |
| 3.1.5 | Definición de parámetros | 33 |

| | | |
|------------------------------|--|----|
| 3.1.6 | Esquema y ubicación para cada elemento del sistema..... | 34 |
| 3.1.7 | Variables y señales del proceso..... | 37 |
| 3.1.8 | Elaboración de diagramas P&ID preliminares..... | 38 |
| 3.1.8.1 | Elaboración de diagramas de instrumentación..... | 38 |
| 3.1.8.2 | Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación | 39 |
| 3.1.9 | Selección y dimensionamiento..... | 40 |
| 3.2 | INGENIERIA DE DETALLE | 52 |
| 3.2.1 | Arquitectura | 52 |
| 3.2.2 | Diagramas unifilares eléctricos de elementos del sistema | 54 |
| 3.2.3 | Diagrama P&ID del sistema | 59 |
| 3.2.4 | Diagrama Eléctrico..... | 60 |
| 3.2.4.1 | Selección de protecciones eléctricas | 61 |
| 3.2.5 | Configuración de los instrumentos seleccionados | 62 |
| CAPÍTULO IV..... | | 68 |
| DESARROLLO DE SOFTWARE | | 68 |
| 4.1 | GENERALIDADES | 68 |
| 4.2 | SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN..... | 69 |
| 4.2.1 | Telemetría y control de módulos WRemote | 69 |
| 4.2.2 | Sistema de telecomunicación Antena NanoStation M5 | 71 |
| 4.3 | SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN | 73 |
| 4.3.1 | Plc..... | 73 |
| 4.3.2 | Diagrama de flujo..... | 74 |
| 4.3.3 | Descripción del programa | 79 |
| 4.4 | DISEÑO DE PANTALLAS HMI..... | 82 |
| 4.4.1 | Requerimiento interfaz HMI..... | 82 |
| 4.4.1.1 | Arquitectura | 83 |
| 4.4.1.2 | Navegación..... | 84 |
| 4.4.1.3 | Distribución..... | 84 |
| 4.4.1.4 | Color y Fuente..... | 84 |
| 4.5 | INTERFAZ DEL TERMINAL DE OPERADOR..... | 85 |
| 4.5.1 | Diseño del HMI del terminal de operador..... | 85 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| 4.5.1.1 | Arquitectura | 85 |
| 4.5.1.2 | Plantilla de las pantallas | 87 |
| 4.5.2 | Descripción de la interfaz de edición y programación del Panel | 90 |
| 4.5.3 | Definición de variables | 91 |
| 4.5.4 | Descripción de las pantallas | 92 |
| 4.6 | SISTEMA SCADA | 95 |
| 4.6.1 | Arquitectura | 95 |
| 4.6.2 | Requerimientos del Sistema de supervisión..... | 96 |
| 4.6.3 | Enlace del sistema SCADA | 96 |
| 4.6.4 | Plataformas del sistema SCADA | 97 |
| 4.6.4.1 | Wonderware InTouch HMI..... | 97 |
| 4.6.4.2 | Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server..... | 98 |
| 4.6.4.3 | Historical Data Manager | 99 |
| 4.6.5 | Definiciones de Variables | 99 |
| 4.6.6 | Tendencia, Históricos..... | 100 |
| 4.6.7 | Descripción de las pantallas HMI del SCADA..... | 100 |
| CAPÍTULO V | | 105 |
| IMPLEMENTACIÓN..... | | 105 |
| 5.1 | NORMAS..... | 105 |
| 5.2 | INSTRUMENTACIÓN | 105 |
| 5.2.1 | Elaboración | 106 |
| 5.2.2 | Montaje en campo | 107 |
| 5.3 | SISTEMA DE TELEMETRÍA Y ADQUISICIÓN DE DATOS | 110 |
| 5.3.1 | Elaboración | 110 |
| 5.3.2 | Montaje en campo | 111 |
| 5.4 | SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN | 112 |
| 5.4.1 | Elaboración | 113 |
| 5.4.2 | Montaje en campo | 115 |
| 5.5 | MONTAJE DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN..... | 116 |
| 5.5.1 | Montaje en campo | 117 |
| CAPÍTULO VI..... | | 118 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| PRUEBAS Y RESULTADOS | 118 |
| 6.1 PRUEBAS | 118 |
| 6.2 RESULTADOS | 121 |
| CAPÍTULO VII | 127 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 127 |
| 7.1 CONCLUSIONES | 127 |
| 7.2 RECOMENDACIONES | 129 |
| CAPÍTULO VIII | 130 |
| BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS | 130 |
| 8.1 BIBLIOGRAFÍA | 130 |
| 8.2 ANEXOS | 133 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Descripción del tanque de 2500 m3 | 11 |
| Tabla 2 Partes principales de un reservorio de agua potable | 11 |
| Tabla 3 Descripción del tanque de 1000 m3 | 12 |
| Tabla 4 Descripción del tanque de 1000 m3 | 13 |
| Tabla 5 Características de la comunicación Modbus | 27 |
| Tabla 6 Trama de la comunicación Modbus RTU | 28 |
| Tabla 7 Características de la comunicación Ethernet | 28 |
| Tabla 8 Señales y variables a ser medidas | 38 |
| Tabla 9 Características técnicas sensor ultrasónico de nivel | 41 |
| Tabla 10 Características técnicas sensor electromagnético de caudal | 43 |
| Tabla 11 Características técnicas del actuador eléctrico de válvula | 44 |
| Tabla 12 Características técnicas transmisor (Nodo) inalámbrico..... | 45 |
| Tabla 13 Características técnicas del concentrador de señales inalámbrico | 46 |
| Tabla 14 Características técnicas antena telemetría 5.8 GHz | 47 |
| Tabla 15 Características técnicas Panel de Operador | 48 |
| Tabla 16 Características técnicas Controlador lógico Programable | 49 |
| Tabla 17 Características técnicas del módulo de entradas y salidas análogas | 50 |
| Tabla 18 Características técnicas módulo de comunicación..... | 51 |
| Tabla 19 Software de configuración y programación de dispositivos | 68 |
| Tabla 20 Configuración inalámbrica básica de las antenas del proyecto..... | 72 |
| Tabla 21 Configuración de la red de las antenas del proyecto..... | 73 |
| Tabla 22 Banderas y registros D especiales del puerto COM2 / COM3 | 79 |
| Tabla 23 Matriz causa efecto de las variables del proceso | 81 |
| Tabla 24 Tabla de verdad del sistema | 81 |
| Tabla 25 Dimensión de los elementos del interfaz HMI del panel de operador | 89 |
| Tabla 26 Lista de Variables del panel de operador | 91 |
| Tabla 27 Variables del sistema de supervisión InTouch..... | 99 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Localización geográfica de las estaciones del proyecto | 6 |
| Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios involucrados en el proyecto..... | 8 |
| Figura 3. Sistema de generación de agua potable | 10 |
| Figura 4. Tanque de 1000 m ³ de la estación de reserva | 13 |
| Figura 5. Tanque de almacenamiento 2500 m ³ de la estación de reserva | 14 |
| Figura 6. Medidor resistivo/conductivo de nivel | 16 |
| Figura 7. Medidor capacitivo de nivel | 16 |
| Figura 8. Medidor por radiación | 17 |
| Figura 9. Diagrama de bloques de un sensor ultrasónico..... | 18 |
| Figura 10. Funcionamiento sensores Ultrasónicos..... | 18 |
| Figura 11. Medidor de caudal electromagnético..... | 20 |
| Figura 12. Componentes básicos de un proceso | 22 |
| Figura 13. Elementos de un sistema de control en lazo abierto..... | 23 |
| Figura 14. Elementos de un sistema de control en lazo cerrado | 23 |
| Figura 15. Concentrador de señales | 24 |
| Figura 16. Nodo remoto | 24 |
| Figura 17. Arquitectura sistema de telemetría | 25 |
| Figura 18. Diagrama de bloques sistema telemetría | 26 |
| Figura 19 Arquitectura de una interfaz Hombre-Máquina..... | 26 |
| Figura 20. Arquitectura básica del sistema | 30 |
| Figura 21. Esquema de ubicación de los elementos de instrumentación | 35 |
| Figura 22. Esquema de ubicación del sistema de telemetría..... | 36 |
| Figura 23. Esquema de ubicación del sistema de comunicación | 36 |
| Figura 24. Diagrama P&ID preliminar del sistema | 39 |
| Figura 25. Arquitectura del sistema de telemetría y comunicación | 40 |
| Figura 26. Arquitectura en detalle del sistema..... | 53 |
| Figura 27. Diagrama unifilar eléctrico del Sensor de Nivel ultrasónico UM-30..... | 54 |
| Figura 28. Diagrama unifilar eléctrico del sensor de caudal electromagnético | 55 |
| Figura 29. Diagrama unifilar eléctrico del convertidor ML1100..... | 55 |
| Figura 30. Diagrama unifilar eléctrico del actuador UM-6..... | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 31. Diagrama eléctrico del Nodo Remoto, señal de entrada analógica | 57 |
| Figura 32. Diagrama eléctrico del Nodo Remoto, señal de salida analógica..... | 58 |
| Figura 33. Diagrama eléctrico del concentrador de señales, conexión Modbus | 59 |
| Figura 34. Esquema funcional de una UPS..... | 60 |
| Figura 35. Arquitectura de protecciones eléctricas | 62 |
| Figura 36. Interfaz de configuración del sensor de nivel UM30..... | 63 |
| Figura 37. Configuración de parámetros básicos del sensor de nivel | 64 |
| Figura 38. Configuración de parámetros avanzados del sensor de nivel | 65 |
| Figura 39. Interfaz de configuración del convertidor ML110 | 66 |
| Figura 40. Configuración del convertidor ML110..... | 67 |
| Figura 41. Interfaz principal de wRemote Config | 69 |
| Figura 42. Diagrama de configuración del software wRemote Config | 70 |
| Figura 43. Pestañas de configuración de la plataforma AirOS | 71 |
| Figura 44. Software de programación del PLC Delta DVP..... | 74 |
| Figura 45. Software de integración de comunicación del PLC delta DVP..... | 74 |
| Figura 46. Diagrama de flujo general | 75 |
| Figura 47. Diagrama de flujo de la comunicación Modbus COMM2 | 76 |
| Figura 48. Diagrama de flujo de adquisición de datos..... | 77 |
| Figura 49. Diagrama de flujo de control | 78 |
| Figura 50. Medición del nivel del tanque..... | 80 |
| Figura 51. Salida de la Válvula de control..... | 82 |
| Figura 52. Salida sistema de bombeo..... | 82 |
| Figura 53. Diseño de una interfaz HMI | 83 |
| Figura 54. Arquitectura del terminal de operador | 86 |
| Figura 55. Distribución de la Pantalla principal del HMI..... | 87 |
| Figura 56. Distribución de la pantalla de proceso del HMI..... | 87 |
| Figura 57. Distribución de la Pantalla de históricos del HMI..... | 88 |
| Figura 58. Distribución de la pantalla de Ayuda del HMI..... | 88 |
| Figura 59. Características del texto de la interfaz HMI | 89 |
| Figura 60. Características del Fondo de la Pantalla HMI | 90 |
| Figura 61. Software de programación de la pantalla Delta DOP-B series..... | 90 |
| Figura 62. Pantalla HMI principal | 92 |

| | |
|---|-----|
| Figura 63. Pantalla HMI de la Estación de reserva..... | 93 |
| Figura 64. Pantalla HMI de la planta de tratamiento | 93 |
| Figura 65. Pantalla HMI de históricos | 94 |
| Figura 66. Pantalla HMI del proceso | 94 |
| Figura 67. Arquitectura sistema SCADA | 95 |
| Figura 68. Wonderware InTouch HMI | 97 |
| Figura 69. Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server | 98 |
| Figura 70. Pantalla principal del SCADA..... | 101 |
| Figura 71. Pantalla de la estación de reserva lomas de azaya del SCADA | 102 |
| Figura 72. Pantalla de la planta de tratamiento del SCADA..... | 103 |
| Figura 73. Pantalla de históricos del SCADA..... | 104 |
| Figura 74. Soporte en “L” para el sensor de nivel | 106 |
| Figura 75. Caja de conexión y revisión para el sensor de nivel..... | 106 |
| Figura 76. Caja de revisión para conexión de sensores de nivel (Interno) | 107 |
| Figura 77. Montaje del sensor dentro del tanque de almacenamiento | 108 |
| Figura 78. Montaje del sensor de caudal MS2500..... | 108 |
| Figura 79. Montaje del convertidor ML110 al sensor de caudal | 109 |
| Figura 80. Montaje del actuador eléctrico a la Válvula | 110 |
| Figura 81. Montaje del equipo wRemote en el tablero de telemetría | 111 |
| Figura 82. Montaje del tablero de telemetría y adquisición de datos..... | 112 |
| Figura 83. Tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento | 114 |
| Figura 84. Tablero de control de la estación de reserva..... | 114 |
| Figura 85. Montaje del tablero de control y monitorización..... | 115 |
| Figura 86. Montaje del tablero de la estación de reserva..... | 116 |
| Figura 87. Montaje de la antena NanoStation M5 | 117 |
| Figura 88. Prueba de enlace entre los dispositivos wRemote | 119 |
| Figura 89. Radio enlace de la planta de tratamiento y la estación repetidora..... | 120 |
| Figura 90. Conexión del Nodo de adquisición de señales | 122 |
| Figura 91. Lectura de las entradas del Nodo ubicado en la estación de reserva | 122 |
| Figura 92. Tiempo de respuesta del enlace | 123 |
| Figura 93. Equipos conectados a la red del sistema de telemetría..... | 123 |
| Figura 94. Enlace de la oficina central de la EMAPA-I | 124 |

| | |
|---|-----|
| Figura 95. Estado del enlace de la Antena ubicada en la planta de tratamiento | 125 |
| Figura 96. Estado del enlace de la antena ubicada en la estación repetidora..... | 125 |
| Figura 97. Interfaz HMI en funcionamiento | 126 |

RESUMEN

En el documento se presenta el proceso de diseño de control y monitorización del sistema de almacenamiento y distribución de los sistemas de la EMAPA-I ubicados en la loma de Azaya de la ciudad de Ibarra, el cual se encarga del suministro de agua potable a la mayor parte de los sectores de la población de la ciudad. El proyecto se desarrolla en dos sitios, la estación de reserva y la planta de tratamiento de las lomas de Ayaza que se encuentran separadas 0.7Km de distancia, en donde se diseña e implementa un sistema de instrumentación para captar las variables de importancia en el proceso como son el nivel y caudal; estas variables llegan a un sistema de control compuesto principalmente por un controlador lógico programable que se encarga del manejo de las variables y la lógica del proceso. En el proyecto, el sistema de telemetría es muy importante para enviar de una estación a otra las variables recolectadas en campo y poder monitorearlas en sitios estratégicos para una correcta utilización de la información por parte de los operarios y personal de ingeniería de la empresa, además el sistema de comunicación tiene como función el transmitir los datos recolectados en el proceso desde la planta de tratamiento hacia las oficinas centrales de la EMAPA-I mediante radio frecuencia y usando la repetidora existente ubicada en San Miguel Arcángel a fin de integrar el proceso de almacenamiento y distribución al sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA que cuenta la EMAPA-I.

Palabras claves:

- **ALMACENAMIENTO**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN**
- **CONCENTRADOR DE SEÑALES**
- **TELEMETRÍA**

ABSTRACT

In this document presents, the design process control and monitoring system of storage and distribution systems EMAPA-I located on the hill of Azaya of the city of Ibarra, these sites is responsible for providing drinking water to most of the sectors of the population of the city. The project is developed in two sites reserve station and the treatment plant in the hills of Ayaza that are separated 0.7Km away, where it is designed and implemented an instrumentation system to capture important variables in the process such as level and flow, these variables reach a system control compound principally by a programmable logic controller which is responsible for managing the variables and the process logic. In the project, the telemetry system is very important for sending from one station to another variables collected in the field and to monitor them in strategic locations for the correct use of information by operators and engineering staff of The company, also the communication system has the function to transmit the data collected in the process from the treatment plant to the central offices of the EMAP-I by Radio Frequency and using the existing repeater located in San Miguel Archangel to integrate the storage process and distribution system supervisory control and data acquisition SCADA telling the EMAP-I.

Key Words:

- **STORAGE**
- **AUTOMATION**
- **COMMUNICATION PROTOCOL**
- **SIGNAL HUB**
- **TELEMETRY**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

La Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra EMAPA-I ha considerado necesario la automatización de las estaciones de bombeo y reserva de agua potable de toda la ciudad para brindar un servicio continuo y de calidad.

Con el fin de cumplir este objetivo la EMAPA-I en el transcurso de los últimos años ha venido implementado sistemas automáticos en la mayoría de las estaciones de bombeo de la ciudad, además cuentan con un sistema SCADA que supervisa toda la información de las estaciones.

Para completar el proceso de automatización de la EMAPA-I se proyecta la automatización de La Planta de Tratamiento de Azaya y la Estación de Reserva de la Loma de Azaya. En las citadas localidades los sistemas se encuentran operando de forma manual y por ende es necesaria la presencia de un operador en cada una de ellas y se realiza una recolección de las variables de forma no convencional; cada estación funciona en forma independiente de todo el sistema lo cual impide tener un control global de la captación, almacenamiento y distribución de agua potable en la ciudad de Ibarra. De presentarse una falla en una de las estaciones se requiere una atención local de la falla, lo cual resulta inconveniente por el gran número de estaciones y la distancia que existe entre ellas.

En el proceso global de captación, almacenamiento y distribución de agua en la ciudad es imprescindible la toma de datos de las diferentes variables que influyen de manera directa en el proceso.

1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El agua potable es un factor primordial dentro de una población representa una respuesta a la necesidad de satisfacer los servicios básicos, la EMAPA-I se esfuerza diariamente por mantener altos índices de gestión en la dotación de servicios básicos eficientes, de calidad y con continuidad.

Debido a la gran demanda de agua potable por parte de la población de la ciudad de Ibarra, prácticamente toda la producción de agua potable de la EMAPA-I debe suministrarse para uso de la población, por este motivo es importante asegurar un servicio continuo de distribución de agua potable, para esto es necesario minimizar los errores debido a fallas de operación y conocer en tiempo real el estado de las variables del sistema.

Ante el continuo crecimiento de la infraestructura de abastecimiento de agua potable en la ciudad, la EMAPA-I ha visto la necesidad de ir automatizando sus procesos de captación, almacenamiento y distribución de agua potable, integrando cada uno los procesos a fin de brindar un servicio eficiente, continuo y de calidad a la población tanto urbana como rural de la ciudad.

Un factor primordial en la captación, almacenamiento y distribución de agua potable es el monitoreo en tiempo real de diferentes variables y parámetros eléctricos que intervienen en el proceso, que permitan tomar decisiones en cuanto a la operación remota y mantenimiento. Para ello es necesario implementar elementos de adquisición y transmisión de datos de las variables importantes para el proceso y poder visualizarlas en lugares estratégicos, por ejemplo en la oficina central de operaciones de la EMAPA-I.

El presente proyecto permitirá tener un control y monitorización adecuado de los diferentes procesos de la Planta de Tratamiento y la Estación de Reserva de agua potable, ayudando a la integración de tres fases primordiales como la captación, almacenamiento y distribución, lo que contribuye en la optimización de agua y el ahorro de energía eléctrica, factores de interés dentro de la EMAPA-I.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto se realizará en tres etapas, en una fase inicial un estudio de la situación actual de la Planta de Tratamiento y la Estación de Reserva de Azaya en la ciudad de Ibarra, de esta manera, se podrá identificar los procesos que requieren automatizar a fin de cumplir con el objetivo final de diseñar e implementar el sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de la totalidad de las reservas de agua.

La EMAPA-I en el sector de Azaya cuenta con una Planta de Tratamiento de agua potable donde llega el agua de todas las estaciones de bombeo, pasa por un proceso de tratamiento y se reparte hacia dos sectores para la distribución del líquido vital. Un porcentaje se almacena en el tanque de $2500m^3$ de la propia planta, y a través del sistema de bombeo se lleva el agua a través de ductos controlados manualmente hacia dos tanques de almacenamiento de $1000m^3$ y $2500m^3$ en la Estación de Reserva ubicados estratégicamente en la loma de Ayaza para la distribución a toda la población de la ciudad de Ibarra, el proceso descrito será objeto del presente estudio.

La segunda fase del proyecto consiste en realizar la ingeniería básica y de detalle del sistema de control y monitorización. Cada área deberá proveerse con los equipos necesarios que permitan garantizar la continuidad de abastecimiento de agua a la ciudad de Ibarra, debiéndose tomar en cuenta todas las variables de interés de estas instalaciones en la aplicación a desarrollar. Por la distancia que existe entre las estaciones vinculadas al proceso de aproximadamente 1 km de distancia, se desarrollará un sistema de telemetría y telecontrol el cual permitirá captar las principales variables involucradas en el proceso de almacenamiento y distribución de agua potable. En la Planta de Tratamiento de agua potable se colocará un terminal de operador HMI donde se visualizarán las variables, entre ellas el estado del nivel de agua en los Tanques de Reserva.

Para concluir, en la tercera etapa se implementará el sistema de monitoreo, integrando los diferentes procesos en el sistema SCADA existente, la cual es una plataforma informática para la gestión optimizada de recursos materiales y humanos.

Para esto la EMPA-I cuenta con un sistema de transmisión de datos por radio-frecuencia utilizando la banda de 2.5GHz a través de una estación repetidora ubicada en San Miguel Arcángel, utilizada para intercambiar datos entre las diferentes instalaciones (Oficinas, bodegas, laboratorio de medidores, estaciones de bombeo) separadas geográficamente dentro del perímetro urbano de la ciudad de Ibarra.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General

Diseñar e implementar el sistema de control y monitoreo de nivel y flujo de la totalidad de las reservas de agua potable de la ciudad de Ibarra.

1.4.2 Específicos

- Realizar un diagnóstico previo del estado actual de la planta de tratamiento y estación de reserva de Azaya de la EMPA-I.
- Establecer la ingeniería básica y de detalle.
- Diseñar una lógica de control adecuada que permita el adecuado funcionamiento entre la planta de tratamiento y estación de reserva de Azaya.
- Diseñar e implementar las pantallas HMI del terminal de operador.
- Desarrollar el sistema de monitoreo implementando las Interfaces gráficas de las Estaciones en estudio al sistema SCADA existente.
- Efectuar pruebas de campo en todo el sistema implementado.

1.5 DESCRIPCIÓN Y REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

1.5.1 Descripción

En esta sección se presenta una visión general de La Planta de Tratamiento de Azaya y la Estación de Reserva de la Loma de Azaya, en la Figura 1 se muestra la localización geográfica de las estaciones del proyecto.

Tipo de Instalación: Planta de tratamiento de agua y estación de reserva de Azaya.

Ubicación Geográfica: Ciudad de Ibarra, Provincia de Imbabura, República del Ecuador

Altitud: 2.192 metros sobre el nivel del mar

Latitud: 00° 21' N

Longitud: 078° 07' O

Clima: Templado seco-mediterráneo

Pluviosidad: Variable, verano de Junio de Diciembre, Invierno de Enero a Mayo

Viento: Velocidad 4-7 km/h

Dirección del viento: NE / N / E



Figura 1. Localización geográfica de las estaciones del proyecto

Fuente:(Google Earth, 2014)

La ciudad de Ibarra cuenta con una planta de tratamiento de agua potable ubicado en el sector de Ayaza y una estación de reserva de agua potable. Estas dos estaciones son parte del sistema de tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable de la ciudad de Ibarra.

La empresa de agua potable y alcantarillado de Ibarra EMAPA-I teniendo en cuenta los avances tecnológicos de modernización de sistemas en las diferentes estaciones de bombeo, considera pertinente optimizar y re-potencializar los procesos

de almacenamiento y distribución de agua potable al evolucionar los sistemas de monitorización y registro del almacenamiento y distribución de agua potable, teniendo en cuenta que los procedimientos actuales no cumplen requerimientos de una operación segura y eficiente.

En consecuencia la motivación de esta evolución radica también en el deseo de la EMAPA-I de cambiar los sistemas hacia una plataforma moderna que permita obtener grandes beneficios para cumplir eficientemente con la entrega de agua a la ciudadanía del cantón Ibarra.

1.5.2 Requerimientos técnicos del proyecto

En los tanques de almacenamiento ubicados en la estación de reserva Lomas de Azaya y la planta de tratamiento de Azaya, se requiere repotenciar dicho sistema, en lo que se refiere a conocer en tiempo real el nivel y los volúmenes de almacenamiento existentes en los tanques. De esta manera se dispondrá de la información correspondiente para tomar la mejor decisión en cuanto al direccionamiento del agua a almacenar.

Tener la información centralizada en tiempo real y mantener históricos de variables de proceso para realizar análisis operativos o estadísticos, dando una herramienta de gran ayuda para los grupos de ingeniería, mantenimiento, operación e inclusive para los niveles administrativos.

A la planta de tratamiento llega el agua captada en las estaciones de bombeo de la mayoría de la ciudad, esta pasa por un proceso de tratamiento y purificación para luego ser acumulada en una cámara húmeda la cual posee dos compartimientos, el uno es direccionado a un tanque de almacenamiento de $2500 m^3$ ubicado en la misma planta y mediante el sistema de re-bombeo se envía el agua del otro compartimiento a la estación de reserva. En la planta de tratamiento existen variables de mucha importancia para el correcto funcionamiento del sistema de captación, almacenamiento y distribución del agua potable en la ciudad, las variables de interés son:

- Nivel del tanque planta de tratamiento.

- Estado del Sistema de re-bombeo
- Estado de las válvulas de entrada de los tanques.
- Salidas de caudal para la distribución a la población

De igual manera en la estación de reserva ubicada a 1km de la planta de tratamiento existen variables de importancia para el correcto funcionamiento del sistema de captación, almacenamiento y distribución del agua potable en la ciudad, las variables de interés son:

- Nivel del tanque uno de la estación de reserva.
- Nivel del tanque dos de la estación de reserva.
- Estado de las válvulas de entrada de los tanques
- Salidas de caudal para la distribución a la población

Las variables son de interés tanto para el operario que se encuentra en campo como para los técnicos de las oficinas centrales. Por lo cual se requiere el monitoreo en tiempo real de las diferentes variables en dos puntos estratégicos, un terminal de operador HMI ubicado en la planta de tratamiento y el sistema SCADA ubicado en las oficinas centrales de EMAPA-I, en la Figura 2 se puede apreciar la ubicación de los diferentes puntos en los que se desarrolla el proyecto.

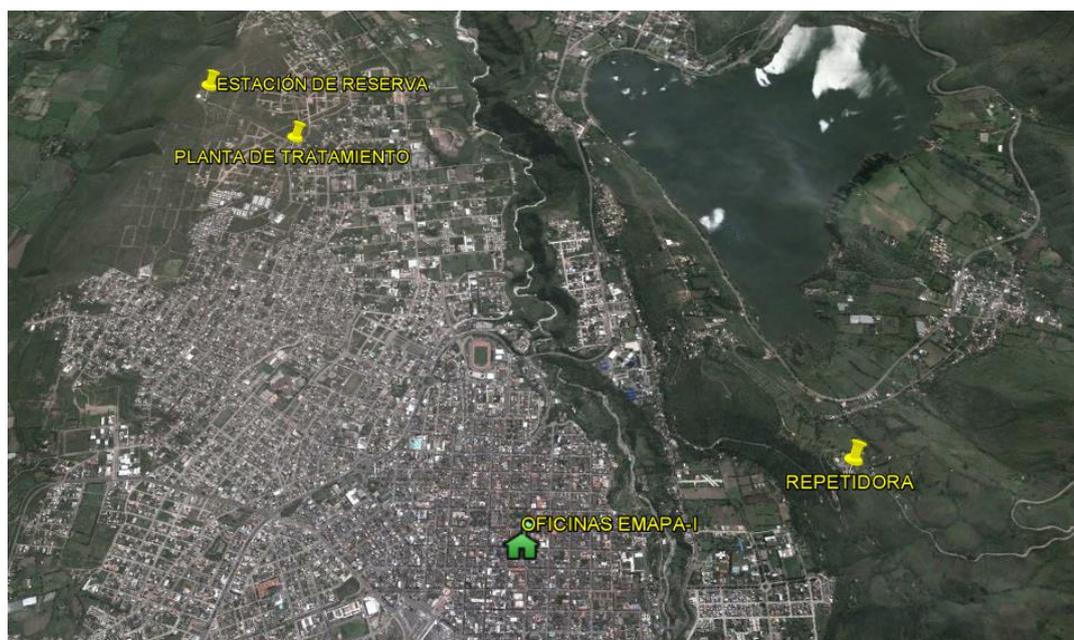


Figura 2. Ubicación geográfica de los sitios involucrados en el proyecto

Fuente:(Google Earth, 2014)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

Estación de tratamiento de agua potable se llama a la infraestructura que trata el agua captada previamente de las estaciones de bombeo. Consta de diferentes procesos físicos y químicos necesarios para purificar el agua contaminada de sustancias orgánicas o partículas inorgánicas provenientes de los ríos, lagos o pozos, todo el conjunto de procesos hacen posible que el agua sea apta para el consumo humano, reduciendo y eliminando bacterias, sustancias, olor, sabor, etc (Itaca, 2014).

Existen diversas maneras de tratar el agua, la cual depende de la tecnología que se emplea, entre las principales están las siguientes:

- Tecnología convencional se basa en procesos de-coagulación, floculación, sedimentación y filtración.
- Filtración directa incluye los procesos de coagulación-decantación y filtración rápida, y se puede incluir el proceso de-floculación.
- Filtración en múltiples etapas (FIME) incluye los procesos de filtración gruesa dinámica, filtración gruesa ascendente y filtración lenta en arena.

También se puede utilizar una combinación de tecnologías, y en cada una es posible contar con otros procesos que pueden ser necesarios específicamente para remover una determinada contaminación, el proceso se lo realiza dependiendo del tipo de agua a ser tratada.

2.1.1 Agua potable

El agua es el elemento indispensable que permite la vida en este planeta, los seres humanos solo podemos aprovechar un mínimo porcentaje, por eso se han desarrollado algunos procesos de purificación para potabilizar el agua y aprovechar de

una manera eficiente este líquido como se muestra en la Figura 3. De esta manera poder ser consumida sin inconveniente y riesgo para la salud, es decir que el agua cumpla con normas de calidad para el consumo de la población.

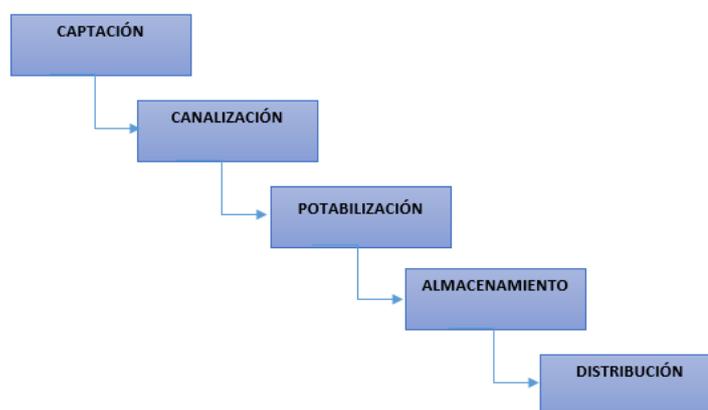


Figura 3. Sistema de generación de agua potable

2.1.2 Descripción planta de tratamiento de agua de Azaya

La planta de tratamiento de Azaya se encuentra ubicada en una ciudad de Ibarra en el sector de Ayaza. A esta estación llega el agua de las diversas estaciones de bombeo. Los procesos que se realizan en la planta son los siguientes.

La planta se alimenta del agua de las estaciones de bombeo Yuyucocha pozo 3 y pozo la Quinta, a esta planta llega un promedio de 500 litros por segundo.

El agua es tratada por diversos procesos tanto físicos como químicos, primero pasa por un cuatro filtros, una cámara de aeraedores, un proceso de cloración y finalmente sale el agua apta para el consumo humano, después por medio de tubería es conducida a una piscina de almacenamiento “cámara húmeda” donde se almacena para una parte ser re-bombeada a los tanques de reserva de la loma de Azaya y la otra parte del agua se almacena en el tanque de 2500 m³ que se encuentra en la misma planta de donde se distribuye a una parte de la población de la ciudad, como se muestra en el Anexo VII. Elementos de la planta de tratamiento de Azaya.

El tanque de almacenamiento de agua está construido de hormigón, de planta circular, tiene la estructura de un cilindro, el fondo está constituido por una placa de hormigón, el techo es un domo de hormigón con un ingreso en la mitad del tanque denominada “tapa sanitaria”.

El tanque de almacenamiento de agua potable tiene las características mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1
Descripción del tanque de 2500 m³

| PLANTA DE TRATAMIENTO DE AZAYA | | |
|--------------------------------|-----------|----------------|
| Descripción | Dimensión | Unidad |
| Radio | 12.7 | m |
| Altura | 4.80 | m |
| Volumen | 2500 | m ³ |

2.2 ESTACIÓN DE RESERVA DE AGUA POTABLE

Es un depósito de hormigón que sirve para almacenar y controlar el agua que se distribuye a la población, está diseñado para garantizar la disponibilidad continua del agua el mayor tiempo posible, a fin de tener un flujo contante de agua potable para los diferentes sectores de la población (Itaca, 2014).

Las principales partes de un tanque de almacenamiento de agua potable se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2
Partes principales de un reservorio de agua potable

| ELEMENTO | FUNCIÓN |
|---------------------------------|--|
| Tanque de almacenamiento | Es un depósito de hormigón que puede ser de forma circular o cuadrada para almacenar el agua. |
| Área de ventilación | Permite la circulación del aire, tiene una malla que evita el ingreso de cuerpos extraños al tanque de almacenamiento. |
| Tapa sanitaria | Tapa metálica que permite el ingreso al interior del tanque, para realizar la limpieza, desinfección y mantenimiento. |
| Tubo de rebose | Tubería que permite eliminar el agua excedente del tanque. |
| Tubería de salida | Es una Tubería que permite la salida del agua a la red de distribución de la ciudad. |

CONTINÚA →

| | |
|-------------------|---|
| Canastilla | Permite la salida del agua de la cámara húmeda, evitando el paso de elementos extraños. |
|-------------------|---|

| | |
|---------------------------|--|
| Cámara de válvulas | Es una caja de hormigón simple adjunta al tanque, provista para la ubicación de las válvulas del reservorio. |
|---------------------------|--|

Fuente (Itaca, 2014)

2.2.1 Abastecimiento de agua potable por gravedad

El sistema de abastecimiento de agua por gravedad es un conjunto de estructuras para llevar el agua potable a la población mediante acometidas domiciliarias. Es un sistema que utiliza el principio de gravedad porque el agua cae por su propio peso, desde el reservorio hacia las conexiones domiciliarias de la ciudad, consiguiendo de esta manera una presión deseable en cada domicilio.

2.2.2 Descripción estación de reserva de Azaya

La estación de reserva de Azaya almacena el agua que proviene del sistema de re-bombeo de la planta de tratamiento, el agua se almacena en un tanque de 1000 m^3 y en un tanque de 2500 m^3 dependiendo del estado de la válvula de control. La estación de reserva distribuye el agua potable a la población de la ciudad de Ibarra por medio de gravedad, aprovechando la ubicación de la estación.

El tanque de reserva de 1000 m^3 tiene las siguientes características mostradas en la Tabla 3.

Tabla 3
Descripción del tanque de 1000 m^3

| ESTACIÓN DE RESERVA DE AZAYA | | |
|------------------------------|-----------|--------------|
| TANQUE DE 1000 m^3 | | |
| Descripción | Dimensión | Unidad |
| Radio | 9.0 | <i>m</i> |
| Altura | 5.14 | <i>m</i> |
| Volumen | 1000 | m^3 |

En la Figura 4 se observa el tanque de almacenamiento de 1000 m^3 ubicado en la estación de reserva lomas de Ayaza.



Figura 4. Tanque de 1000 m^3 de la estación de reserva

El tanque de 2500 m^3 tiene las características mostradas en la Tabla 4.

Tabla 4
Descripción del tanque de 1000 m^3

| ESTACIÓN DE RESERVA DE AZAYA | | |
|------------------------------|-----------|--------------|
| TANQUE DE 2500 m^3 | | |
| Descripción | Dimensión | Unidad |
| Radio | 14.5 | <i>m</i> |
| Altura | 3.8 | <i>m</i> |
| Volumen | 2500 | m^3 |

El tanque de almacenamiento de agua está construido de hormigón, de planta circular, tiene la estructura de un cilindro, el fondo está constituido por una placa de hormigón, el techo es una superficie plana de hormigón con un ingreso en la mitad del tanque “tapa sanitaria” y un área de ventilación.

En la Figura 5 se observa el tanque de almacenamiento de 2500 m^3 ubicado en la estación de reserva lomas de Ayaza.



Figura 5. Tanque de almacenamiento 2500 m³ de la estación de reserva

En el Anexo VIII. Elementos de la estación de reserva lomas de Ayaza se puede apreciar de mejor manera los elementos que conforman la estación.

2.3 MEDIDORES DE NIVEL

Los medidores de nivel son los más usados en la industria y se dividen en dos grandes grupos según su manera de trabajo, midiendo directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, o la mayoría trabaja de forma indirectamente en base a un factor externo como la presión hidrostática, aprovechando las características eléctricas del líquido o bien utilizando otros fenómenos. La elección del tipo de medición a utilizar depende de la aplicación y las características del líquido a medir. En la actualidad la mayoría de transmisores de nivel trabajan con algún protocolo de comunicación hacia un ordenador.

2.3.1 Instrumentos de medida de forma directa

Estos instrumentos utilizan de manera directa la variación de la altura del líquido para su medición, los principales medidores de manera directa utilizan una parte mecánica para apoyarse en la medición conjuntamente con un equipo eléctrico.

Los principales instrumentos de medida directa son los siguientes:

- varilla de medición
- cinta y plomada
- nivel de flotador

2.3.2 Instrumentos de medida de forma indirecta

Una forma alternativa de conseguir una medición es realizarla de forma indirecta. Para esto la medición o el valor buscado es interpretado al realizar la medición de una magnitud diferente, pero que está directamente relacionada con el valor a buscar. Para alcanzar este valor se realiza cálculos con el objetivo de encontrar la variable a medir.

Los principales instrumentos de medida indirecta son los siguientes:

2.3.2.1 Por presión hidrostática

Estos instrumentos realizan la medición del nivel de manera indirecta basándose en la presión hidrostática. La altura del líquido se calcula en base a la siguiente relación definida por:

$$P = h * \rho * g$$

En la que:

P= presión.

h= altura.

ρ = densidad.

g= gravedad.

2.3.2.2 Por características eléctricas

Esta clase de instrumentos se basa en las características eléctricas del líquido para efectuar la medición. Los instrumentos que utilizan las características eléctricas del líquido son:

- **Medidor resistivo/conductivo**

Los instrumentos que utilizan como medida indirecta la conductividad o resistencia trabajan de la siguiente manera se coloca uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado al momento que el líquido moja a los electrodos, para ello el líquido debe ser conductivo y lograr excitar el circuito electrónico, en la Figura 6 se muestra el método para la medición basado en la conductividad o resistencia.

El instrumento se emplea comúnmente como interruptor, alarma o control de nivel alto y bajo ya que cada estado depende del número de electrodos colocados en el tanque (Creus, 2006).

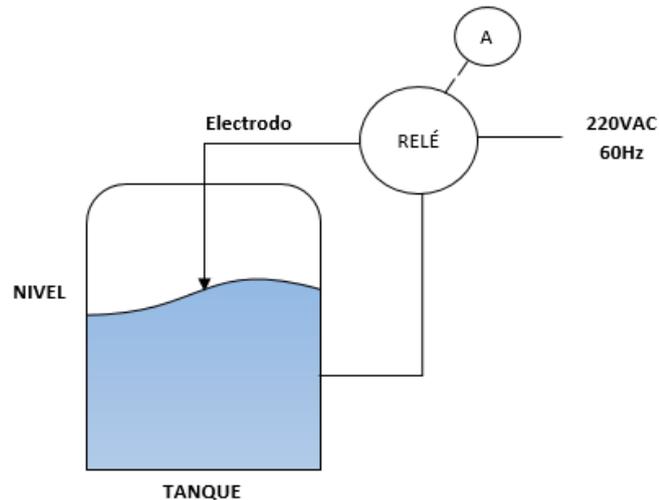


Figura 6. Medidor resistivo/conductivo de nivel

Fuente: (Creus, 2006)

- **Medidor capacitivo**

El sistema de medición se basa en la capacitancia, el medir la capacidad del condensador el cual es formado por un electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque, como se muestra en la Figura 7. El nivel del tanque es directamente proporcional a la capacidad del sistema de medición.

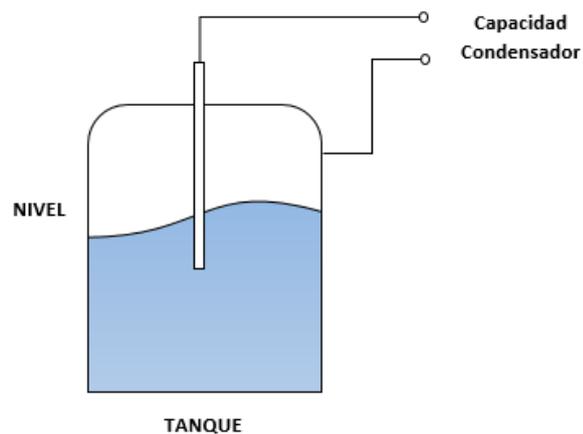


Figura 7. Medidor capacitivo de nivel

Fuente: (Creus, 2006)

- **Medidor de radiación**

El sistema de medición por rayos gama consiste en un emisor de rayos gamma ubicado verticalmente en un lado del tanque y con un contador Geiger que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua, como se muestra en la Figura 8. La radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida (Creus, 2006).

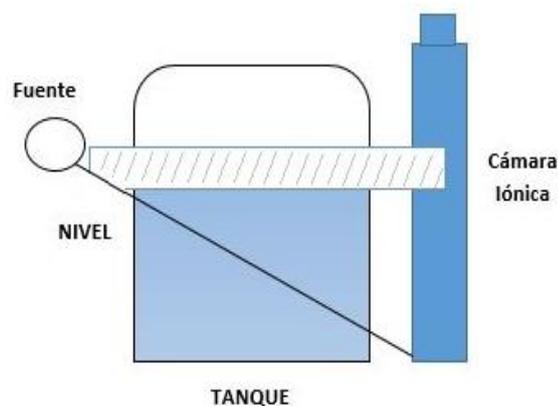


Figura 8. Medidor por radiación

Fuente: (Creus, 2006)

- **Medidor ultrasónico**

Este tipo de sensores es una tecnología ideal para una amplia gama de aplicaciones de líquidos, incluyendo productos químicos, petróleo, agua y aguas residuales, se basa en la emisión de un impulso ultrasónico de alta frecuencia cada pulso se desplaza por el espacio de aire, refleja en la superficie del líquido y la recepción del eco del mismo se vuelve al transductor en un receptor. La electrónica calcula el intervalo de tiempo de la transmisión y retorno de la señal, traduciendo en una distancia de medición basada en la velocidad del sonido, es decir el retardo del eco depende del nivel del tanque, los sensores trabajan a una frecuencia aproximada de 20 kHz. Estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente agresivo y se reflejan en la superficie de sólidos, líquidos por lo cual es muy útil para diversas aplicaciones.

En la Figura 9 se puede ver el diagrama de bloques de un sistema de medida basado en un medidor ultrasónico. El sensor emisor dispone de un oscilador excitador para enviar un impulso ultrasónico a la superficie del fluido y el sensor receptor recibe esta señal reflejada enviando una señal función del tiempo transcurrido que se traduce al nivel medido para ser mostrado en un indicador.

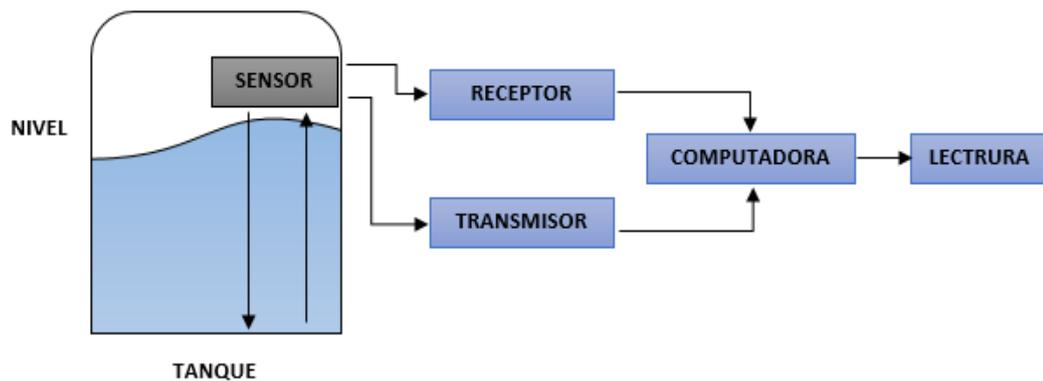


Figura 9. Diagrama de bloques de un sensor ultrasónico

Fuente: (Creus, 2006)

Funcionamiento: El sensor emite un impulso sonoro que se refleja en que se detecta el objeto como se muestra en la Figura 10. El tiempo requerido para el pulso para ir desde el sensor hasta el objeto y volver de nuevo se mide y evalúa y se convierte en la distancia de la siguiente manera.

$$\text{Distancia} = \text{velocidad del sonido} \frac{\text{TIEMPO SÓNICO TOTAL DE VUELO}}{2}$$

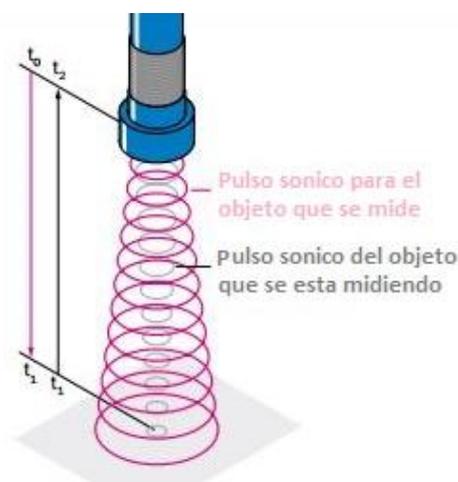


Figura 10. Funcionamiento sensores Ultrasónicos

Fuente: (Sick, 2014)

El sensor ultrasónico es un equipo todo terreno, demuestran su fiabilidad y precisión en prácticamente cualquier aplicación, desde la detección de posiciones a medir distancias o la detección de sólidos, en polvo, o medios líquidos.

Los sensores ultrasónicos realizan la medición y la detección en una amplia variedad de áreas de aplicación en las superficies de color, brillante, o transparentes, que son particularmente desafiantes para sensores ópticos. Incluso las condiciones ambientales adversas, como el polvo, la suciedad o la niebla apenas afectan el resultado de la medición. El amplio rango de detección también permite un campo grande para ser monitoreada con un solo sensor.

Las ventajas de los sensores ultrasónicos de nivel son las siguientes:

- La precisión de estos instrumentos es alrededor del ± 1 a 3 %.
- La tecnología sin contacto de nivel ultrasónico se desempeña muy bien en ambientes agresivos, requiere poco o ningún mantenimiento y proporciona una mayor fiabilidad y exactitud que otros dispositivos que funcionan en contacto con el líquido.
- Excepcional supresión de fondos y detección fiable de objetos, prácticamente la medición es independiente al aspecto de la variable a medir.
- En condiciones ambientales adversas, como el polvo, la suciedad o la niebla apenas afectan el resultado de la medición. El amplio rango de detección también permite un campo grande para ser monitoreada con un solo sensor.

2.4 MEDIDORES DE CAUDAL

Existen varios métodos para medir el caudal los principales medidores se basan en la presión diferencial, los medidores de desplazamiento positivo, los medidores de tipo turbina, además aprovechando las características eléctricas los medidores de caudal pueden ser de tipo electromagnético y los medidores de tipo ultrasónico.

2.4.1 Medidor magnético de caudal

Su funcionamiento se basa en la Ley de Faraday de inducción magnética. La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al

moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. Dado que un líquido conductor contiene partículas cargadas, al pasar a través de un campo magnético, producirá una tensión. (Creus, 2006).

En la Figura 11 se muestra el principio de funcionamiento de un medidor magnético donde El líquido conductor circula por un tubo aislado eléctricamente, a través de un campo magnético, la fuerza electromotriz generada a través de los electrodos diametralmente opuestos en la pared de la tubería es directamente proporcional a la velocidad media del fluido.

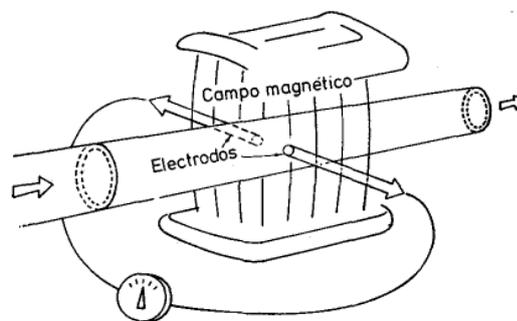


Figura 11. Medidor de caudal electromagnético

Fuente: (Creus, 2006)

Entre las ventajas más fundamentales se pueden indicar las siguientes:

- No presentan obstrucciones al flujo.
- La señal de salida es lineal.
- Adecuados para su instalación en grandes tuberías de suministro de agua.
- No son afectados por perturbaciones del flujo aguas arriba del medidor.

2.5 VÁLVULAS

En la mayoría de los procesos la válvula es muy importante dentro de un sistema autónomo. Realiza el trabajo de variar el caudal del fluido de control, lo cual modifica el comportamiento de la variable medida.

Una válvula se puede definir principalmente como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de un fluido cualquiera

mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos (Creus, 2006).

Tipos de válvulas

Debido a las múltiples necesidades de la industria se han desarrollado varios diseños de válvulas las mismas que se diferencian principalmente por la forma y acción del obturador y pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

Válvulas de compuerta: Esta válvula efectúa su cierre con un disco vertical plano, o de forma especial, y que se mueve verticalmente al flujo del fluido. Por su disposición es adecuada generalmente para control todo-nada, ya que en posiciones intermedias tiende a bloquearse. Tiene la ventaja de presentar muy poca resistencia al flujo de fluido cuando está en posición de apertura total. La válvula de compuerta es de vueltas múltiples y recomendada sistemas con apertura o cierre total, sin estrangulación.

Válvula de Globo: Esta válvula puede ser de tres formas diferentes, de simple asiento, de doble asiento y de obturador equilibrado, en las tres formas el cierre se logra por medio de un disco o tapón que sierra o corta el paso del fluido sobre un asiento.

Válvula de mariposa: Esta válvula en su construcción interior está formada por un anillo cilíndrico del cual gira transversalmente un disco circular. Al momento de seleccionar la válvula es importante considerar la presión del sistema las válvulas tipo mariposa se emplean para el control de grandes caudales de fluidos pero a baja presión.

Válvula de bola: Esta válvula en su construcción interior posee una cavidad esférica que contiene un obturador en forma de esfera o bola. La bola por lo general posee un corte en V que fija la curva característica de la válvula y gira transversalmente accionada por un servomotor. Se utiliza para un tipo de control ON-OFF de líquidos o gases y en regulación de caudal.

2.6 SISTEMAS DE CONTROL

En muchos procesos la función de control es manual, es decir realizada por un operario el cual toma la decisión de cuando manipular las variables de forma de conseguir un objetivo. La eficiencia en los procesos cada vez es más alta por lo cual se requiere una mayor velocidad y que las variables a controlar estén en valor constantes. Frente a este problema, surgen los sistemas de control como una solución para resolver estos problemas.

Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados (Ogata, 2003).

En la Figura 12 se muestra el diagrama de componentes básicos que intervienen en un proceso.

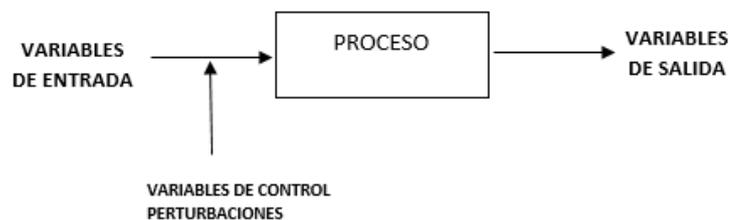


Figura 12. Componentes básicos de un proceso

2.6.1 Sistemas de control en lazo abierto

Un sistema de lazo abierto es aquel en el cual no existe realimentación de la salida del proceso al controlador. La principal ventaja de este sistema es la facilidad de su implantación por su sencillez y bajo costo económico, pero una desventaja es que no son exactos, es decir depende de la calibración inicial ya que no corrige errores.

En la Figura 13 se representa el diagrama de bloques del sistema de control en lazo abierto.

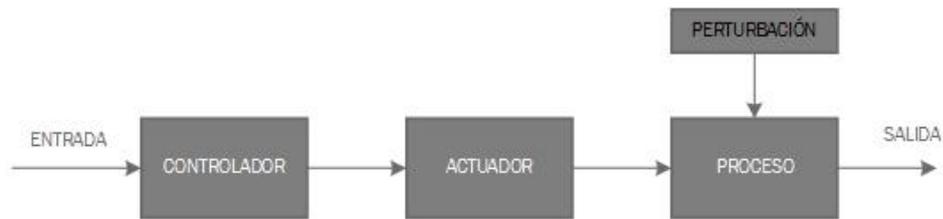


Figura 13. Elementos de un sistema de control en lazo abierto

2.6.2 Sistema de control en lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en donde la señal de salida retroalimenta al sistema como una entrada al controlador. Este tipo de sistema es más exacto debido a que para corregir el error la señal de salida es realimentada y comparada con la referencia con el fin de disminuir el error.

En la Figura 14 se representa el diagrama de bloques del sistema de control en lazo cerrado.

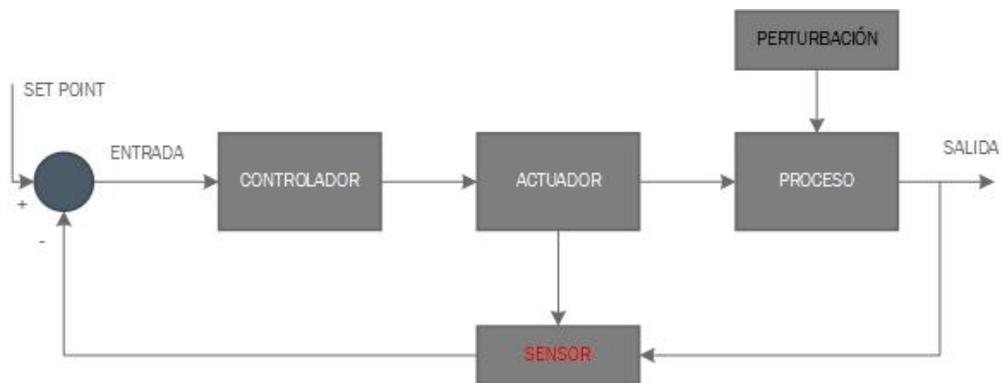


Figura 14. Elementos de un sistema de control en lazo cerrado

2.7 SISTEMA DE TELEMETRÍA Y CONTROL INALÁMBRICO

La telemetría es la ciencia de recolectar información en una ubicación remota y transmitirla a un lugar conveniente para ser analizada y registrada.

La telemetría inalámbrica es más compleja que la alámbrica, ya que requiere una etapa final de radiofrecuencia. A pesar de su complejidad es ampliamente empleada porque la información se puede transmitir a grandes distancias, altas velocidades y desde lugares en los cuales un medio físico de enlace es complicado.

2.7.1 Sistema de Telemetría ZigBee 2.4GHz Mesh

Este sistema es un novedoso concepto de Telemetría Inalámbrica basado en la tecnología de redes Mesh. El sistema fue diseñado para instalaciones industriales o de campo abierto, donde se necesita recolectar información remota y dispersa, de manera confiable y a un bajo costo por punto (Exemys, 2014).

El sistema está formado por 2 dispositivos: un concentrador y nodos remotos. Todos los dispositivos comparten una misma red de datos, denominada red Mesh.

- **El Concentrador**

Se comunica con los nodos remotos ubicados en campo, y almacena la información adquirida por estos dispositivos mediante protocolos de comunicación estándares, en la Figura 15 se muestra el módulo concentrador de señales.



Figura 15. Concentrador de señales

Fuente: (Exemys, 2014)

- **Los Nodos Remotos**

Son los dispositivos que recolectan la información en campo donde están instalados, mediante sus entradas, salidas y puerto serie, en la Figura 16 se muestra el nodo remoto.



Figura 16. Nodo remoto

Fuente: (Exemys, 2014)

- **La Red Mesh**

Las redes inalámbricas malladas permiten que los nodos se comuniquen entre sí en forma independiente. Esto significa que los nodos pueden no mandar directamente sus datos al concentrador, sino que pueden pasárselos a otros nodos de la red, para que lleguen a su destino (Exemys, 2014).

La información disponible de todos los nodos remotos ubicados en campo, se puede obtener mediante protocolos de comunicación serial del dispositivo.

- **Monitoreo de Entradas y Salidas**

Esta solución permite monitorear las entradas y salidas físicas de los "Nodos" realizando consultas MODBUS al esclavo interno que posee el "Concentrador" o consultando la misma tabla mediante el software de configuración (Exemys, 2014).

En la Figura 17 se muestra la arquitectura del sistema de telemetría formado principalmente por el concentrador de señales y el módulo de adquisición.

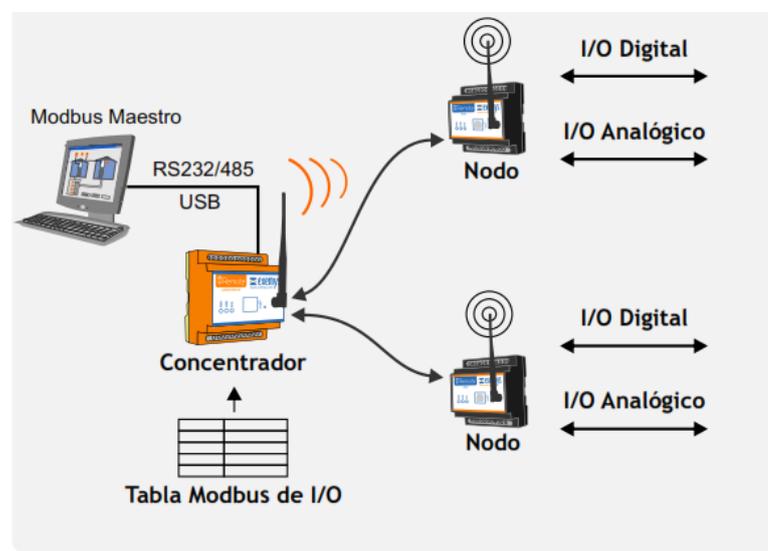


Figura 17. Arquitectura sistema de telemetría

Fuente: (Exemys, 2014)

Esta arquitectura me permite monitorear las estradas físicas del nodo, mediante un barrido de los nodos conectados al concentrador, en la Figura 18 se muestra la topología del dispositivo de telemetría.

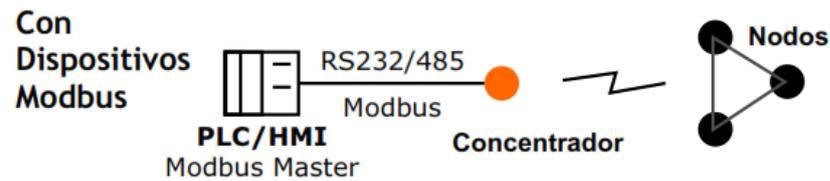


Figura 18. Diagrama de bloques sistema telemetría

Fuente: (Exemys, 2014)

2.8 INTERFACES DE OPERADOR

HMI (Human Machine Interface) es un medio para el intercambio de información y la comunicación mutua entre el sistema de electromecánica y el usuario. Permite al usuario para completar la configuración a través de imágenes que se pueden tocar o teclas en la ventana fácil de usar como se muestra en la Figura 19.

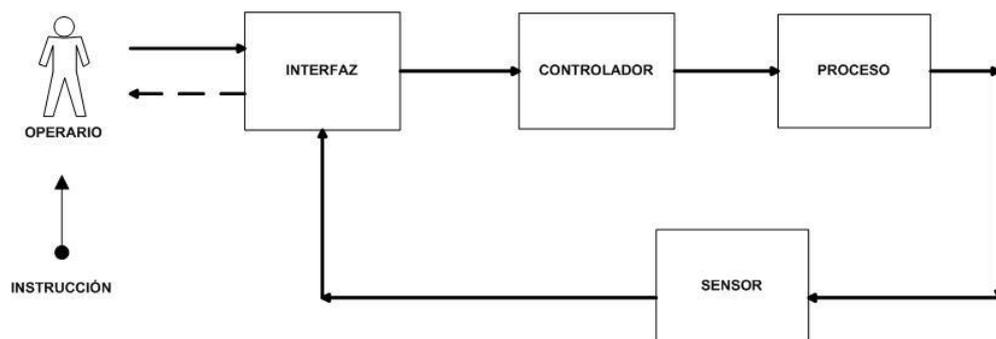


Figura 19 Arquitectura de una interfaz Hombre-Máquina

Fuente:(Ponsa &Vilanova, 2005)

2.8.1 Terminal de Operador

El terminal de operador mediante las Interfaces Humano Máquina (HMI) permite el control y supervisión de datos, los terminales de operador son innovadores y brindan una nueva experiencia a los usuarios ya que se puede realizar diseños únicos y estilizados a fin de que el operario encuentre un sistema fácil de manejar.

2.9 REDES INDUSTRIALES

El principal objetivo de las redes es la de transmitir la información ya sea desde el nivel de campo, nivel de control o supervisión, las redes industriales se manejan bajo protocolo de comunicación.

2.9.1 Protocolos de bus de campo

Son los diferentes tipos de redes que se usan en la industria a fin de sustituir las convencionales conexiones punto a punto. Un bus de campo es un enlace de comunicaciones digital, bidireccional y multipunto entre dispositivos inteligentes de control y medida. Actúa como una red de área local para el control de proceso avanzado, entrada/salida y aplicaciones de automatización de alta velocidad.

- **Modbus RS-485**

Es un protocolo estándar dentro de la industria que tiene mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos industriales, entre los dispositivos que lo utilizan podemos mencionar: PLC, HMI, drivers, sensores y actuadores remotos.

La comunicación Modbus tiene las características mostradas en la Tabla 5.

Tabla 5
Características de la comunicación Modbus

| Nombre | Topología | Soporte | Max. Dispositivos | Rate transmisión | Distancia | Comunicación |
|------------|-------------------|----------|-------------------|------------------|-----------|--------------|
| Modbus RTU | Línea | Par | 250 p/segm | 1.2 a 115 Kbps | 350 m | Master/Slave |
| | Estrella | Trenzado | | | | |
| | Árbol | Coaxial | | | | |
| | Red con segmentos | Radio | | | | |

Fuente:(Lagos, 2006)

El protocolo que establece se maneja en base al intercambio de mensajes en forma ordenada. Es un sistema del tipo maestro/esclavo el cual tiene un nodo maestro que es encargado de enviar los comandos explícitos a cada uno de los nodos esclavos los cuales procesaran la respuesta requerida. Una característica de este tipo de bus de campo es que los nodos no transmiten información sin una petición del nodo maestro y además no se comunican con los demás nodos esclavos dentro de la red.

En el protocolo de comunicación Modbus se intercambia la información con los dispositivos de la red como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6
Trama de la comunicación Modbus RTU

| NºEsclavo (00-3F _H) | Código de Operación | Subfunciones Datos | CRC(P16) H L |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------|

- **Ethernet**

Es un estándar de redes de área local, posee las características de nivel físico en cuanto a cableado y señalización y nivel de enlace de datos en cuanto a los formatos de tramas de datos teniendo como base el modelo OSI. El estándar internacional IEEE 802.3 define las especificaciones de redes basadas en Ethernet, la característica más relevante de este protocolo es el sistema de Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones.

Los requisitos que deben cumplir las redes de comunicación industrial, sobre todo en cuanto a los sistemas de bus modernos, son enormes y siguen creciendo de forma continua. Se requieren redes de comunicación que, incluso sobre grandes distancias, destaquen por sus prestaciones y permitan aprovechar las múltiples posibilidades del mundo digital. El protocolo de comunicación Ethernet se ha establecido desde hace tiempo como la tecnología básica para este fin.

El protocolo de comunicación Ethernet tiene las características mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7
Características de la comunicación Ethernet

| Nombre | Topología | Soporte | Max. dispositivos | Rate transmisión | Distancia | Comunicación |
|-----------------|------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|------------------|---------------|
| Ethernet | Bus | Par | 400 p/segm | 10 a 100 Mbps | -100m | -Master/Slave |
| | Estrella | trenzado | | | -100km | -Peer to peer |
| | Malla- Cadena | Coaxial Fibra óptica | | | mono c/switch | |

Fuente: (Lagos, 2006)

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL SISTEMA

3.1 INGENIERÍA BÁSICA

3.1.1 Requerimientos necesarios del sistema

El diseño eléctrico de monitorización y control se realiza de manera que los equipos trabajen de forma asociada con el fin de que la información de las variables importantes en el proceso de almacenamiento y distribución de agua potable llegue a los diferentes puntos de supervisión a fin de mejorar la eficiencia del proceso. El equipamiento a usar se diseña con tecnología moderna que garantice la protección de las personas y equipos relacionados para brindar un servicio continuo del proceso y operación del proyecto.

Con la realización de la ingeniería básica se define un listado de materiales y especificaciones técnicas de los equipos con lo cual se dimensionan los dispositivos en base a requerimientos mínimos de cada subsistema, para ser usados en la planta de tratamiento y estación de reserva de lomas de Azaya y que puedan ser integrados al sistema de modo que cumplan con las necesidades mínimas del proceso para que puedan emplearse dentro de cada estación y se garantice una adecuada operación.

El equipamiento electromecánico principal dentro del diseño contemplará entre sus elementos más importantes: equipos de control, comunicación, telemetría, instrumentación y actuadores.

3.1.2 Especificaciones

El sistema de almacenamiento y distribución de agua potable de Ayaza se efectúa en dos sitios por lo cual las señales de interés de la estación de reserva son transmitidas hacia la planta de tratamiento específicamente al cuarto de monitoreo mediante telemetría, en la Figura 20 se muestra la arquitectura básica del sistema en

donde parte su diseño con la medición de los niveles en los tres tanques de almacenamiento, del estado de los tanques depende la acción efectuada por la válvula de control la cual es la encargada de direccionar el flujo de agua. La medición del caudal de salida de cada tanque hacia la población es otra variable de interés en el proceso.

Existen dos puntos de monitorización, el panel de operador HMI del cuarto de monitorización y el SCADA en las oficinas centrales de la EMAPA-I.

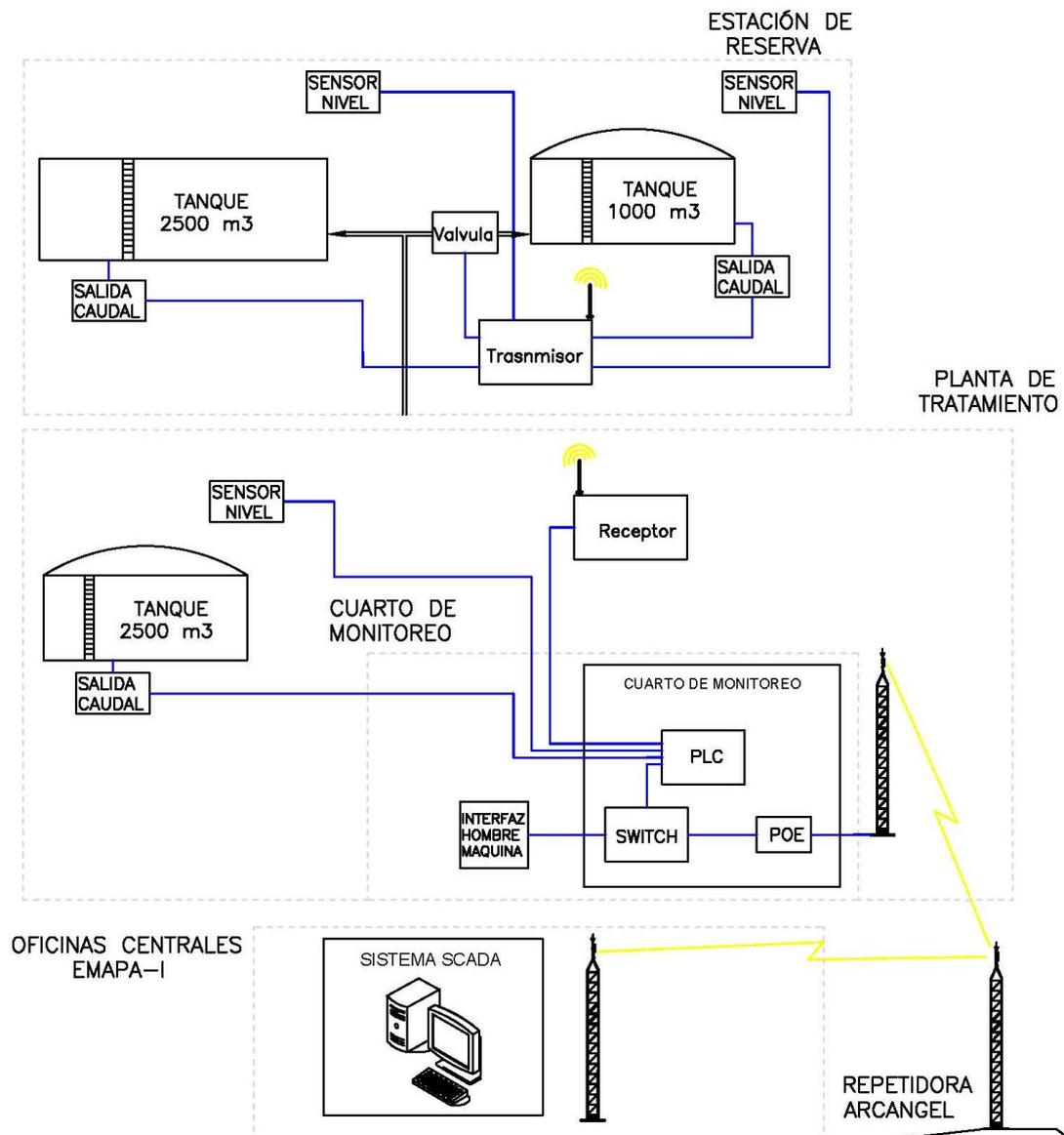


Figura 20. Arquitectura básica del sistema

3.1.3 Análisis y revisión de elementos existentes

3.1.3.1 Elementos de instrumentación y control

El sistema de bombeo de la planta de tratamiento cuenta con arrancadores electromecánicos ya sea de tipo estrella-triángulo o arrancadores suaves para encender las bombas, además tienen breakers y relés térmicos de protección contra cortocircuitos y sobre cargas en los motores de las mismas. Para corregir el factor de potencia de la planta, se dispone de bancos de capacitores automáticos o semiautomáticos.

El sistema de bombeo de la planta de tratamiento hacia la estación de reserva de Azaya tiene una bomba de 125 HP a 460VAC con un arrancador suave y una bomba de respaldo 100 HP a 460VAC con arranque tipo estrella-triángulo, las válvulas de control de flujo son manuales tipo mariposa.

El agua bombeada es conducida a través de tuberías de salida y es contabilizada mediante medidores de caudal de tipo propela los mismos que miden la cantidad de agua bombeada por medio del número de revoluciones que da la hélice (propela); poseen además un indicador en el que se muestra la medición.

El agua a ser bombeada se la extrae de una piscina de almacenamiento o “cámara húmeda” ubicada en la misma planta.

En el Anexo VII. Elementos de la planta de tratamiento de Ayaza se muestra el plano de la localización de cada componente que forma parte de la planta.

3.1.3.2 Plataforma de comunicación existente

La EMPA-I cuenta con un sistema de transmisión de datos por radio-frecuencia utilizando la banda de 2.5GHz a través de una estación repetidora ubicada en San Miguel Arcángel, utilizada para el intercambio de datos entre las diferentes instalaciones (oficinas, bodegas, laboratorio de medidores, estaciones de bombeo) separadas geográficamente dentro del perímetro urbano de la ciudad de Ibarra.

3.1.3.3 Elementos de adquisición y supervisión

En el proceso de automatización de los pozos de bombeo la EMAPA-I adquirió el sistema de supervisión y adquisición de datos INTOUCH de la empresa Wonderware.

El software para el sistema SCADA deberá constituir una verdadera plataforma que permita integrar los diferentes programas y realizar tareas como gestión de base de datos, administración de comunicaciones, generación de interfaces hombre-máquina, generación de reportes.

3.1.4 Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema

3.1.4.1 Viabilidad Técnica

El proyecto es viable y es posible llevarlo a cabo satisfactoriamente ya que las variables a ser medidas dentro del sistema no representan mayor complejidad, existen proveedores que manejan dentro de sus productos varias tecnologías que se acoplan al diseño del proyecto.

Todas las tecnologías disponibles deberán ser estándares a fin de conseguir una integración total de cada subsistema del proyecto, los puntos de interés dentro de la viabilidad son los siguientes:

- Alimentación de cada equipo
- Protocolos de comunicación compatibles
- Señales estándar de entrada y salida
- Normas de construcción y seguridad

Para el sistema de comunicación la EMAPA-I actualmente cuenta con una red WAN de datos, la cual dispone de la estación repetidora en San Miguel Arcángel desde la cual es posible realizar el enlace con la planta de tratamiento, y a su vez con la oficina central de EMAPA-I. Por tanto se ha visto conveniente utilizar una estructura de transmisión de datos similar a la que ya dispone la empresa, pudiendo realizar la adquisición de datos en tiempo real sin necesidad de contratar el servicio de terceros.

3.1.4.2 Factibilidad técnica

Todos los elementos necesarios para la realización del sistema se encuentran disponibles en el mercado, los proveedores pueden conseguir los elementos a nivel nacional como internacional, cumpliendo todos los aspectos planteados en la viabilidad técnica.

La disponibilidad de los elementos existentes se constató realizando pruebas técnicas para verificar su funcionamiento, en el sistema de comunicación se realiza un enlace entre la Planta de Tratamiento, la repetidora y las oficinas de la institución y se determinó que es posible utilizar la actual red de datos para el proyecto de comunicación, además en cuanto al sistema SCADA se verificó su correcto funcionamiento, lo cual hace que estos elementos se encuentren factibles para la utilización en cada subsistema del proyecto.

3.1.5 Definición de parámetros

El sistema a ser diseñado debe cumplir principalmente los requerimientos presentados por el usuario, además de parámetros técnicos para la ejecución del proceso.

El sistema debe cumplir los siguientes parámetros principales:

- Conocer en tiempo real el estado de los tanques de reserva.
- Establecer puntos estratégicos para la monitorización de las variables de interés.
- Creación de una base de datos, para el almacenamiento de la información.
- Estados de alerta en niveles bajos de los tanques de almacenamiento.
- Visualización de las variables en el sistema SCADA.
- Sistema continuo y fiable en cuanto a la medición de los volúmenes de los tanques de reserva.

El contar con un control eficiente en el almacenamiento y distribución de agua potable conlleva al requerimiento principal del usuario que es reducir los costos de energía eléctrica y aumentar la vida útil de los equipos ya que se reduce las horas de operación de los equipos electromecánicos.

3.1.6 Esquema y ubicación para cada elemento del sistema

El sistema de instrumentación y control del proyecto se encuentra ubicado tanto en la planta de tratamiento como en la estación de reserva como se muestra en la Figura 21. Los sensores de nivel se ubican en los dos tanques de almacenamiento de la estación de reserva y en el tanque de la planta de tratamiento, los sensores son ubicados en la parte interna del tanque a fin de medir de una manera correcta esta variable.

Los tanques de almacenamiento poseen una tubería de salida para la distribución de agua potable a la población de la ciudad, donde se encuentra un medidor de caudal con el fin de adquirir la información de consumo por parte de la población.

En la Estación de reserva se encuentra la válvula de control, la cual direcciona el flujo de agua potable proveniente de la planta de tratamiento, el agua es almacenada en los tanques de 1000 m³ o 2500 m³ dependiendo del estado de la válvula, la tubería está construida en forma de Y, en la cual el agua pasa directamente hacia el tanque de 2500m³ y la válvula se encuentra a la entrada del tanque de 1000m³ como se muestra en la Figura 21.

El estado del sistema de bombeo de la planta de tratamiento hacia la estación de reserva es otra variable de interés en el proceso, el sistema de bombeo está constituido por una bomba de 125 HP con un arrancador suave y una bomba de respaldo de 100 HP conectado en estrella-triángulo, el estado de las mismas será adquirida directamente hacia el cuarto de monitoreo.

La recolección de las variables tanto de la estación de reserva como de la planta de tratamiento se las realiza mediante el PLC y la monitorización del proceso mediante un panel de operador ubicado en el cuarto de monitorización de la planta de tratamiento.

En la Figura 21 se muestra la ubicación de los elementos de instrumentación y control dentro de la estación de reserva y la planta de tratamiento.

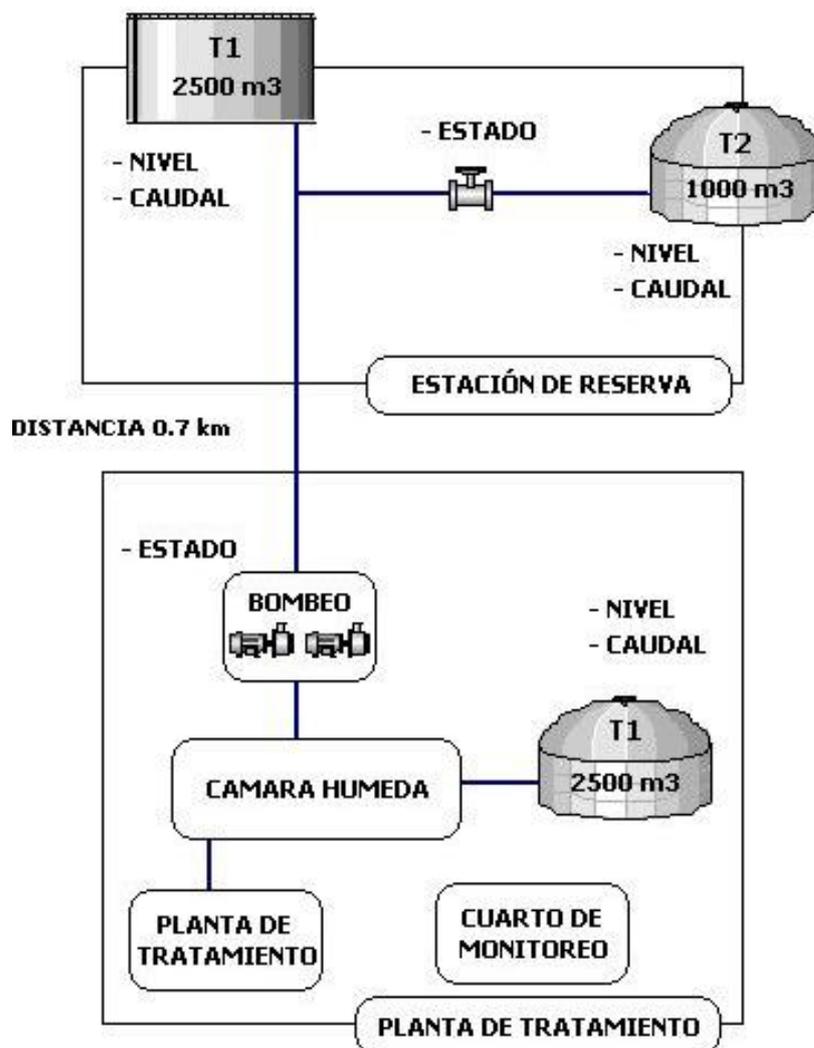


Figura 21. Esquema de ubicación de los elementos de instrumentación

En la Figura 22 se muestra la ubicación de cada elemento que conforma el sistema de telemetría y adquisición de datos, que recolecta la información adquirida en la estación de reserva como; los niveles de los tanques de almacenamiento, caudal de salida y se los transmite hacia la planta de tratamiento ubicada a 0.7 km de distancia mediante comunicación inalámbrica, además el sistema de telemetría recibe la señal para la actuación de la válvula de control y direccionar el flujo de agua a los dos tanques de almacenamiento. Para la comunicación los elementos de telemetría se encuentran en la parte más alta tanto de la estación de reserva como de la planta de tratamiento.

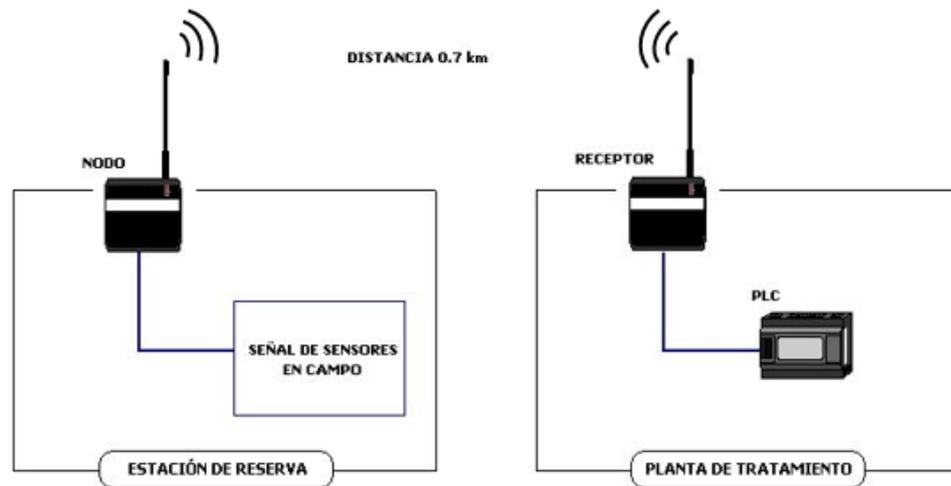


Figura 22. Esquema de ubicación del sistema de telemetría

El sistema de comunicación entre la planta de tratamiento y las oficinas centrales de la EMAPA-I para la supervisión de las señales en el sistema SCADA tiene un elemento adicional que es la repetidora que se encuentra en San Miguel Arcángel, ya que no existe línea de vista para realizar una comunicación directamente, en la Figura 23 se muestra la ubicación de cada elemento del sistema de comunicación.

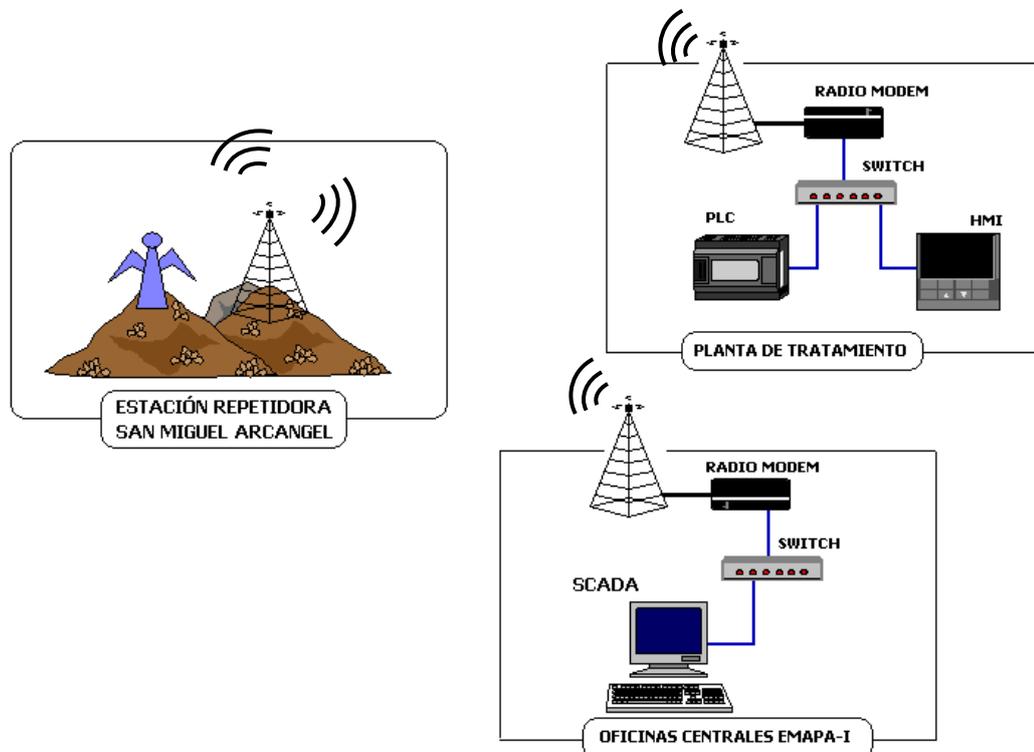


Figura 23. Esquema de ubicación del sistema de comunicación

3.1.7 Variables y señales del proceso

Las variables del proceso están divididas en dos, por una parte las que se adquieren en la estación de reserva ubicada aproximadamente a 0.7 km del cuarto de monitorización y las variables que se adquieren de la planta de tratamiento.

Las Variables de entrada/salida de la estación de reserva lomas de Azaya son dos señales de 4-20mA de los sensores de nivel ultrasónico ubicados en el tanque de 1000 m³ y 2500m³ respectivamente, además de dos señales de 4-20mA que corresponden a la salida de caudal de los tanques, el tanque de 1000 m³ posee dos salidas, una dirigida al sector 15 de diciembre y la otra salida al sector del El Ejido.

Una variable importante en la estación de reserva es la señal ON-FF para la activación de la posición de la válvula que direcciona el agua a los tanques de la estación de reserva.

Todas las señales de entrada y salida son transmitidas por medio de una comunicación inalámbrica de campo basado en una red mesh formado por 2 dispositivos un concentrador y nodos remotos, el sistema está diseñado para una instalación de campo abierto donde se necesita recolectar información remota y dispersa de manera confiable.

Las variables en la planta de tratamiento son señales de 4-20mA obtenidas del sensor ultrasónico de nivel y del sensor de caudal del tanque de reserva de 2500 m³ que se encuentra en la planta, el tanque posee una salida de flujo de agua que distribuye al sector de Azaya. Las señales recolectadas en la planta de tratamiento llegan directamente al PLC por medio del módulo de entradas análogas, o el módulo de comunicación Modbus.

En la Tabla 8 se muestra las señales y variables del proceso las cuales son señales analógicas de 4-20mA y señales discretas, los equipos a seleccionar tienen que cumplir estas características mínimas para realizar la recolección de todas las variables involucradas en el proceso.

Tabla 8
Señales y variables a ser medidas

| VARIABLE | UBICACIÓN | SEÑAL |
|---------------------------|-----------------------|---------|
| Nivel del Tanque T1 | Estación de reserva | 4-20 mA |
| Caudal de salida de T1 | Estación de reserva | 4-20mA |
| Caudal de salida de T1 | Estación de reserva | 4-20mA |
| Nivel del Tanque T2 | Estación de reserva | 4-20mA |
| Caudal de salida de T2 | Estación de reserva | 4-20mA |
| Válvula de Control | Estación de reserva | ON-OFF |
| Nivel del Tanque T1 | Planta de tratamiento | 4-20mA |
| Caudal de salida de T1 | Planta de tratamiento | 4-20mA |
| Estado Bomba 1 | Planta de tratamiento | ON-OFF |
| Estado Bomba respaldo | Planta de tratamiento | ON-OFF |

3.1.8 Elaboración de diagramas P&ID preliminares

3.1.8.1 Elaboración de diagramas de instrumentación

El diagrama P&ID muestra la instrumentación necesaria para el diseño del sistema de control y monitorización, la instrumentación empleada en el diagrama es usada para medir variables de interés en el proceso como nivel, caudal, además del control de la válvula mariposa motorizada que se usa como un actuador en el sistema.

En la Figura 24 se muestra el diagrama P&ID preliminar del sistema en donde consta la instrumentación de la estación de reserva y la planta de tratamiento que forman parte del sistema.

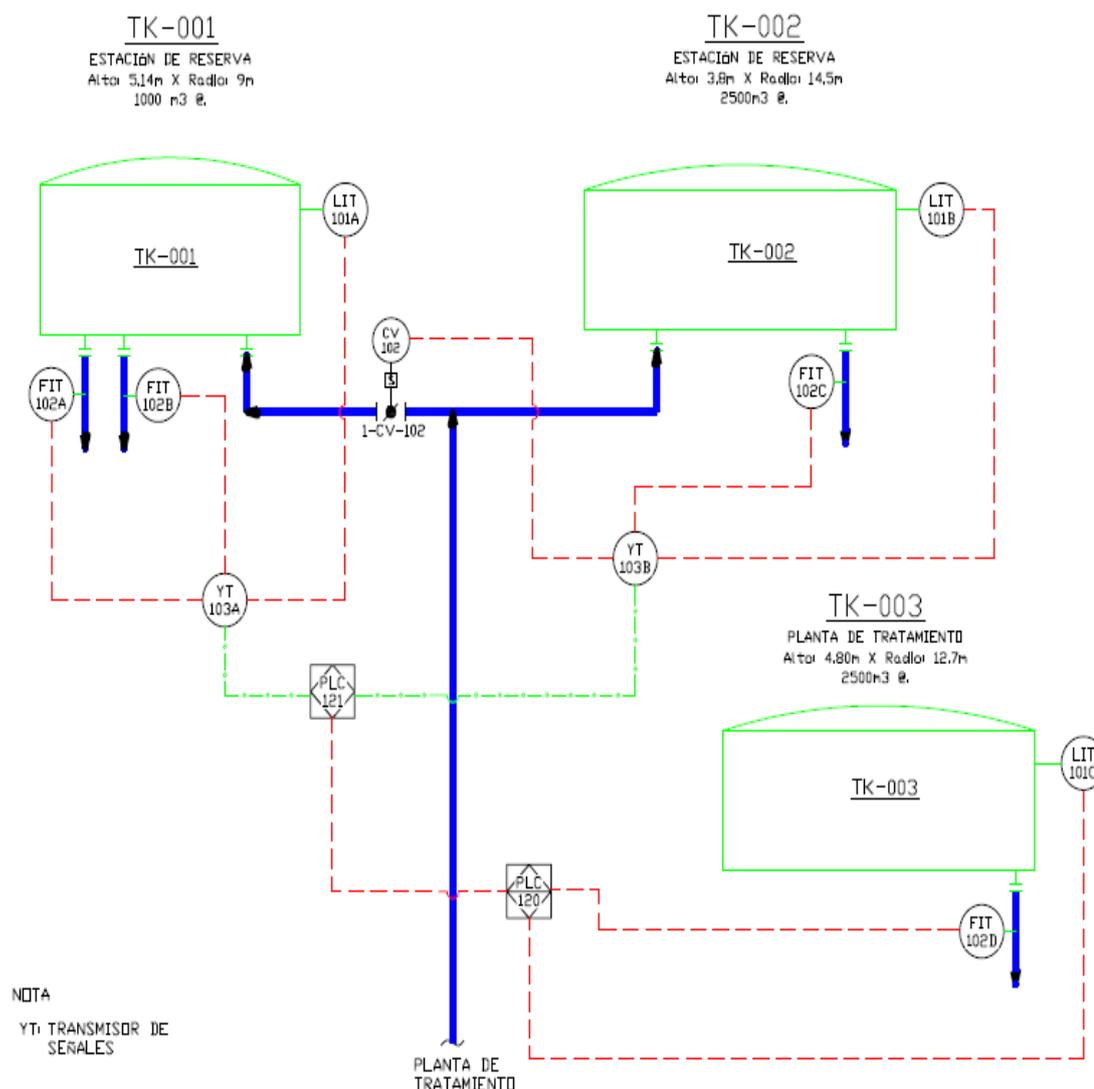


Figura 24. Diagrama P&ID preliminar del sistema

3.1.8.2 Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación

A continuación se presenta el diagrama de la arquitectura de comunicación organizada jerárquicamente con el fin de permitir el intercambio de datos entre los diferentes niveles lógicos, elementos o terminales de la misma red. Este conjunto está organizado bajo una arquitectura de red basada en capas, existen varios niveles

de capas siguiendo como estándar el modelo OSI, además de protocolos que manejan un estándar para la transmisión y recepción de datos.

En la Figura 25 se muestra la arquitectura de telemetría y comunicación del proyecto.

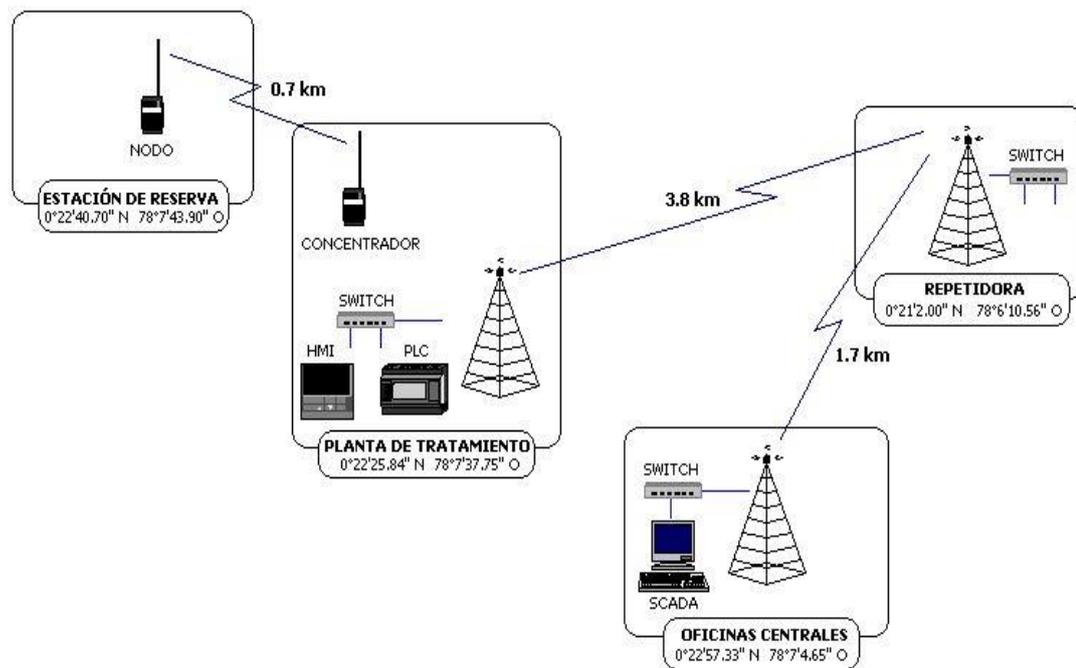


Figura 25. Arquitectura del sistema de telemetría y comunicación

3.1.9 Selección y dimensionamiento

En base al diseño se elige los elementos que forman parte del proceso y que cumplan con las especificaciones requeridas para el óptimo funcionamiento de todos los sistemas, además los elementos tienen que ser escalables para futuras ampliaciones del proyecto.

Para la selección y dimensionamiento de los elementos se divide en varios sistemas:

- Sistema de instrumentación.
- Sistema de telemetría y comunicación
- Sistema de adquisición y supervisión.
- Sistema de control.

3.1.9.1 Instrumentación

Para la selección de los equipos de instrumentación de nivel se toma en cuenta aspectos técnicos mínimos, a fin de que el sistema se desarrolle de manera correcta.

- Rango de medida superior a 6000 mm, ya que la altura promedio de los tres tanques es de 5000 mm.
- El líquido a medir es agua mezclada con cloro-gas.
- Salida análoga de 4-20 mA.
- Alimentación 120VAC o 24VDC

Según las características del proceso se eligieron un sensor que se basa en la tecnología ultrasónica para su medición, dependiendo del tiempo de transmisión detecta objetos tales como vidrio, líquidos y láminas transparentes, independientes del color, posee un indicador que permite el ajuste del sensor y la visualización de la medida.

En la Tabla 9 se muestra las características técnicas del sensor de nivel ultrasónico.

Tabla 9
Características técnicas sensor ultrasónico de nivel

| | | | |
|--------------------|------------------|----------------------------|---------------------------|
| Descripción | | Voltaje Alimentación | +9 min. a +30 máx. VDC |
| | Eléctrica | Corriente | <80mA |
| | | Potencia | 2.4VA |
| | | Frecuencia del ultrasonido | 80kHz |
| | | Resolución | 0.18mm |
| | | Rango de operación | 800-8000mm |
| | | Comunicación/salidas | Salida análoga 4-20mA |
| | | Mecánica | Medidas(Largo x Ancho) |
| Peso | 0.5kg | | |
| Tipo de conexión | M 12, 5-pin | | |
| Norma | Protección | IP67, protección de gases | |

El caudalímetro servirá para determinar la cantidad de agua suministrada por cada tanque de almacenamiento tanto de la estación de reserva como de la planta de tratamiento.

Para el dimensionamiento y selección el sensor de caudal se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Estos equipos deben ser de tipo electromagnéticos por su buena precisión
- Facilidad de montaje y mantenimiento.
- Montaje en tubería por bridas norma ANSI 150.
- El líquido a medir es agua mezclada con cloro-gas.
- Deberá contar con una salida análoga de 4-20 mA para enviar las mediciones de caudal hacia el PLC.
- Alimentación 120VAC o 24VDC.

Según las características del proceso se elige un sensor que se basa en la tecnología electromagnética para la medición del flujo de líquidos en tubería cerrada, el sensor es acoplado a un convertidor para ser utilizado como un dispositivo de medición y transmisión.

El medidor de flujo MS2500 combina una medición fiable de flujo con una alta precisión, bajo coste y facilidad de instalación, son muy adecuadas para todos los campos de aplicación. El MS2500 está disponible en la más amplia gama de diámetros de tubería, el caudal volumétrico de medición es independiente de perturbaciones como viscosidad, densidad y temperatura.

El medidor de flujo MS2500 posee un convertidor ML110, el cual recibe la señal del sensor y realiza el procesamiento de la información. El convertidor cumple con los requerimientos mínimos del diseño, puede ser montado localmente en el sensor o de manera remota, además posee una interfaz LCD para la visualización y configuración del sensor.

En la Tabla 10 se muestra las características técnicas del sensor de caudal electromagnético MS2500 y el convertidor ML110.

Tabla 10
Características técnicas sensor electromagnético de caudal

| | | | |
|--------------------|----------------------|---|---------------|
| Descripción | Voltaje Alimentación | +90 min. a +265 máx. VAC +10min. a + 63 máx. VDC | |
| | Eléctrica | Corriente | <80mA |
| | Potencia | 6W | |
| | Precisión | ±0.2% | |
| | Repetibilidad | ±0.1% | |
| | Rango de operación | 15 a 500 l/s | |
| | Comunicación/salidas | Salida análoga 4-20mA | |
| | Mecánica | Medidas(Longitud x Altura x Diámetro) | 450x461x405mm |
| | Peso | 90 kg | |
| | Tipo de conexión | Tubería con bridas | |
| Norma | Montaje | NSF / ANSI Norma 61 para tubería | |

Un elemento importante dentro de la instrumentación del sistema es la válvula mariposa de dos vías, es un elemento de maniobra que permitirá abrir o cerrar el paso de agua en la tubería utilizada para el control del direccionamiento de flujo de agua.

La válvula seleccionada es del tipo mariposa de dos vías con actuador eléctrico, además está equipada con dos sensores interruptores de fin de carrera para confirmar el estado de la válvula, esto es totalmente abierta o totalmente cerrada. El actuador eléctrico es de la serie UM las características principales son las siguientes:

- Bajo consumo.
- Alta eficacia.
- Motor protegido contra la humedad.

En la Tabla 11 se muestra las características técnicas del actuador eléctrico UM6 de la válvula mariposa de dos vías.

Tabla 11
Características técnicas del actuador eléctrico de válvula

| | | | |
|--------------------|------------------------|-----------------------|-------------|
| Eléctrica | Voltaje Alimentación | 110-240 VAC 24 VDC | |
| | Corriente | 1.2 A | |
| | Potencia | 60W | |
| Descripción | Sensores | Fin de carrera ON-OFF | |
| | Medidas(Largo x Ancho) | 320x275mm | |
| | Rango | 10" a 12" | |
| | Mecánica | Peso | 11kg |
| | | Velocidad | 30s |
| | | Torque | 5689 Kgf/cm |
| Norma | Protección | IP67 | |
| | Montaje | ISO 5211 | |

3.1.9.2 Sistema de telemetría y comunicación

El proyecto se desarrolla en la estación de reserva y en la planta de tratamiento de agua potable que se encuentran separadas aproximadamente 0.7 km en línea recta. Por esta razón el sistema de telemetría y comunicación es de mucha importancia para poder captar y transmitir las señales que se generen en la estación de reserva de Ayaza y se transmite hacia la planta de tratamiento.

Para el dimensionamiento del equipo se consideró los siguientes aspectos mínimos para el óptimo funcionamiento del proceso.

- Rango de operación mayor a 0.8 km.
- Protocolo de comunicación inalámbrica.
- Módulo con entradas y salidas análogas de 4-20mA.
- Alimentación 120VAC o 24 VDC.

Para el sistema de comunicación de acuerdo a las especificaciones planteadas se procederá a utilizar un sistema de Telemetría y Control con comunicación ZigBee

2.4GHz Mesh de la marca Exemys. Los dispositivos wRemote permiten manejar entradas/salidas y puertos series remotos a través de una comunicación inalámbrica bajo el protocolo de comunicación 802.15.4, accediendo a ellas desde un dispositivo concentrador usando el protocolo Modbus RTU, esto permite eliminar cables y simplificar el proceso de instalación.

El sistema está formado por 2 dispositivos: un concentrador y nodos remotos. En la Tabla 12 se muestra las características técnicas del nodo remoto que se montará en la Estación de reserva, así mismo en la Tabla 13 se muestra las características técnicas del concentrador que se montará en la planta de tratamiento.

Tabla 12
Características técnicas transmisor (Nodo) inalámbrico

| | | | | |
|--------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------|
| Descripción | Eléctrica | Voltaje Alimentación | +10 min. a +30 máx. VDC | |
| | | Corriente | <100mA | |
| | | Potencia | 3VA | |
| | | Frecuencia | 2.4000 a 2.4835 GHz | |
| | | Potencia de transmisión | +20 dBm | |
| | | Rango de operación | 2 km entre nodos | |
| | | Comunicación | RS232/RS485 | |
| | | Entradas/Salidas | 4 AI 0-10V/4-20mA 4 DI 2 DO | |
| | | Mecánica | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 70x90x65mm |
| | | | Peso | 0.4kg |
| | | Montaje | Gabinete, Riel DIN | |
| | Norma | Protección | IP65 | |
| | | Protocolo | IEEE 802.15.4 | |

Tabla 13
Características técnicas del concentrador de señales inalámbrico

| | | | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Descripción | Voltaje Alimentación | +10 min. a +30 máx. VDC | |
| | Corriente | <100mA | |
| | Potencia | 3VA | |
| | Eléctrica | Frecuencia | 2.4000 a 2.4835 GHz |
| | Potencia de transmisión | +20 dBm | |
| | Rango de operación | 2 km entre nodos | |
| | Comunicación | RS232/RS485/USB conf. | |
| | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 70x90x65mm | |
| | Mecánica | Peso | 0.4kg |
| | Montaje | Gabinete, Riel DIN | |
| Norma | Protección | IP65 | |
| | Protocolo | IEEE 802.15.4 | |

La EMAPA-I actualmente cuenta con una red de datos, la cual dispone de la estación repetidora en San Miguel Arcángel desde la cual es posible realizar enlaces con la oficina central de EMAPA-I. Por tanto se ha visto conveniente utilizar una estructura de transmisión de datos similar a la que ya dispone la empresa, pudiendo realizar la adquisición de datos en tiempo real.

Para llevar la información de las variables recolectadas tanto en la estación de reserva y la planta de tratamiento de la loma de Azaya hacia las oficinas centrales de la EMAPA-I se usa un sistema de telemetría que debe cumplir las siguientes características para poder transmitir todas las variables del proceso de forma eficiente.

- Alcance mayor a 5 Kilómetros
- Velocidad mayor a 100 Mbps
- Protocolo de comunicación Ethernet

Para transmitir las señales de la planta de tratamiento a las oficinas se procederá a utilizar dos Antena Nanostation M5 de la marca Ubiquiti, la cual es un nuevo equipo con nuevo diseño y antenas con ganancia de 16dBi, diseños de doble polaridad con una frecuencia de enlace de 5GHz.

En la Tabla 14 se muestra las características técnicas de las antenas.

Tabla 14
Características técnicas antena telemetría 5.8 GHz

| | | |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------|
| | Voltaje Alimentación | +24 VDC, POE 120VAC |
| | Corriente | <500mA |
| | Potencia | 8VA |
| Eléctrica | Frecuencia | 5170 a 5875 MHz |
| | Ganancia | +26 dBi |
| Descripción | Rango de operación | 15 km |
| | Comunicación | 2 puertos Ethernet |
| | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 294x80x30mm |
| Mecánica | Peso | 0.4 kg |
| | Montaje | Poste |
| | Protección | IP68 |
| Norma | Protocolo | TDMA |

3.1.9.3 Sistema de adquisición y supervisión

Uno de los requerimientos del usuario es tener sitios estratégicos para el monitoreo de las variables del proceso, por lo cual se colocará en la planta de tratamiento (Cuarto de monitorización) un interfaz Humano-Máquina, además del sistema SCADA que se encuentra en las oficinas centrales de la EMPA-I.

Los requerimos mínimos para la interfaz HMI se detallan a continuación

- Protocolo de comunicación Ethernet.
- Display igual o mayor a 7 pulgadas para una mejor visualización del proceso.
- Alimentación 120VAC o 24VDC.

Para el sistema de comunicación de acuerdo a las especificaciones planteadas se procederá a utilizar un touch panel de 7 pulgadas de la marca Delta, es la interfaz Hombre-Máquina (HMI) que permite la interacción entre los usuarios y equipos de automatización.

El panel de operador proporciona varios puertos de comunicación con una amplia gama de máquinas, sistemas e instalaciones, posee una pantalla LCD touch de alta resolución para una supervisión y control eficiente en tiempo real de las variables de interés.

En la Tabla 15 se muestra las características técnicas de la pantalla HMI a usar en el proyecto.

Tabla 15
Características técnicas del Panel de Operador

| | | |
|--------------------|--------------------------------------|--|
| | Voltaje Alimentación | +24 VDC |
| | Corriente | <500mA |
| | Potencia | 8.5VA |
| Eléctrica | Display | 7 Pulgadas |
| | Resolución | 800 x480 pixeles |
| Descripción | Comunicación | 1 puertos Ethernet 3 puertos Seriales RS-232/RS-422/RS-485 1 puerto USB |
| | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 144x184x50mm |
| Mecánica | Peso | 0.98 kg |
| | Montaje | Gabinete |
| Norma | Protección | IP65/ NEMAA4 |

3.1.9.4 Sistema de control

El controlador lógico programable es el principal elemento dentro del sistema de control, ya que se encarga de integrar los procesos que realizan los demás sistemas. Para el sistema de control de acuerdo a las especificaciones planteadas se procederá a utilizar un Controlador lógico programable DVP-ES2 de la marca Delta.

La serie de controladores lógicos programables DVP ofrecen alta velocidad y alta fiabilidad en las aplicaciones, también es compatible con varios protocolos de comunicación a usar en el proyecto.

En la Tabla 16 se muestra las características técnicas del controlador lógico programable a implementar en el proyecto.

Tabla 16
Características técnicas Controlador lógico Programable

| | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|---|
| Descripción | | Voltaje Alimentación | 100 min. a 240 máx. VAC |
| | Eléctrica | Corriente | <2A |
| | | Potencia | 30VA |
| | | Comunicación | 1 puertos serial RS232 2 puertos Seriales RS-485 |
| | | Entradas/Salidas | 8 DI 8 DO |
| | Mecánica | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 110x105x78mm |
| | | Peso | 0.37 kg |
| | | Montaje | Gabinete, Riel DIN |
| | Norma | Protección | IP65 Noise immunity |

En la planta de tratamiento existen variables análogas que deben ser leídas por el controlador lógico programable PLC, por ello en el sistema de control de acuerdo a las especificaciones planteadas en el diseño, se procederá a utilizar un módulo DVP04AD-E2 de la marca Delta.

El módulo de entradas analógicas es un complemento del controlador lógico programable que ofrece cuatro canales de entradas de señales análogas configurables de 4-20mA o 0-10V con una resolución de 14 bits.

En la Tabla 17 se muestra las características técnicas del módulo de entradas analógicas.

Tabla 17
Características técnicas del módulo de entradas y salidas análogas

| | | | |
|--------------------|------------------|---|--------------------------------------|
| Descripción | | Voltaje Alimentación | 20 min. a 28.8 máx. VDC |
| | Eléctrica | Corriente | <0.5A |
| | | Potencia | 1.1 VA |
| | | Resolución canal | 14 bits |
| | | Entradas/Salidas | 4 canales entradas 0-10VDC/4-20mA |
| | Mecánica | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 110x70x78mm |
| | | Peso | 0.14 kg |
| | | Montaje | Gabinete, Riel DIN |
| | Norma | Protección | IP65 Noise Immunity |

Un módulo externo que se implementa en el proyecto es el IFD9506 de la marca Delta, este módulo de comunicaciones posee varios protocolos tales como:

- Ethernet de alta velocidad 10 /100M bps.
- Modbus TCP/IP.
- Modbus RS-485 RTU/ASCII.
- Serial RS232.

En la Tabla 18 se muestra las características técnicas del convertidor de comunicaciones a usar en el proyecto.

Tabla 18
Características técnicas módulo de comunicación

| | | | |
|--------------------|------------------|--------------------------------------|--|
| Descripción | | Voltaje Alimentación | 24 VDC |
| | Eléctrica | Corriente | <0.5A |
| | | Potencia | 3.3 VA |
| | | Comunicación | 1 puertos serial RS232 1 puertos Seriales RS-485 1 puerto Ethernet |
| | Mecánica | Medidas(Largo x Ancho x Profundidad) | 110x71x33mm |
| | | Peso | 0.14 kg |
| | | Montaje | Gabinete, Riel DIN |
| Norma | Protección | IP65 Noise immunity | |

3.2 INGENIERIA DE DETALLE

3.2.1 Arquitectura

Una vez seleccionado y dimensionado los elementos que van a intervenir en el proceso de almacenamiento y distribución de agua potable se desarrolla en detalle la arquitectura, partimos de la variable principal el nivel que es medido por sensores/transmisores ultrasónicos, estos emiten una salida de 4-20mA dependiendo del estado el tanque la cual se almacena conjuntamente con las lecturas de los sensores/transmisores de caudal en un nodo remoto.

El nodo remoto mediante radio frecuencia transmite las señales a 2.4 GHz desde la estación de reserva hacia la planta de tratamiento a 0.7 km donde se encuentra un concentrador de señales. La información es bajada al PLC mediante comunicación Modbus RS-485 dos hilos.

Las señales de 4-20mA generadas por el sensor ultrasónico de nivel y el sensor de caudal de salida, además del estado del sistema de bombeo son adquiridas directamente al PLC mediante el módulo de entradas análogas y discretas respectivamente. Un elemento importante dentro del tablero de control es el convertidor de comunicaciones que permite diferentes tipos de protocolos de comunicación. Uno de ellos es el Ethernet que mediante un Switch industrial se crea una red interna para la comunicación con el terminal de operador, una Pantalla táctil de 7 pulgadas el PLC y la Antena que transmite los datos hacia las oficinas centrales SCADA a 5.8 GHz.

La arquitectura del software permitirá adquirir información de los dispositivos de campo (PLC's) que estará ubicado en la planta de tratamiento, además de transmitir la información hacia es sistema de supervisión control y adquisición de datos SCADA, para luego almacenarla en una base de datos de manera que esté disponible para cualquier cliente del sistema.

En la Figura 26 se muestra la arquitectura en detalle del sistema a implementar.

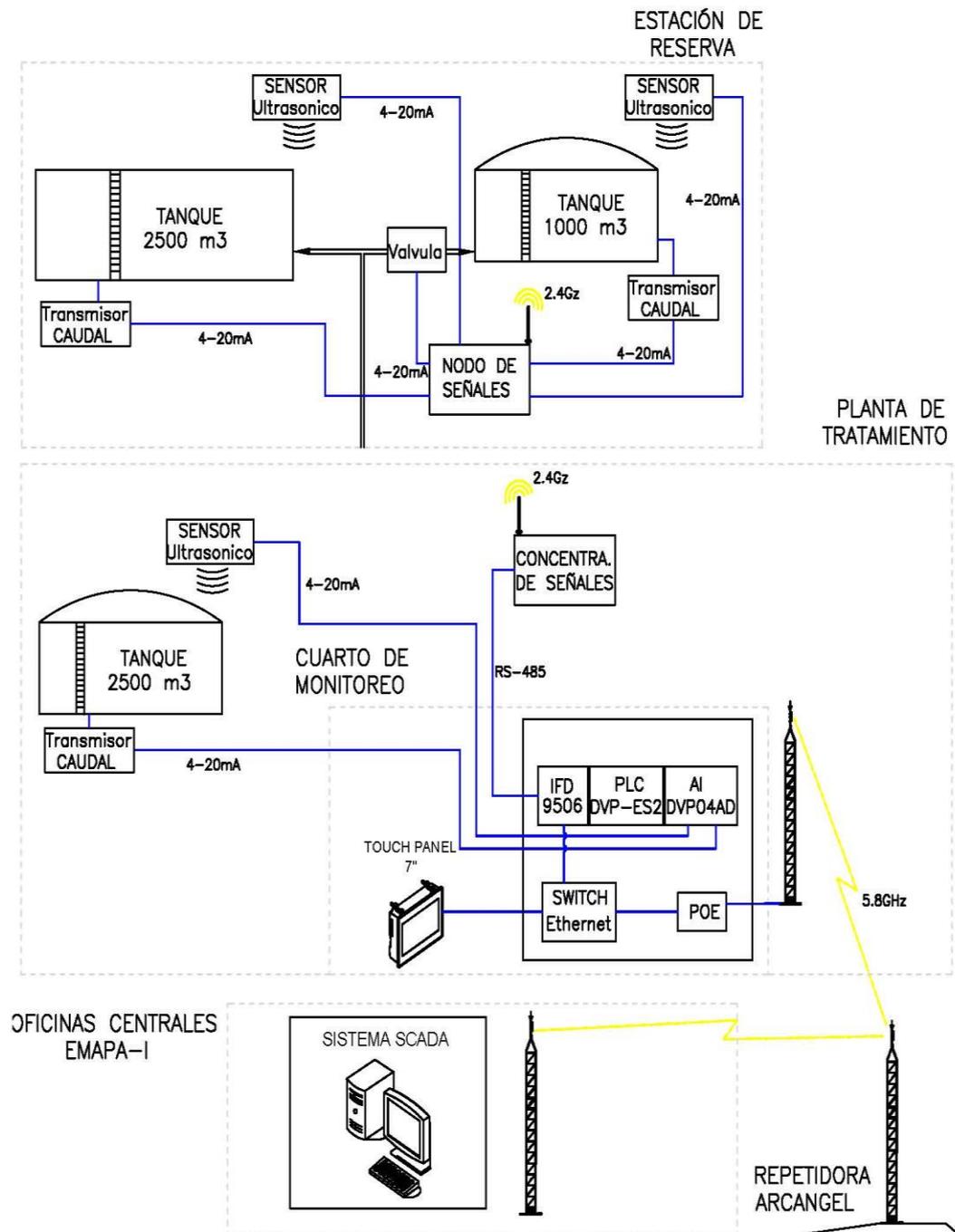


Figura 26. Arquitectura en detalle del sistema

Ver Anexo VI. Arquitectura del sistema de control y monitorización, donde se puede observar de mejor manera el diagrama de arquitectura.

3.2.2 Diagramas unifilares eléctricos de elementos del sistema

En los diagramas unifilares eléctricos se detalla la conexión de los diferentes elementos que conforman el sistema, se visualiza las conexiones de alimentación, señales de entrada, señales de salida, activación, estados y configuración de cada equipo.

- **Sensor de Nivel ultrasónico UM30**

En el diagrama unifilar eléctrico del sensor de nivel se detalla las conexiones de alimentación de 9 a 30 VDC entre el punto L+ y el punto M, además de la señal de salida analógica “QA” que puede ser configurada internamente en el sensor ya sea de 0 a 10VDC o de 4-20 mA, el diagrama unifilar eléctrico para el sensor de nivel UM30 se muestra en la Figura 27.

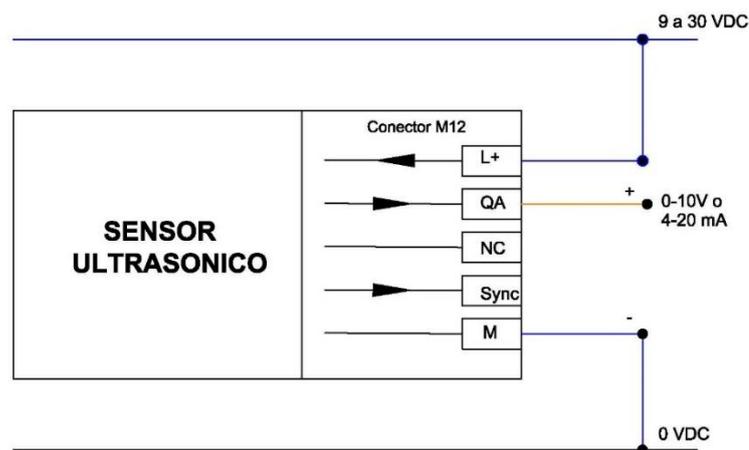


Figura 27. Diagrama unifilar eléctrico del Sensor de Nivel ultrasónico UM-30

- **Sensor de Caudal electromagnético MS2500**

En el diagrama unifilar eléctrico del sensor electromagnético se detalla las conexiones del sensor MS2500 el cual consta de los terminales conformados por las bobinas B1, B2, SH y los electrodos E1, E2, C, SH, como se muestra en la Figura 28, estos terminales se conectan en el bloque de terminales del convertidor ML110 para la adquisición de datos del sensor y el procesamiento del convertidor.

En la Figura 29 se muestra los terminales de conexión del sensor de caudal electromagnético MS2500.

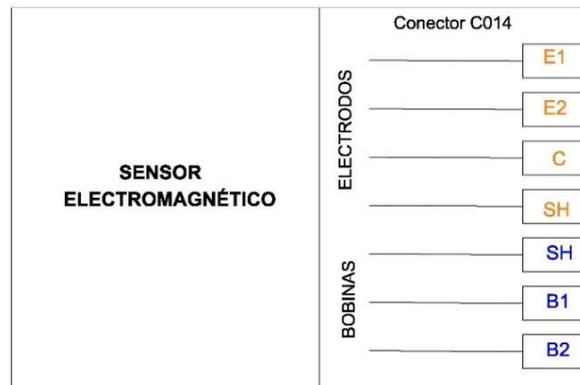


Figura 28. Diagrama unifilar eléctrico del sensor de caudal electromagnético

En el convertidor ML110 se muestra las conexiones de alimentación entre los puntos L+, N- y GND los cuales soportan un voltaje desde 90 a 265 VAC. Para el envío de la señal de medición hacia el PLC el convertidor posee una señal de salida analógica de 4-20mA.

En la Figura 29 se muestra el diagrama unifilar eléctrico del convertidor ML1100 y las conexiones que se usarán en el proyecto.

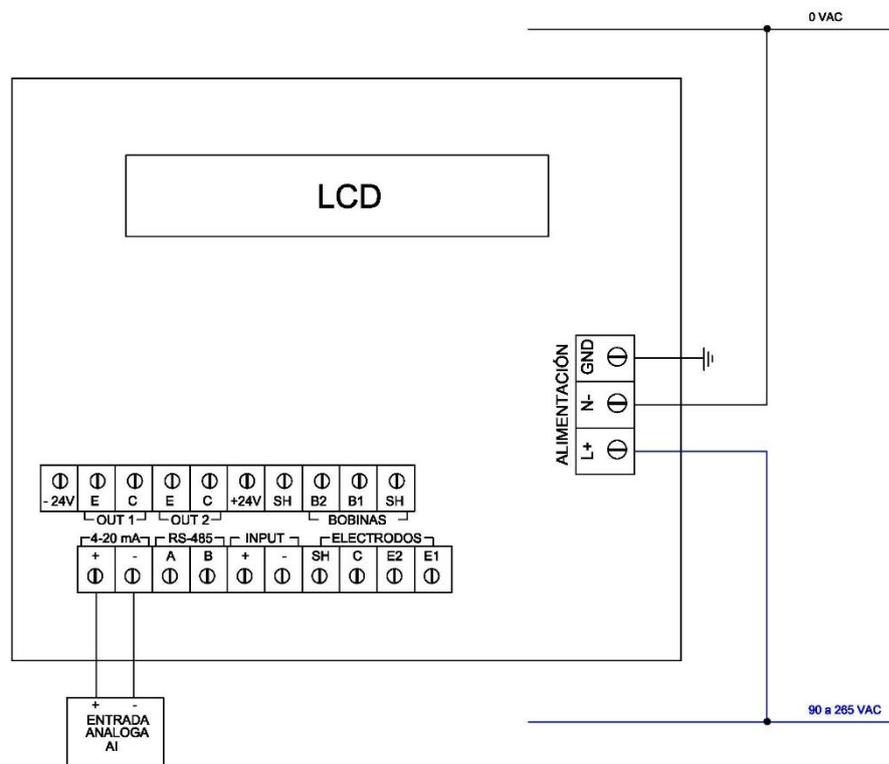


Figura 29. Diagrama unifilar eléctrico del convertidor ML1100

- **Actuador eléctrico UM 6**

En el diagrama unifilar del actuador UM 6 se muestra las conexiones eléctricas en donde el terminal 1 se conecta el Neutro, en el terminal 3 se conecta la Fase para abrir la válvula y el terminal 4 para cerrar la válvula. El actuador posee contactos de confirmación, el terminal 5 indica la posición abierta y el terminal 6 indica la válvula cerrada, además es importante conectar la tierra por seguridad, en la Figura 30 se muestra el diagrama unifilar eléctrico del actuador UM-6 para a válvula de control.

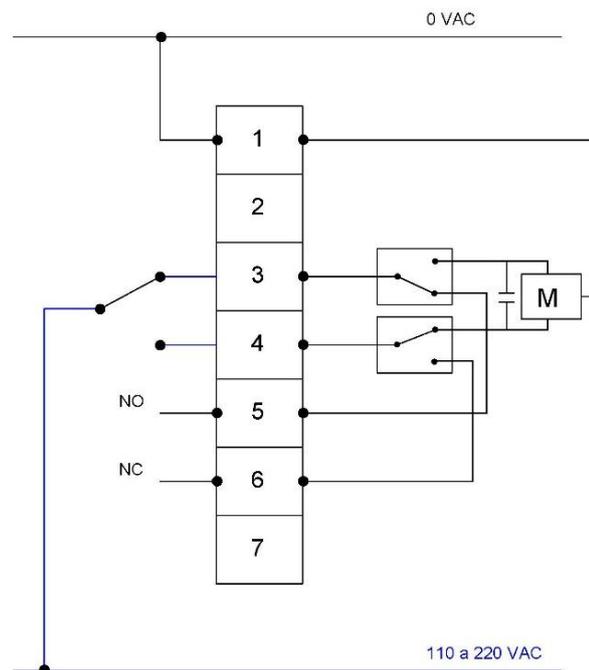


Figura 30. Diagrama unifilar eléctrico del actuador UM-6

- **Nodo Remoto de señales**

En el diagrama unifilar eléctrico del nodo remoto de adquisición de señales se detalla las conexiones de alimentación entre el punto +VIN y el punto GND, este equipo soporta desde 10 hasta 24 VDC.

La señales de entrada analógica para el módulo se las realiza en los puntos AI1-4, a continuación se muestra la conexión de un sensor de 4 – 20 mA compartiendo la fuente con el equipo para sensores pasivos ya sea de nivel o caudal.

Las entradas analógicas están referidas al Terminal GND del equipo, por lo que la fuente que se utilice para alimentar al sensor debe compartir el borne GND con el equipo.

En la Figura 31 se muestra el diagrama eléctrico del nodo remoto de adquisición de señales, específicamente la conexión de una entrada analógica.

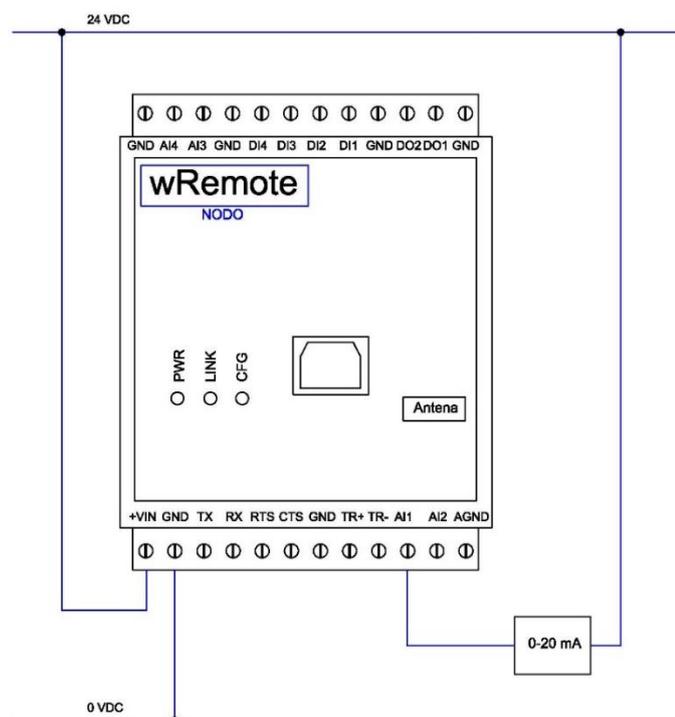


Figura 31. Diagrama eléctrico del Nodo Remoto, señal de entrada analógica

En la figura 32 se muestra el diagrama unifilar eléctrico, específicamente la conexión de una salida analógica ya sea de 0 a 10V o de 4-20mA, las señales de salida analógica para el módulo se las realiza en los puntos AO1-2.

Las salidas analógicas en modo tensión tienen como limitación que la carga que coloquemos no debe ser menor a 500R si deseamos utilizar todo el rango de tensión ya que la salida puede entregar como máximo 20mA.

En este caso la carga máxima que podremos conectar a la salida analógica en modo corriente depende de la tensión de alimentación ya que esta debe ser suficiente para poder entregar hasta 20mA a la carga.

Las salidas analógicas ya sea de tensión o corriente están referidas al Terminal GND del equipo.

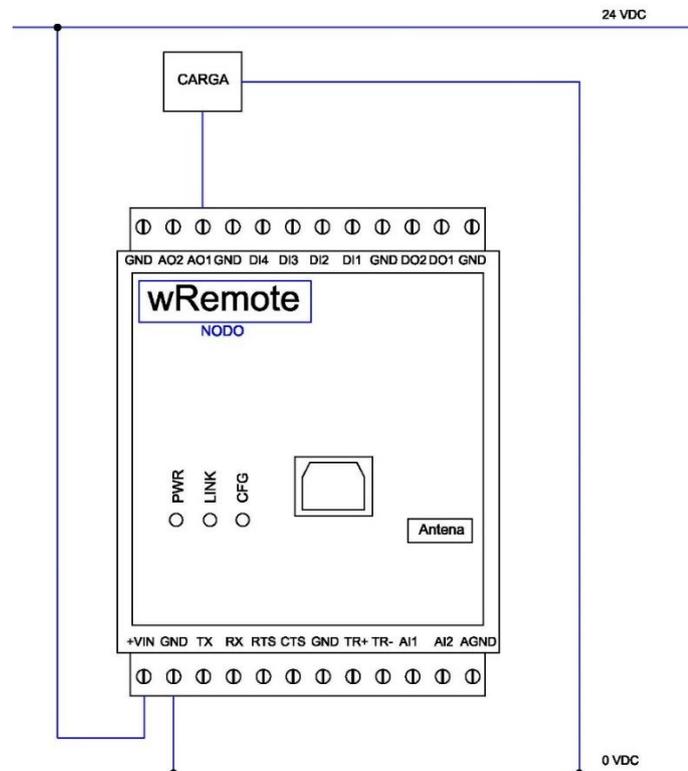


Figura 32. Diagrama eléctrico del Nodo Remoto, señal de salida analógica

- **Concentrador de señales**

En el diagrama unifilar eléctrico del concentrador de señales se detalla las conexiones de alimentación entre el punto +VIN y el punto GND, este equipo soporta desde 10 hasta 30 VDC.

El concentrador de señales posee un protocolo de comunicación tipo Modbus RS-485 a dos hilos en los puntos TR+, TR-, GND, para acceder a las variables transmitidas del nodo remoto, en la Figura 33 se muestra el diagrama eléctrico del concentrador de señales, específicamente la conexión de alimentación y la conexión de dos hilos para la comunicación Modbus RS-485.

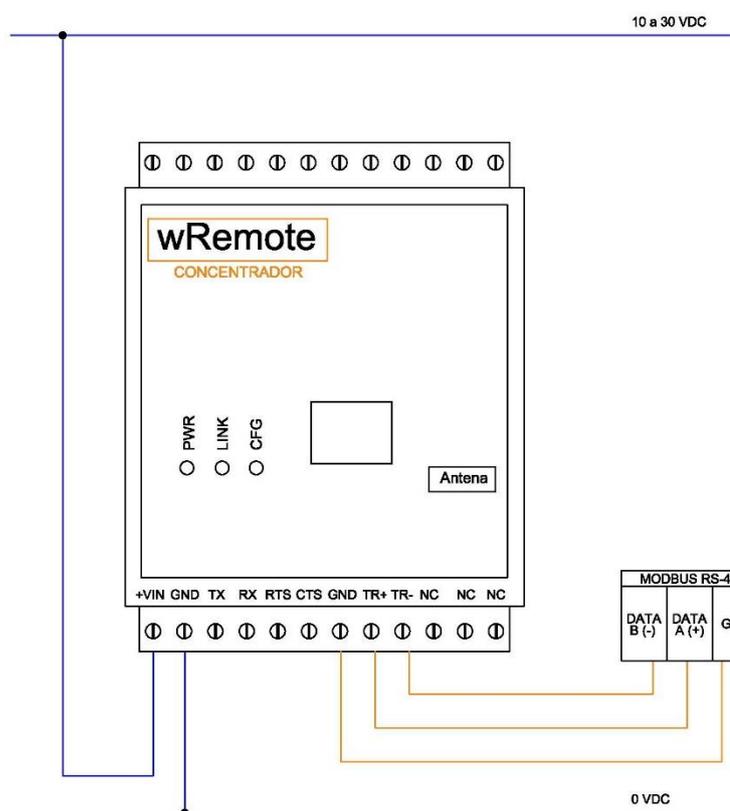


Figura 33. Diagrama eléctrico del concentrador de señales, conexión Modbus

En el Anexo XII. Diagrama unifilar eléctrico de elementos se muestra en detalle el diagrama unifilar eléctrico de cada elemento a montar en la estación de reserva y la planta de tratamiento de lomas de Azaya.

3.2.3 Diagrama P&ID del sistema

En el diagrama P&ID de tuberías e instrumentación se muestra en detalle el flujo del proceso de almacenamiento y distribución de agua potable de Azaya, los elementos, las tuberías y principalmente la instrumentación necesaria en el sistema de control y monitorización basados en la arquitectura diseñada.

En el Anexo IX. Diagrama de instrumentos P&ID se muestra en detalle los instrumentos, elementos existentes y a instalar en la estación de reserva y la planta de tratamiento de lomas de Azaya, además de los elementos que permiten el control del sistema.

3.2.4 Diagrama Eléctrico

Las dos estaciones donde se desarrolla el proceso, estación de reserva y planta de tratamiento cuentan con líneas de alimentación 220VAC/120VAC.

En el diagrama eléctrico se muestra la relación entre los diferentes componentes que forman parte del sistema, lo cual permite ubicar estos componentes dentro de un circuito.

El sistema eléctrico de control permitirá la operación de los equipos y estará en su parte importante compuesto de: interruptores de protección, protecciones de corriente y voltaje adicionales, supresores de transientes, controlador lógico programable PLC provisto de su propia protección de transientes y fuente de poder de 120VAC a 24 VDC, juego de disyuntores, transformador de aislamiento 220-120 VAC.

Un elemento importante dentro del sistema es la UPS (Fuente de alimentación ininterrumpida), este dispositivo permite que los materiales reciban alimentación de una batería de emergencia durante varios minutos en caso de que se produzcan problemas eléctricos o falla del suministro de energía.

En la Figura 34 se muestra el esquema funcional de una fuente de alimentación ininterrumpida.

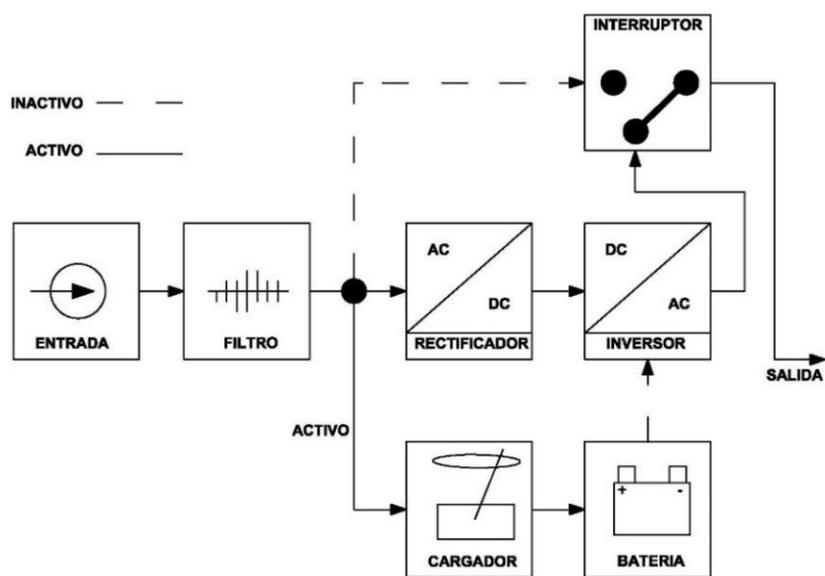


Figura 34. Esquema funcional de una UPS

3.2.4.1 Selección de protecciones eléctricas

En esta sección se detalla el equipamiento de protecciones que se deben incluir en cada estación del sistema, para garantizar la seguridad de los operadores, equipos y la continuidad de servicio.

Para la protección contra sobrecarga y cortocircuito de los circuitos eléctricos se emplea los interruptores termomagnéticos o breakers cuya función básica es la de detectar una condición de fallo e interrumpir el flujo de corriente.

Para alimentar los circuitos de control de conjuntos que dispongan de más de una unidad o dispositivos de mando (relés, temporizadores, etc.), se debe utilizar obligatoriamente un transformador de aislamiento, es decir con bobinados separados. El Transformador para alimentar los circuitos de mando y control se protegerá a la entrada mediante protección contra sobrecargas y cortocircuitos con disyuntores ajustados a la intensidad y características del transformador, la protección del secundario del transformador se realiza mediante protección contra cortocircuitos y en una sola de las fases.

Los supresores de transientes son requeridos en instalaciones donde se utiliza equipo electrónico sensible, este es un equipo destinado a reducir los daños causados por transitorios de sobre voltaje o picos de voltaje que pueden presentarse debido a la conmutación de voltaje, switcheo o conmutación de cargas inductivas provenientes de la red de alimentación o descargas atmosféricas (rayos).

Estos dispositivos se conectan en paralelo con los tableros de carga y cuentan con la capacidad de conducir enormes corrientes asociados a los transientes como picos de voltaje con el fin de conducir hacia el sistema de tierra de la instalación, evitando que se dañen los sistemas electrónicos sensibles.

En la figura 35 se muestra la arquitectura de protección eléctrica empleado para los diferentes sistemas del proyecto.

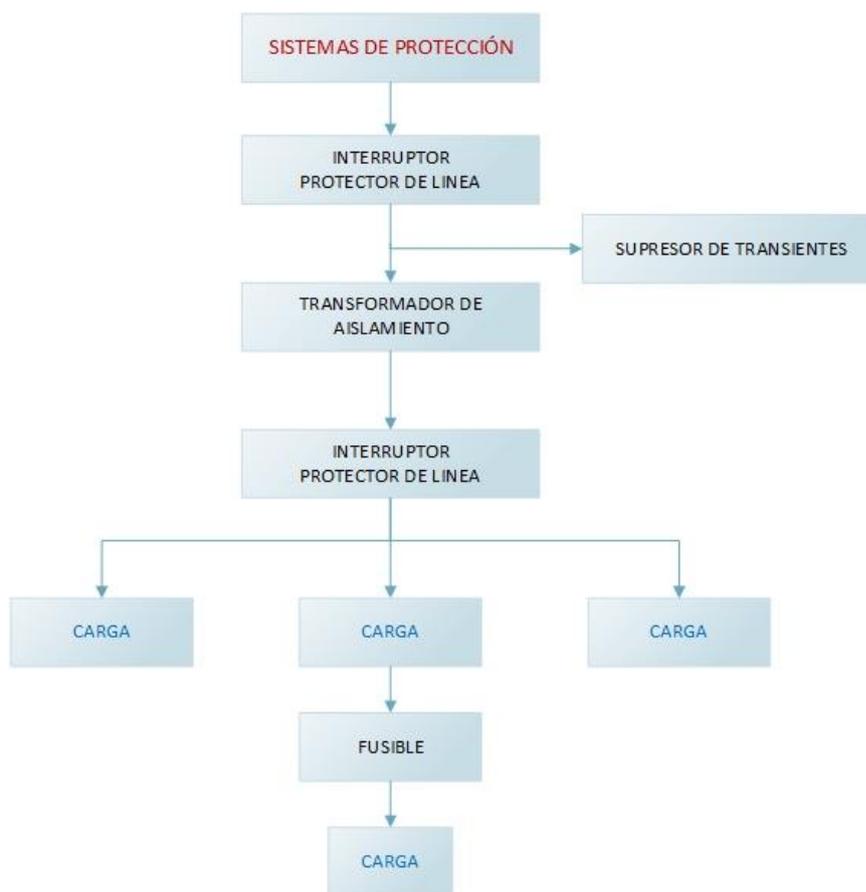


Figura 35. Arquitectura de protecciones eléctricas

En el Anexo XI. Diagrama eléctrico se muestra detalladamente la conexión de los diferentes elementos que forman parte del diseño del sistema, ya sean de protección, maniobra o control.

3.2.5 Configuración de los instrumentos seleccionados

La configuración de los instrumentos se realiza para calibrar cada elemento a fin de que trabajen de la forma más eficiente en base a las condiciones de diseño del sistema. Los principales aspectos que se configuran son el modo de operación propio de cada elemento, la forma de visualización de la información por el usuario, el tipo de salida que se emplea para la adquisición de datos mediante el PLC y modo de comunicación.

- **Sensor de nivel ultrasónico UM30**

El sensor de nivel posee una interfaz de configuración la cual consta de un display de tres símbolos alfanuméricos, dos botones T1 y T2 para la selección de la configuración de los diferentes parámetros y dos indicadores D1 y D2 que muestran los diferentes estados del sensor, para la configuración del sensor se establecen parámetros básicos y parámetros avanzados.

En la Figura 36 se muestra la interfaz de configuración del sensor de nivel de nivel UM30.

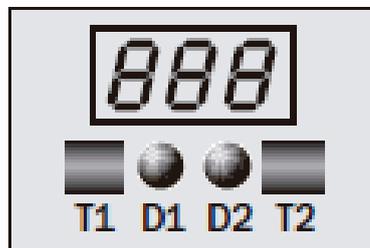


Figura 36. Interfaz de configuración del sensor de nivel UM30

Fuente: (Sick, 2014)

Para la configuración de los parámetros básicos de funcionamiento del sensor ultrasónico se mantiene pulsado por 3s los botones T1 y T2 de la interfaz de configuración hasta que el texto “Pro” se desplaza por el display, luego se establece los rangos de operación del sensor con un valor mínimo de medición de 80mm y un valor máximo de medición de 6000mm, ya que la altura máxima de los tanques de almacenamiento no sobrepasa ese valor, otro parámetro que se elige es el tipo de salida ascendente, es decir la salida analógica del sensor es directamente proporcional a la medición que realiza el sensor ultrasónico, para la navegación de cada parámetro de configuración se pulsa T1 y T2.

En la figura 37 se muestra el procedimiento para la configuración de parámetros básicos del sensor ultrasónico UM30.

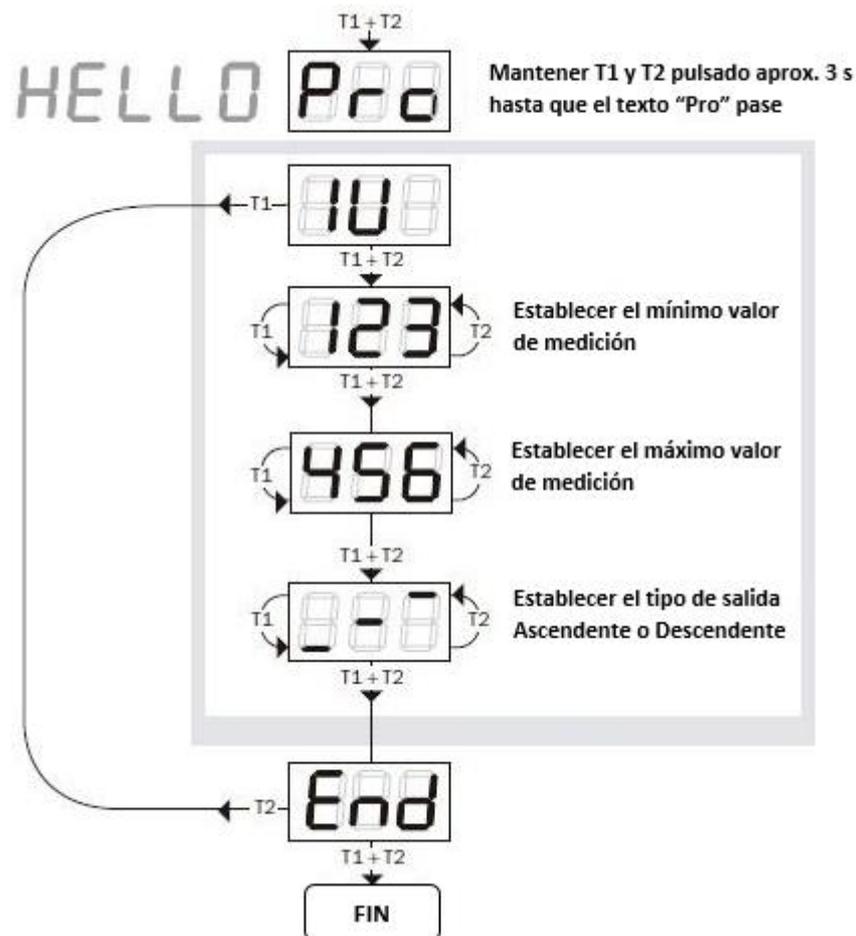


Figura 37. Configuración de parámetros básicos del sensor de nivel

Fuente: (Sick, 2014)

En la configuración avanzada del sensor de nivel ultrasónico se establecen parámetros de desempeño del sensor, para esto en la interfaz de configuración se mantiene pulsado T1 y T2 por 13s hasta que en la pantalla Led aparezca el texto "Add", en la configuración avanzada existen 4 parámetros de importancia .

- Modo ahorro de energía: en esta opción se configura en pantalla atenuada "C02", con el fin de no desgastar la vida útil de la pantalla led del sensor.
- Modo de visualización: se configura en cm.
- Tipo de salida: se configura en una salida de 4-20mA "I".
- Tipo de medición: se configura en la medición del primer plano "F03".

En la Figura 38 se muestra el procedimiento para la configuración avanzada del sensor ultrasónico UM30.

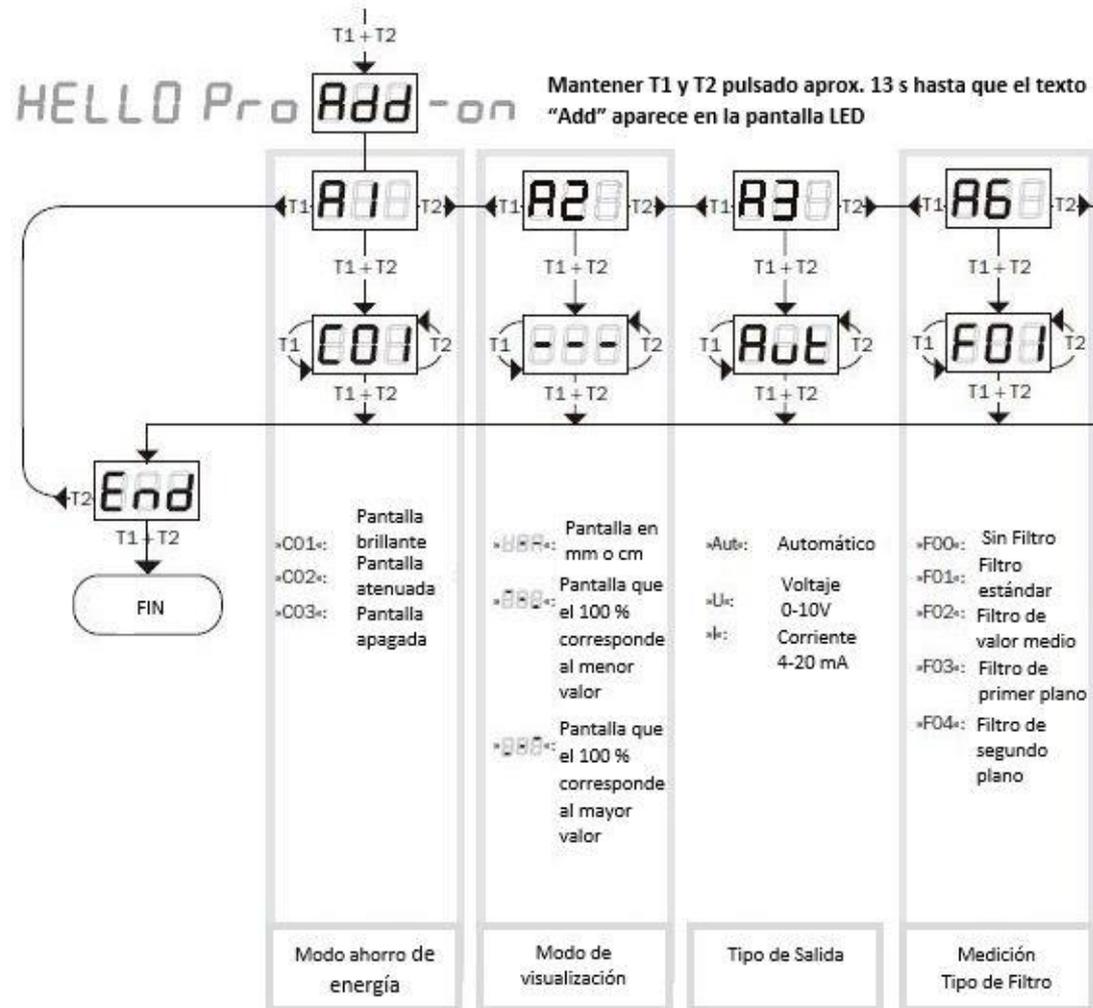


Figura 38. Configuración de parámetros avanzados del sensor de nivel

Fuente: (Sick, 2014)

- **Sensor de caudal**

El sensor de caudal tiene un convertidor que posee una interfaz de configuración la cual consta de un display, tres botones para la configuración y un indicador que muestran diferentes estados del sensor, estas partes son accesible mediante la apertura de la cubierta del convertidor.

El teclado de tres botones se encuentra a la izquierda del bloque de terminales M3, en la Figura 39 se muestra la interfaz de configuración del convertidor ML110 del sensor de caudal MS2500.

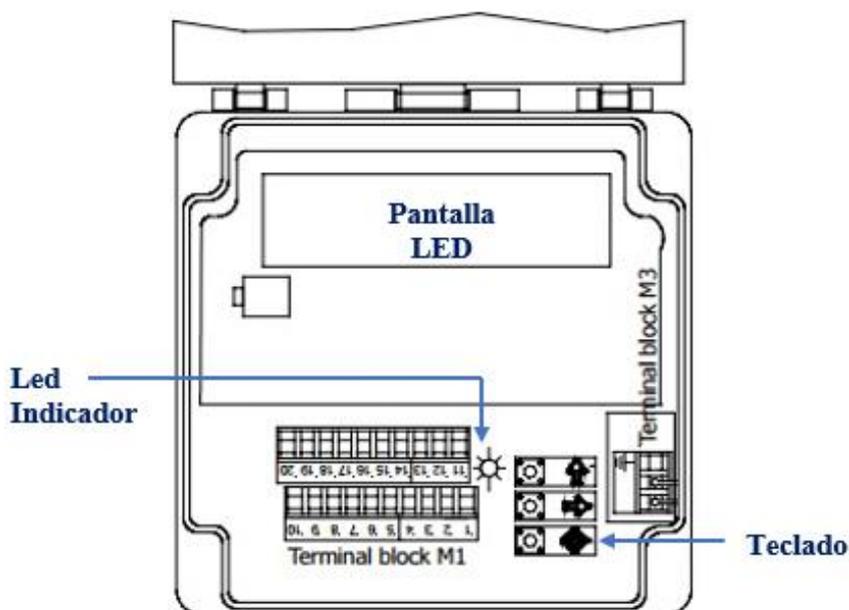


Figura 39. Interfaz de configuración del convertidor ML110

Fuente: (Isoil, 2007)

Existen seis menús de configuración del convertidor, el menú SENSOR donde se configurara parámetros como el diámetro nominal del Sensor, tipo de sensor, parámetros de fábrica, activar la función de detección de tubería vacía, el menú SCALE donde se configura el valor de la escala de trabajo del sensor, en el menú MEASURE se configura la forma de trabajo en la medición del flujo, en el menú ALARM se puede establecer alarmas para valor de caudal máximo, valor de caudal mínimo, valor de salida actual en caso de fallo, en el menú OUTPUT se establece que el tipo de salida del convertidor puede ser por pulsos o salida analógica de 4-20mA y por último en el menú DISPLAY se establece la forma de visualización de los datos en el display del convertidor.

En la Figura 40 se muestra los diferentes parámetros de los menús de configuración del convertidor ML110.

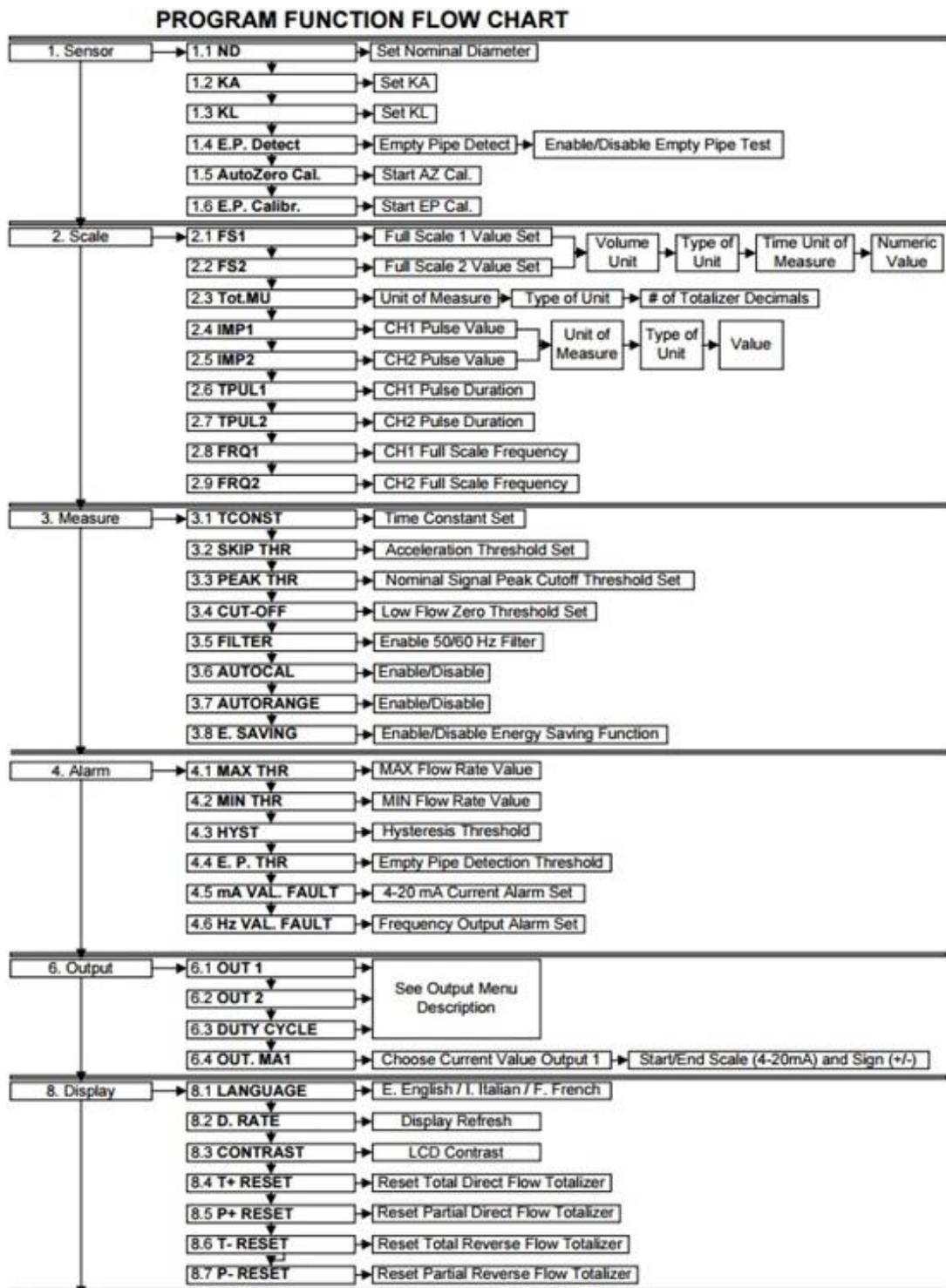


Figura 40. Configuración del convertidor ML110

Fuente: (Isoil, 2007)

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE SOFTWARE

4.1 GENERALIDADES

Para el proyecto se utiliza varios software empleados para la programación de los dispositivos de control y monitoreo y otros software para la configuración de dispositivos de telemetría y comunicación. La lógica del proyecto se alcanza gracias al manejo e integración de las diferentes plataformas de software.

En la Tabla 19 se muestra los diferentes software para la configuración, edición y programación de dispositivos implementados en el proyecto, estas plataformas de software son los encargados de la integración de los diferentes sistemas.

Tabla 19
Software de configuración y programación de dispositivos

| Ítem | Software | Versión | Descripción |
|------|----------------|---------|---|
| 1 | WRemote Config | 1.8 | Configuración de los dispositivos WRemote, Nodo y Concentrador de señales |
| 2 | AirOs | 5.5 | Configuración de las Antenas Ubiquiti, NanoStation M5 |
| 3 | DOPSoft | 1.01 | Programación de pantallas HMI DELTA B0P7E415 |
| 4 | ISPSOft | 2.04 | Programación del PLC DELTA DVP-ES2 |
| 5 | INTOUCH | 10.5 | Programación del sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA |
| 6 | MBENET | 10.5 | Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server |

4.2 SOFTWARE DE CONFIGURACIÓN

4.2.1 Telemetría y control de módulos WRemote

El "wRemote Config" es el programa que se utiliza para configurar los equipos wRemote, este software fue desarrollado de manera que sea fácil de usar y permite configurar y monitorear a los equipos wRemote. El configurador se puede instalar sobre las diferentes plataformas de Windows.

- **Descripción de la interfaz de configuración**

La interfaz de configuración muestra una barra de menú donde se encuentran opciones del proyecto, una herramienta para reconocer dispositivos, leer un dispositivo o escribir en el dispositivo, en el menú de configuración se establecen los diferentes parámetros para establecer la comunicación entre el nodo y el concentrador y la comunicación Modbus, además posee una barra de estado de conexión y una descripción del hardware, en la Figura 41 se muestra la interfaz principal del configurador.

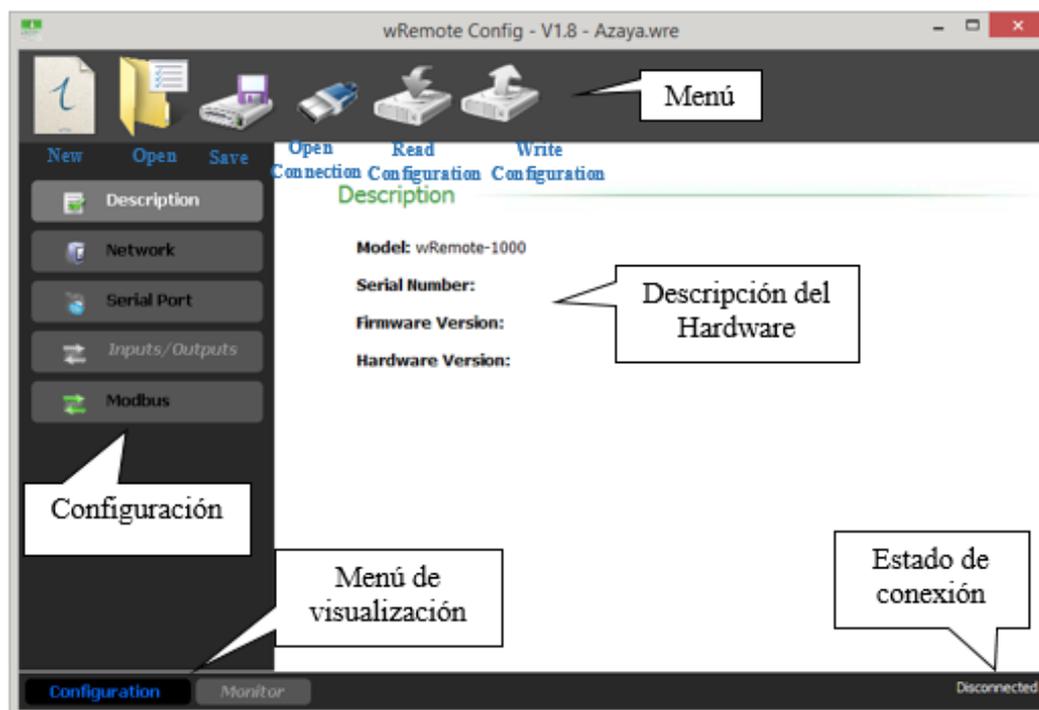


Figura 41. Interfaz principal de wRemote Config

- **Parámetros de configuración**

Dentro del software de configuración existen varios parámetros que se establecen para el funcionamiento de la red de telemetría, en la Figura 42 se muestra el diagrama de configuración del software detallando parámetros que se establecen como: comunicación, tipo de red, dirección de esclavo.

La red de telemetría consta de un dispositivo que realiza la función de maestro como el concentrado de señales y otro dispositivo que tiene la función de esclavo que es el nodo remoto.

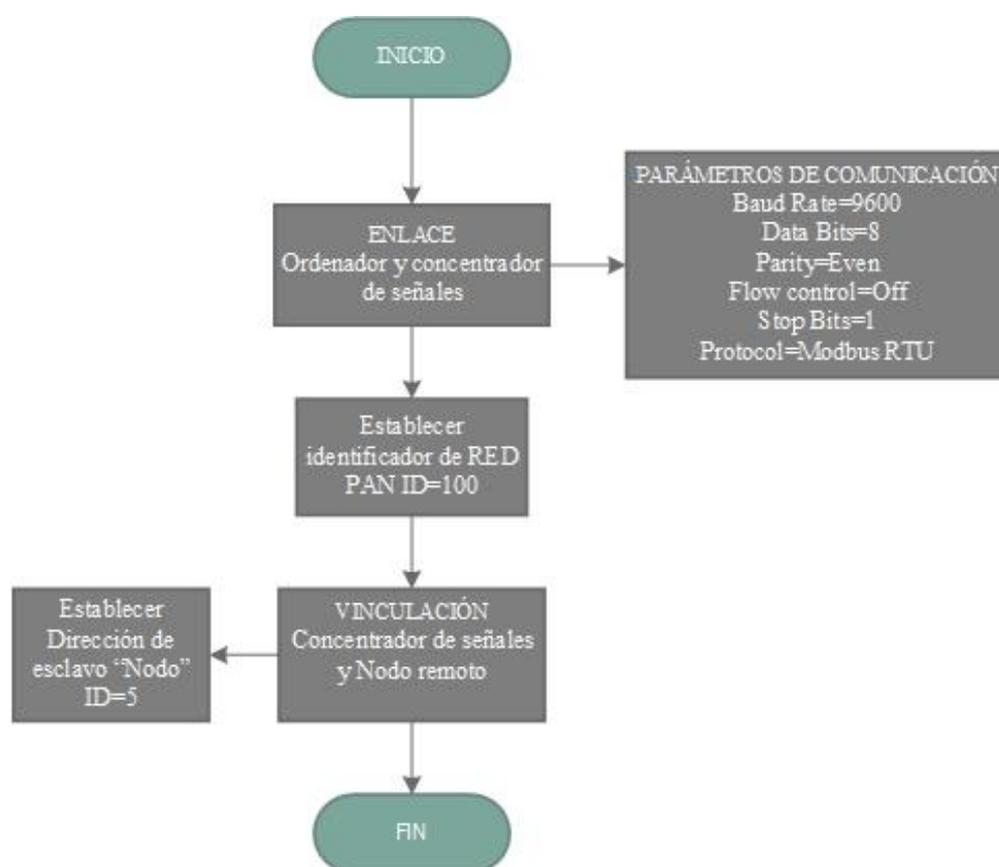


Figura 42. Diagrama de configuración del software wRemote Config

En el Anexo I. Configuración del software WRemote Config, se detalla los parámetros que se establecieron en base al diseño del funcionamiento del sistema de telemetría y adquisición de datos en campo por parte de los equipos.

4.2.2 Sistema de telecomunicación Antena NanoStation M5

Para la configuración de las antenas NanoStation M5 se utiliza el software AirOS. Este software es una tecnología desarrollada por Ubiquiti, es muy versátil, altamente intuitivo. Ofrece una interfaz de usuario para configurar los diferentes parámetros del enlace entre las antenas como, ajuste del ancho espectral, protocolos de comunicación, la canalización Ubiquiti, seguridad del enlace, además de la visualización de los diferentes parámetros del enlace entre las antenas.

- **Descripción de la interfaz de configuración**

La interfaz de configuración posee diferentes pestañas para establecer los diferentes parámetros del enlace de la antena, la pestaña “MAIN” muestra un resumen de la información del estado del enlace, los valores de los parámetros básicos de configuración de la red, el monitoreo de la red de enlace y estadísticas de tráfico.

En la pestaña "WIRELESS" se configura la parte inalámbrica del enlace, los parámetros inalámbricos básicos, incluyendo el modo inalámbrico, la configuración de SSID, el canal y la frecuencia, potencia de salida, el módulo de la velocidad de datos y la seguridad inalámbrica.

Para la configuración del modo de funcionamiento de la red se accede la pestaña “NETWORK” donde se configura el puente o encaminamiento, funcionalidad y configuración de la dirección IP del dispositivo.

En la pestaña "AVANCED" se realiza configuraciones inalámbricas avanzadas, configuración avanzada de Ethernet y LED de señal umbrales.

En la figura 43 se muestra la interfaz de configuración AirOS donde se visualiza las diferentes pestañas de configuración.



Figura 43. Pestañas de configuración de la plataforma AirOS

- **Parámetros de configuración**

Dentro de la plataforma de configuración existen varios parámetros que se establecen para el funcionamiento del sistema de telecomunicación entre la planta de tratamiento y las oficinas centrales de la EMAPA-I, teniendo como enlace la estación repetidora San miguel Arcángel.

En la Tabla 20 se muestra los diferentes parámetros inalámbricos establecidos en la antena de la planta de tratamiento y la antena de la estación repetidora San Miguel Arcángel.

Tabla 20
Configuración inalámbrica básica de las antenas del proyecto

| Parámetro | Descripción | Antena “Planta Tratamiento” | Antena” Estación Repetidora” |
|-------------------------------|--|-----------------------------|------------------------------|
| Wireless Mode | Es el modo inalámbrico del dispositivo, depende de los requisitos de la topología de red. | Access Point | Station |
| WDS (Transparent Bridge Mode) | WDS permite el tráfico transparente de Capa 2 | Enable | Enable |
| SSID | El nombre de la red inalámbrica para identificar la WLAN, los dispositivos que intentan comunicarse entre sí tienen que compartir el mismo SSID. | emapa2 | emapa2 |
| Country Code | Selección del país, cada país tiene sus propias regulaciones de frecuencia bajo la IEEE 802.11 | Ecuador | Ecuador |
| Channel Width | Controla el ancho espectral del canal consumido por el enlace. | 20MHz | 20MHz |
| Frequency, MHz | Frecuencia de trabajo de la antena | Auto | Auto |
| Security | Seguridad de la red inalámbrica | WPA2-AES | WPA2-AES |

En la Tabla 21 se muestra los diferentes parámetros de red establecidos en la antena de la planta de tratamiento y la antena de la estación repetidora San Miguel Arcángel.

Tabla 21
Configuración de la red de las antenas del proyecto

| Parámetro | Descripción | Antena “Planta Tratamiento” | Antena” Estación Repetidora” |
|--------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| Network Mode | Especifica el modo de red del dispositivo, depende de los requisitos de la topología de red. | Bridge | Bridge |
| Configuration Mode | Se establecen parámetros de configuración por default | Simple | Simple |
| IP Address | Dirección IP del dispositivo | 192.168.111.17 | 192.168.111.18 |
| Netmask | Mascara de la red | 255.255.255.0 | 255.255.255.0 |
| Gateway IP | Puerta de enlace de la red, dirección de host | 192.168.111.1 | 192.168.111.1 |

En el Anexo II. Configuración del software AirOS, se detalla el procedimiento para la configuración de los parámetros establecidos en el diseño del sistema de telecomunicación.

4.3 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN

4.3.1 Plc

El paquete de Software utilizado para el desarrollo y programación de la lógica de control para el sistema de almacenamiento y distribución de agua potable de Ayaza, específicamente en el controlador lógico programable DVP-ES2 es el ISPSOft de la compañía Delta Electronics, el software está basado en el sistema operativo de Windows, en la Figura 44 se muestra el software de programación del controlador lógico programable DVP-ES2.

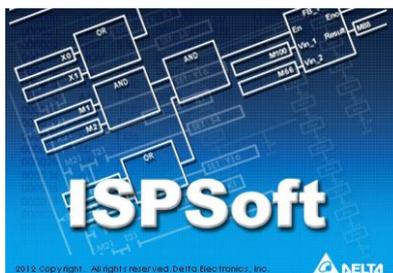


Figura 44. Software de programación del PLC Delta DVP

- **Integración de módulos de comunicación**

El paquete de Software DCI de la compañía Delta Electronics es un complemento del Software ISPSOft, es utilizado para la integración de módulos de comunicación del controlador lógico programable DVP-ES2, el software está basado en el sistema operativo de Windows, permite la configuración del módulo externo de comunicación Ethernet IFD9506, en la Figura 45 se muestra el software de integración de comunicación y dispositivos externos del controlador lógico programable DVP-ES2.



Figura 45. Software de integración de comunicación del PLC delta DVP

En el Anexo III. Programación del software ISPSOft, se detalla el procedimiento para la configuración, edición, establecimiento de parámetros de comunicación y programación del controlador lógico programable en base a diseño del sistema de control.

4.3.2 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo representa gráficamente paso a paso el algoritmo del proceso, además una descripción visual de las actividades implicadas en el proceso, mostrando la relación secuencial entre ellas a fin de tener una rápida comprensión de cada actividad del proceso y su relación con las demás. Las principales actividades

que se detallan son los protocolos de comunicación implementarse en la red, adquisición de datos, lógica de control, envió de datos.

- **Diagrama de Flujo General**

En la Figura 46 se muestra el diagrama de flujo General de actividades implicadas en el proceso, el establecimiento de la comunicación, la adquisición de datos, el control del sistema y almacenamiento de variables para ser utilizados en los diferentes puntos del sistema SCADA., además de la relación secuencial entre las diferentes actividades.

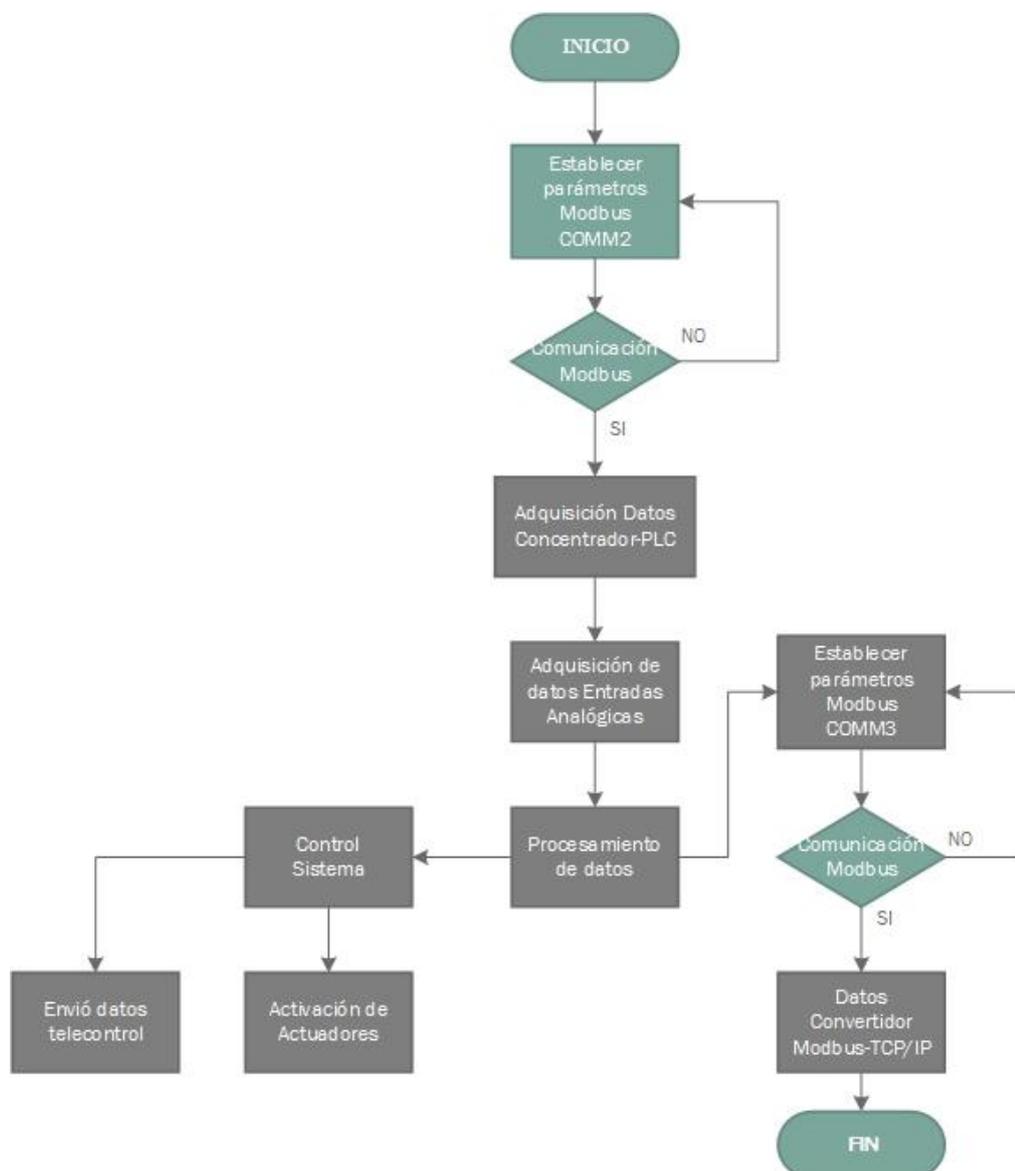


Figura 46. Diagrama de flujo general

- **Diagrama de flujo de comunicación Modbus COMM2**

En la Figura 47 se muestra el diagrama de flujo de la comunicación Modbus, las actividades implicadas en el proceso como establecer los parámetros de la comunicación, tiempos de funcionamiento, características del protocolo de comunicación, además del acceso a los registros del dispositivo esclavo ya sea para leer o escribir sobre ellos, en el diagrama se puede observar la relación secuencial entre las diferentes actividades de la comunicación Modbus.

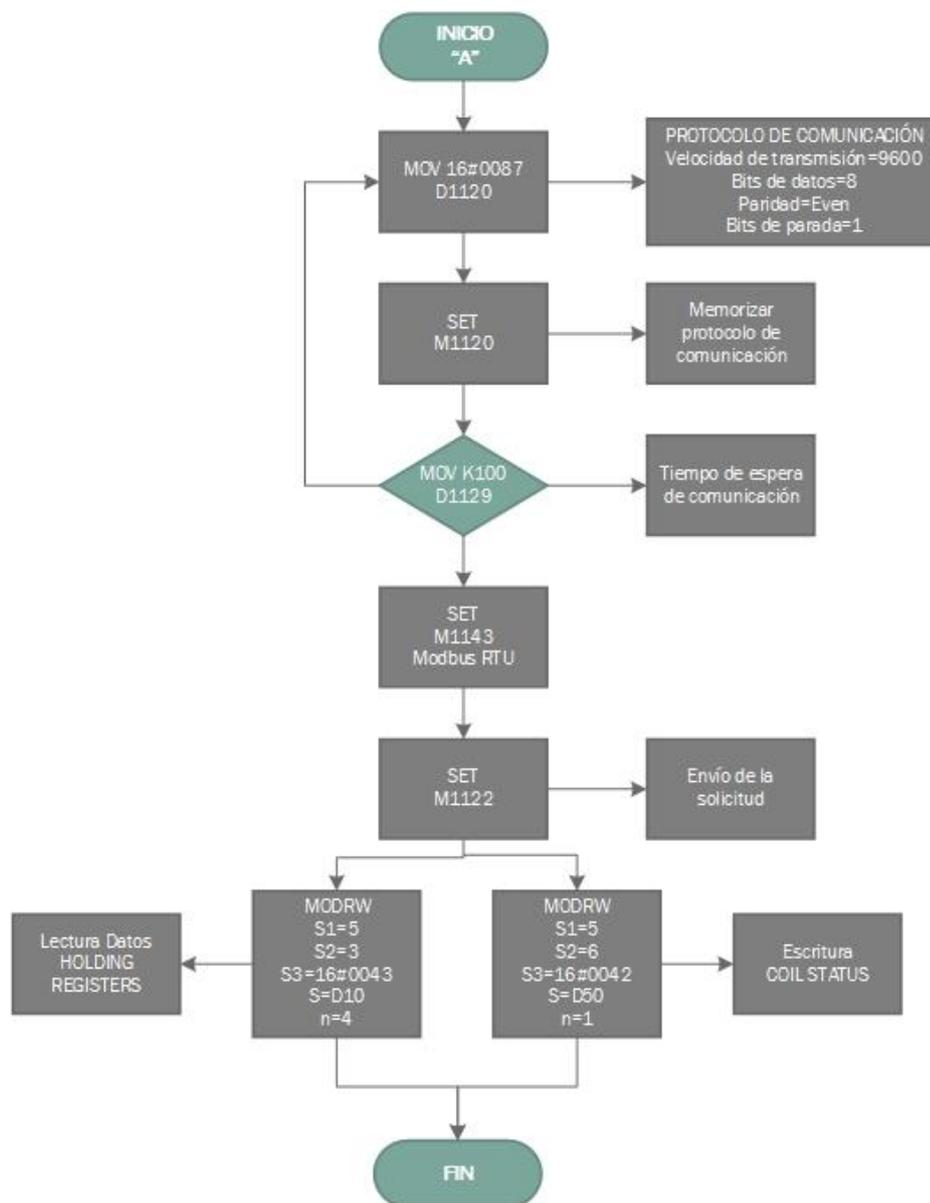


Figura 47. Diagrama de flujo de la comunicación Modbus COMM2

- **Diagrama de flujo de adquisición de datos**

En el diagrama de flujo de la Adquisición de datos se detallan las actividades implicadas en el proceso tanto en la adquisición de datos del PLC hacia el concentrador de señales vía encuestas Modbus, una vez que este establecida y verificada la comunicación Modbus entre estos dos dispositivos y la adquisición de datos de los canales del módulo de entradas analógicas del PLC, en el diagrama se observa la relación secuencial entre las diferentes actividades de adquisición.

En la Figura 48 se muestra el diagrama de flujo de la Adquisición de datos y las diferentes actividades relacionadas al proceso.

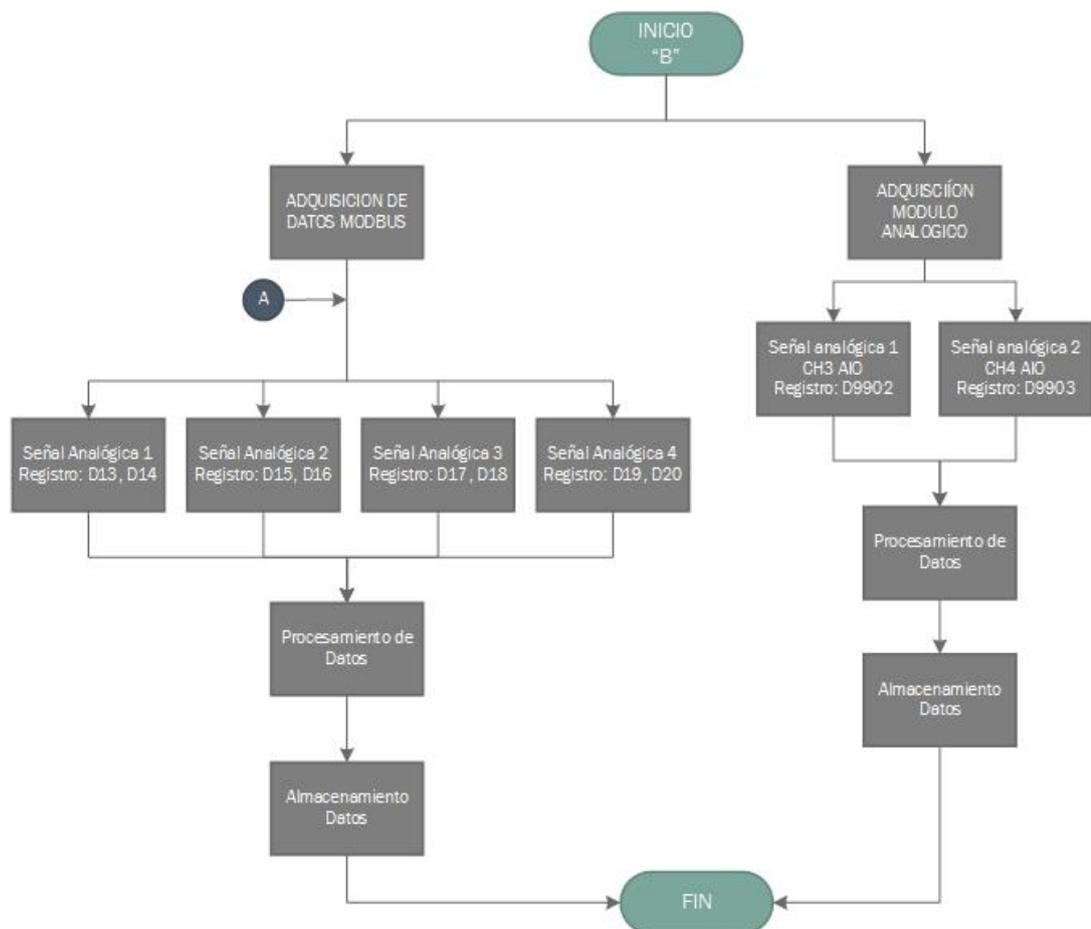


Figura 48. Diagrama de flujo de adquisición de datos

- **Diagrama de flujo de control**

En el diagrama de flujo de control se detallan las actividades implicadas en la lógica de control del sistema, partiendo de la adquisición de datos del proceso de manera continua como es el nivel de los tanques de almacenamiento de las estación de reserva y el estado de la válvula de control, dependiendo de las condiciones de funcionamiento se aplica un control simple ON-OFF con ventana de histéresis, los actuadores del sistema en este caso es la válvula de control y el sistema de bombeo.

En la Figura 49 se muestra el diagrama de flujo de control y las diferentes actividades relacionadas a la lógica de control.

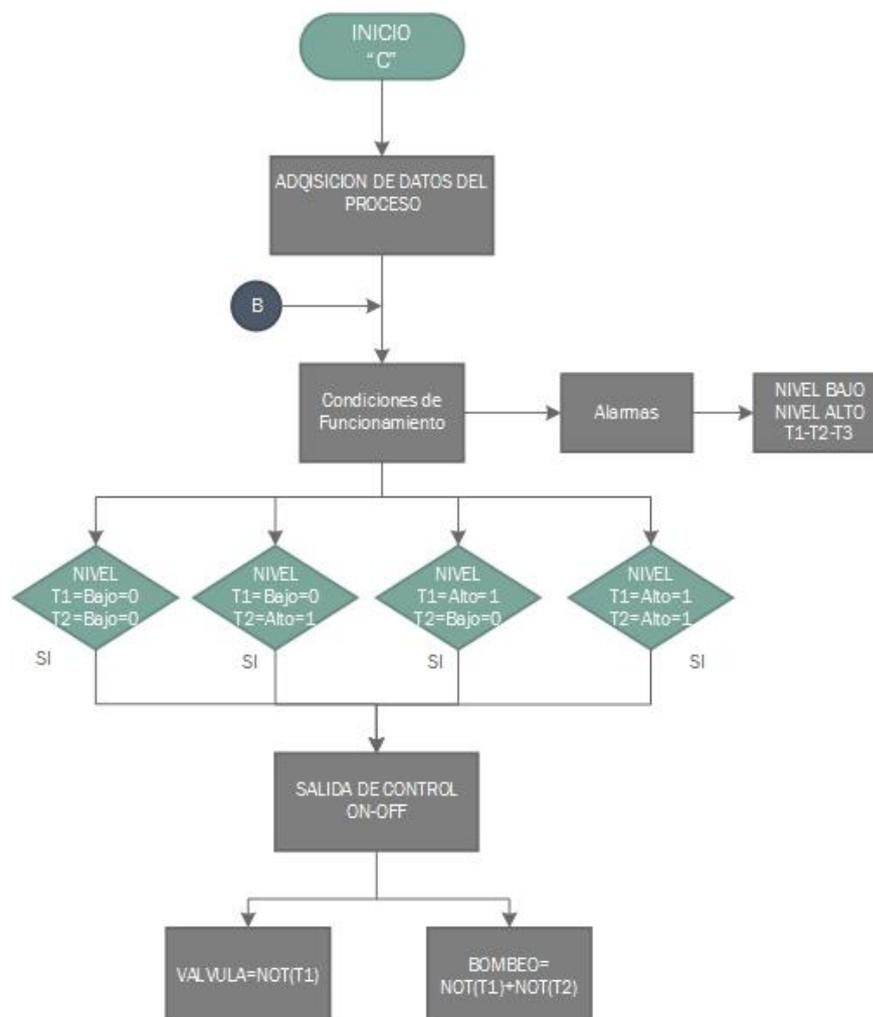


Figura 49. Diagrama de flujo de control

4.3.3 Descripción del programa

El programa se realiza en el lenguaje Ladder, usando los bloques y funciones para la programación de los diferentes procesos del programa.

Para empezar se establecen los parámetros del protocolo de comunicación Modbus RTU en el puerto de comunicación COMM 2 del controlador lógico programable, este puerto realiza la adquisición de datos de las variables enviadas de campo por el nodo y almacenadas en el concentrador de señales, además el puerto COMM 2 se establece como master para acceder a los registros del concentrador y poder leer y escribir en ellos, en la Tabla 22 se muestra los diferentes parámetros que se configura de acuerdo al diagrama de flujo de la comunicación Modbus del puerto COM2.

Tabla 22
Banderas y registros D especiales del puerto COM2 / COM3

| Función | Descripción de la Función | Registro | |
|----------------------------|--|----------|-------|
| | | COM2 | COM3 |
| Ajuste de protocolo | Conservar configuración de la comunicación | M1120 | M1136 |
| | Selección de modo ASCII / RTU | M1143 | M1320 |
| | Protocolo de comunicación | D1120 | D1109 |
| | Dirección de comunicación del PLC | D1121 | D1255 |
| Envío de solicitud | Envío de solicitud | M1122 | M1316 |
| | Ajuste de tiempo de espera de la Comunicación (ms) | D1129 | D1252 |
| Recepción completa | Recepción de datos completada | M1127 | M1318 |

El puerto de comunicación COM3 es el enlace entre el PLC y el convertidor IDF9506 por lo cual se configura como esclavo, se traslada de una comunicación Modbus RTU a la comunicación TCP/IP Ethernet con el fin de que las variables estén en el puerto de enlace para poder acceder a ellas desde cualquier punto del sistema SCADA.

Para leer o escribir en los registros del concentrador se utiliza el bloque “MODRW” el cual es muy importante dentro del proceso ya que adquiere los datos de los sensores que se encuentran en la estación de reserva que son recolectados por

el nodo y enviados y almacenados en el concentrador. En el bloque se establece parámetros como, el número del esclavo ID=5 que es el concentrador, la función se 3 para leer o 6 para escribir, la dirección del registro, el dato donde se almacena y el número de registros a leer o escribir.

El sensor de nivel está configurado para medir el primer plano, en este caso el espejo de agua, para obtener el nivel total de tanque en el PLC se realiza el procesamiento de estas variables, donde D1 representa la medida del sensor de nivel, D2 es la altura total desde la base del sensor hasta la base del tanque de almacenamiento y DT es la altura del agua del tanque de almacenamiento.

En la figura 50 se muestra la ecuación para el cálculo del nivel del tanque y la relación de las diferentes medidas empleadas en la lógica del programa, además se visualiza las diferentes medidas usadas.

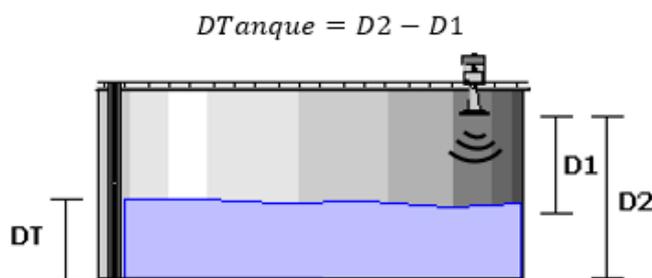


Figura 50. Medición del nivel del tanque

Para la lógica de control se implementa un control ON/OFF con ventana de histéresis, este tipo de control es el más apropiado para esta aplicación. Se utiliza como entradas para el control las variables del nivel de los tanques de almacenamiento de la estación de reserva y la salida del control es la válvula de control que direcciona el flujo de agua a almacenar y el sistema de bombeo que envía el agua hacia los tanques de la estación de reserva.

En la Tabla 23 se muestra la matriz causa efecto de las variables que intervienen en el proceso, donde como entradas están los estados de los diferentes tanques de almacenamiento y como causa la activación de los actuadores del sistema la válvula de control y es sistema de bombeo.

Tabla 23
Matriz causa efecto de las variables del proceso

| VARIABLE | EFECTO | On | Off | Open | Close |
|---------------|--------|--------|-----|---------|-------|
| | | Bombeo | | Válvula | |
| Tanque 1000m3 | Alto | | X | | X |
| | Bajo | X | | X | |
| Tanque 2500m3 | Alto | | X | | |
| | Bajo | X | | X | |

Para obtener la salida del sistema y simplificar las funciones que intervienen se realiza la tabla con los diferentes estados de las variables de entrada y las condiciones de salida.

En la Tabla 24 se muestra los diferentes estados tanto de la entrada y la salida del sistema de control.

Tabla 24
Tabla de estados del sistema

| Entradas | | Salidas | |
|----------|----|---------|---|
| T1 | T2 | V | B |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |

Para la Válvula de control se reduce y simplifica la función de condiciones y se obtiene que la función que cumple las condiciones de entrada es el la variable T1 (estado del tanque de 1000m3) negada.

En la Figura 51 se muestra la salida de la válvula de control en donde se muestra que es la entrada de T1 negada.

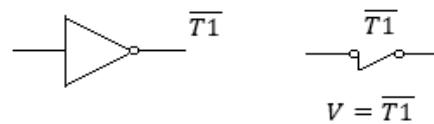


Figura 51. Salida de la Válvula de control

De igual manera para la salida del sistema de bombeo se reduce la función y se obtiene que la salida cumple las condiciones es la compuerta lógica NAND entre T1 y T2, como se muestra en la Figura 52.

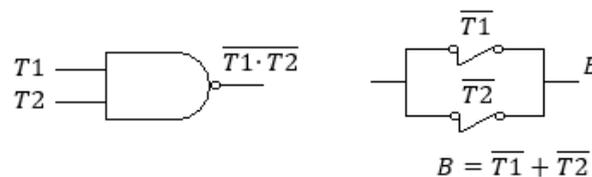


Figura 52. Salida sistema de bombeo

En el Anexo XIV. Programa del controlador lógico programable de muestra en detalle los diferentes bloques y funciones lógicas utilizadas para la programación del controlador, el lenguaje que se emplea es el Ladder.

4.4 DISEÑO DE PANTALLAS HMI

4.4.1 Requerimiento interfaz HMI

El diseño de pantallas de interfaz para supervisión y monitoreo del sistema de almacenamiento y distribución de agua potable está enfocado en los parámetros y consideraciones de la Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión, GEDIS la cual ha sido enfocada a ambientes industriales con salas de supervisión computarizadas y centralizadas, el diseño consiste en la especificación de los principales elementos de la interfaz tales como la arquitectura, la navegación los estándares de colores, fuentes y simbología.

En la Figura 53 se muestra el diseño de la interfaz HMI basado en la Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión.



Figura 53. Diseño de una interfaz HMI

4.4.1.1 Arquitectura

Para iniciar con el proceso de desarrollo del diseño del sistema de supervisión y monitoreo del sistema de almacenamiento y distribución de agua potable se establece las diferentes pantallas con las que contará la interfaz HMI, la arquitectura está basada en el área y sub áreas del proceso, como son las pantalla de la estación de reserva, pantalla de la planta de tratamiento en donde se visualizará el estado de las diferentes variables del proceso, así como también pantallas de comandos que permiten al operador realizar acciones generales tales como el arranque/paro de equipos y selecciones diversas, pantallas de tendencias, donde se muestran las valores de las variables más importantes del proceso en tiempo real y pantallas de alarmas.

4.4.1.2 Navegación

Entre las pantallas realizadas debe existir una navegación que sea intuitiva, una navegación para facilitar el paso entre diferentes áreas de la estación de reserva y la planta de tratamiento sin requerir de muchos pasos intermedios, es decir una interfaz fácil de usar. En la distribución de pantalla se diseñara un espacio para proporcionar al operador la posibilidad de desplazarse por las diferentes pantallas dentro del mapa de navegación.

4.4.1.3 Distribución

En este paso se desarrolla las plantillas para la generación de las interfaz HMI, la ubicación de cada elemento dentro de la pantalla a fin de diseñar una plantilla general para cada tipo de pantalla, los puntos más importantes son los siguientes:

- Ubicación del título de la pantalla, hora, fecha y logotipo de la empresa.
- Ubicación del menú de navegación
- Ubicación de las alarmas del proceso
- Ubicación del mímico del área o sub área

Las reglas a seguir en la ubicación de los elementos de la pantalla es considerar que la información más importante debe ir en la parte superior de la pantalla, el centro de la pantalla es también un lugar de alta visibilidad, la información menos importante debe ir abajo a la izquierda, al desarrollar los sinópticos del proceso se debe controlar que la densidad de los gráficos no debe sobrepasar del 50% además la simetría del gráfico debe ser también considerada, de manera que la carga de elementos en los sinópticos este balanceada en toda la pantalla, las funciones e información críticas deben tener un lugar fijo en la pantalla.

4.4.1.4 Color y Fuente

Estas características son los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces HMI, su uso adecuado es determinante para la generación de un excelente diseño de interfaz.

En esta fase se deben definir los siguientes estándares referidos al color con el fin de obtener un estándar de colores de los elementos (estatus de equipos, fondo de pantalla, materiales y fluidos, alarmas, texto y valores numéricos).

- Color para representar el estatus de los equipos de la planta (marcha, paro, falla, manual, etc.)
- Color de los principales materiales y fluidos del proceso (agua, aire, gases, materias primas, productos terminados, etc.)
- Color de las alarmas (críticas, advertencias, mensajes, etc.)
- Color del texto en general (Títulos, etiquetas, etc.)
- Colores del fondo de la pantalla (general, de detalle, etc.)
- Color de valores de proceso (presiones, niveles, etc.)

La información del proceso es presentada al usuario por medio de texto, es importante estandarizar este elemento para informar eficazmente al operador los diferentes estados del proceso, entre las características del texto que se establece son las siguientes: el uso de fuentes, el tamaño del texto, la alineación, el espaciamiento, los acrónimos y las abreviaturas.

4.5 INTERFAZ DEL TERMINAL DE OPERADOR

4.5.1 Diseño del HMI del terminal de operador

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) debe poseer un entorno amigable con el usuario de manera que permita visualizar las variables y el estado de los sistemas en tiempo real, sin necesidad de ir al sitio para realizar la lectura de las mismas. Asimismo se puede accionar remotamente los diferentes dispositivos instalados en las estaciones.

4.5.1.1 Arquitectura

Se detalla las pantallas que forman parte del diseño del HMI, en la Figura 54 se muestra las diferentes pantallas.

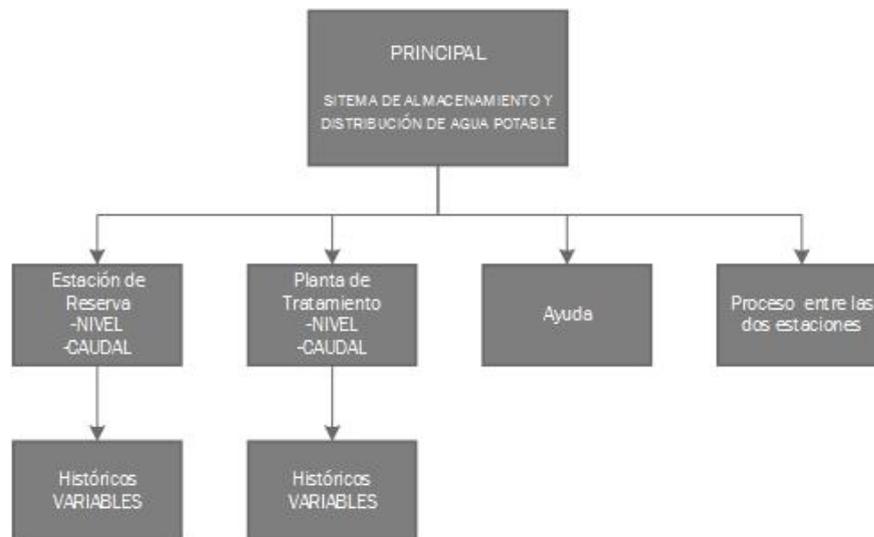


Figura 54. Arquitectura del terminal de operador

- Principal: En esta pantalla se presenta un mímico de la estación de reserva y la planta de tratamiento, además de una barra de navegación para acceder a las diferentes pantallas.
- Estación de reserva: En esta pantalla de muestra los elementos que conforman la estación de reserva en especial los dos tanques de almacenamiento con las variables que van a ser monitoreadas el nivel de cada tanque y la salida de caudal.
- Planta de tratamiento: En esta pantalla de presenta el tanque de almacenamiento con la monitorización del nivel y el caudal de salida.
- Proceso: En esta pantalla de presenta todas las partes que conforman el sistema de control y los estados de cada uno de los elementos tanto de la planta de tratamiento como de la estación de reserva.
- Históricos: En esta pantalla de presenta un diagrama del estado de las variable que se están monitoreando, a fin de que el operador pueda observar el comportamiento de las variable en el tiempo.
- Ayuda: Presenta al operador un manual de navegación y explicación de cada elemento y variable implementada en el proceso.

4.5.1.2 Plantilla de las pantallas

En esta sección se presenta las diferentes plantillas de cada interfaz a desarrollar, donde se especifica la distribución y ubicación de cada elemento presentes en el diseño, las plantillas desarrolladas son la pantalla principal, de proceso, históricos y de ayuda que se muestra en la Figuras 55, Figura 56, Figura 57 y Figura 58 respectivamente.

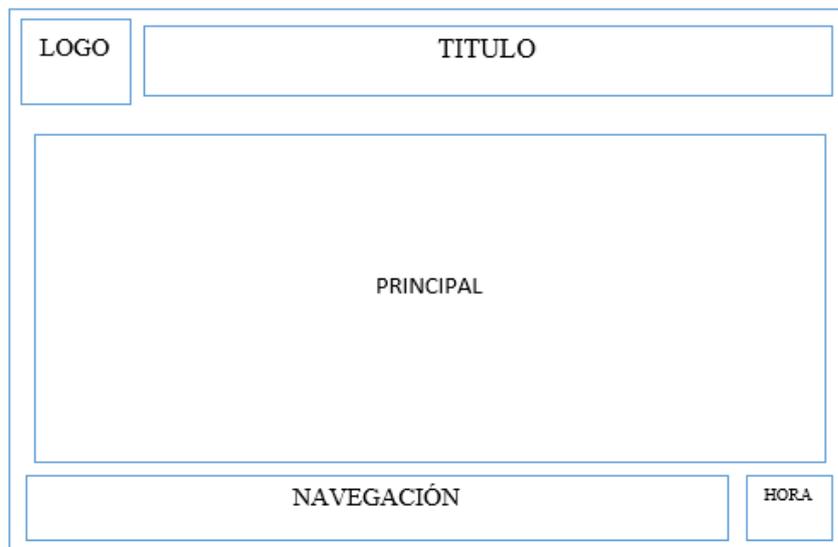


Figura 55. Distribución de la Pantalla principal del HMI

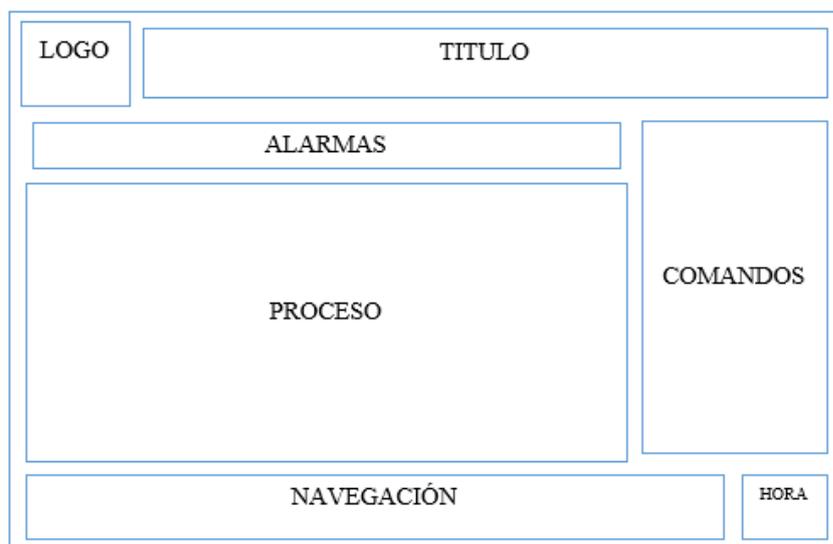


Figura 56. Distribución de la pantalla de proceso del HMI

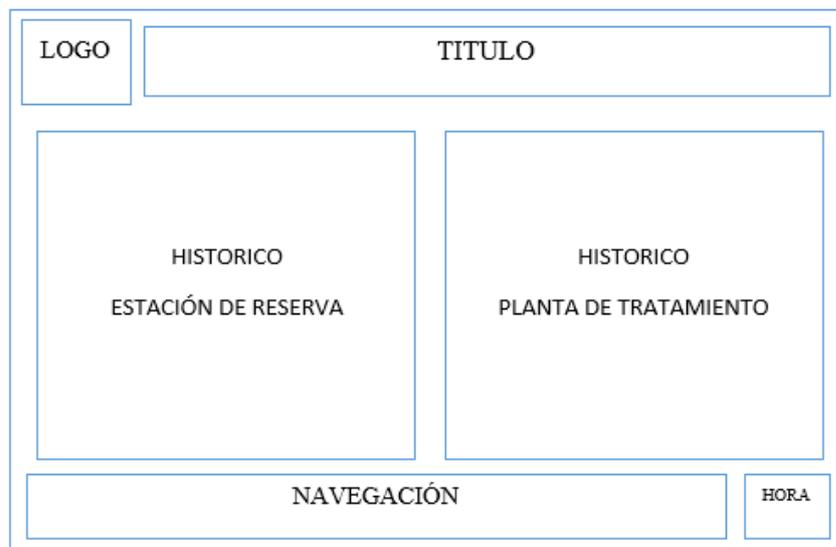


Figura 57. Distribución de la Pantalla de históricos del HMI

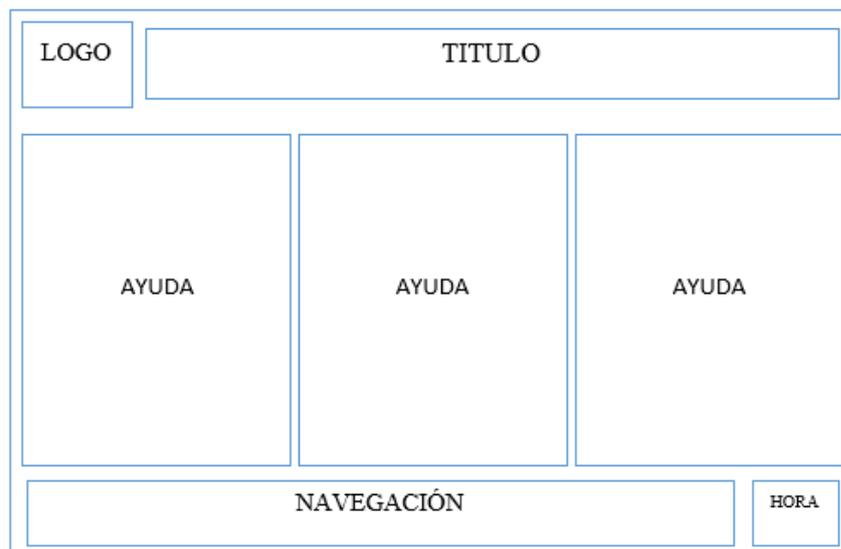


Figura 58. Distribución de la pantalla de Ayuda del HMI

- **Dimensión y características de elementos de las pantallas**

Forman parte del diseño de la interfaz HMI, estas características son los elementos más importantes dentro del contexto de las interfaces HMI, a continuación se presenta los estándares referidos a las dimensiones de cada elemento, texto, forma y colores de los elementos.

En la Tabla 25 se muestra las dimensiones de los diferentes elementos que forman parte de las pantallas del HMI, las ventanas que conforman la pantalla como la ventana general, ventana de título, ventana del proceso, ventana de navegación y los demás elementos como logo, indicadores y botones de navegación.

Tabla 25
Dimensión de los elementos del interfaz HMI del panel de operador

| Elemento | Tamaño | |
|------------------------|------------|-----------|
| | Ancho [px] | Alto [px] |
| Ventana imagen general | 850 | 560 |
| Ventana del titulo | 782 | 101 |
| Ventana de Proceso | 370 | 399 |
| Ventana de navegación | 688 | 72 |
| Logo | 136 | 82 |
| Indicadores | 98 | 46 |
| Botones de navegación | 142 | 44 |

Para el texto se define el tipo de letra Arial de tamaño 20 para el principal y tamaño 16 para el texto secundario, como se muestra en la Figura 59.

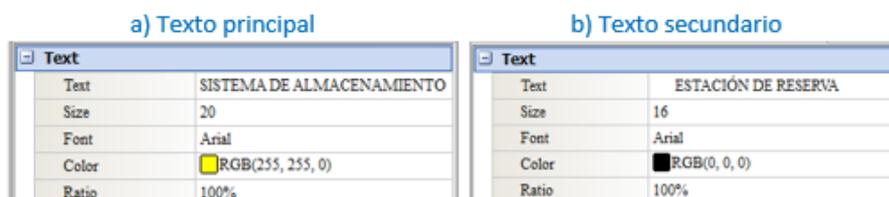


Figura 59. Características del texto de la interfaz HMI

Para el Fondo de la pantalla se define un color de acuerdo a los parámetros y consideraciones de la Guía Ergonómica de Diseño de Interfaces de Supervisión, a fin de que la interfaz sea agradable para la visualización del proceso, se define un fondo de color RGB (150, 150,150), como se muestra en la Figura 60.

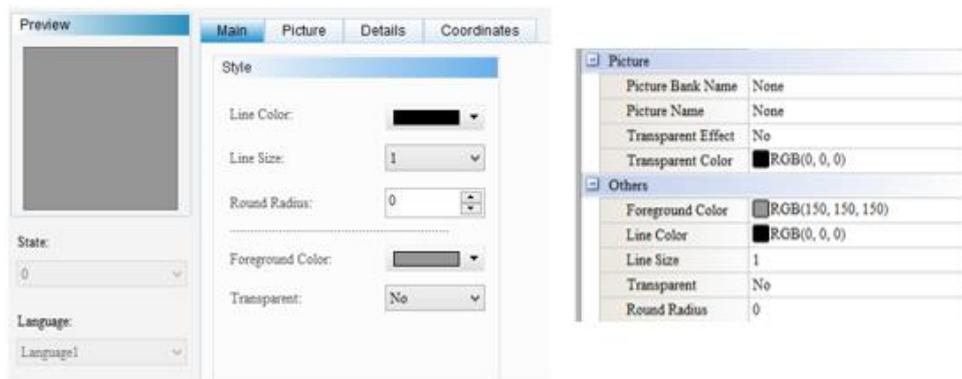


Figura 60. Características del Fondo de la Pantalla HMI

4.5.2 Descripción de la interfaz de edición y programación del Panel

El paquete de Software utilizado para el desarrollo, edición y programación de la interfaz HMI en la pantalla DOP-B es el DOPSoft de la compañía Delta Electronics, el software está basado en el sistema operativo de Windows, con DOPSoft permite editar y crear rápidamente imágenes y gráficos y establecer el protocolo de comunicación adecuado al diseño del sistema, en la Figura 61 se muestra el software de programación de la interfaz para las pantallas táctiles Delta.

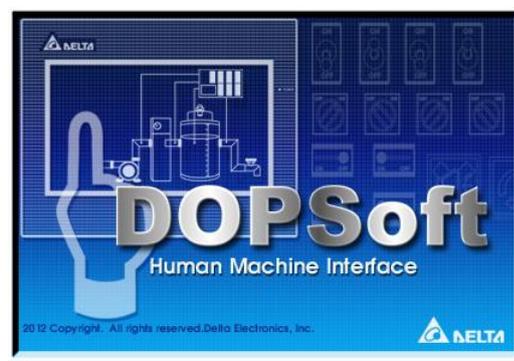


Figura 61. Software de programación de la pantalla Delta DOP-B series

En el Anexo IV. Edición y programación del software DOPSoft, se detalla el procedimiento para la configuración, edición, establecimiento de protocolos de comunicación del panel de operador en base al diseño del sistema de monitorización del proceso.

4.5.3 Definición de variables

En la Tabla 26 se muestra las diferentes variables que pertenecen al enlace “AZAYA” dentro de la comunicación del panel HMI y el controlador, es decir son variables extraídas del PLC.

Las variables externas provienen de los registros del controlador lógico programable, estas variables representan los niveles de los tanques adquiridas ya sea de la estación de reserva o de la planta de tratamiento, la lectura del sensor de caudal a la salida de los diferentes tanques y el estado de la válvula de control.

Tabla 26
Lista de Variables del panel de operador

| Tags | Tipo | Dirección PLC | Descripción |
|----------------------|-------------|----------------------|---|
| Nivel_1000_ER | Word | D1 | Nivel del tanque de la estación de reserva de 1000m3 |
| Nivel_2500_ER | Word | D2 | Nivel del tanque de la estación de reserva de 2500m3 |
| Caudal_T1_ER | Word | D3 | Caudal Salida del tanque de 1000m3 |
| Caudal_T2_ER | Word | D4 | Caudal Salida del tanque de 1000m3 |
| Válvula | Bit | M1 | Activación de la válvula de control de la estación de reserva |
| Caudal_T1_PT | Word | D5 | Caudal Salida del tanque de 2500m3 |
| Nivel_2500_PT | Word | D6 | Nivel del tanque de la planta de tratamiento de 2500m3 |
| Bomba_P | Bit | M2 | Estado de la bomba 1 del sistema de re-bombeo |
| Bomba_R | Bit | M3 | Estado de la bomba 2 del sistema de re-bombeo |
| A_ER_T1_Bajo | Bit | M10 | Alarma de nivel Bajo del tanque de 1000m3 estación de reserva |
| A_ER_T1_Alto | Bit | M11 | Alarma de nivel Alto del tanque de 1000m3 estación de reserva |
| A_ER_T2_Bajo | Bit | M12 | Alarma de nivel Bajo del tanque de 2500m3 estación de reserva |
| A_ER_T2_Alto | Bit | M13 | Alarma de nivel Alto del tanque de 2500m3 estación de reserva |
| A_PT_Bajo | Bit | M14 | Alarma de nivel Bajo del tanque de 2500m3 planta de tratamiento |
| A_PT_Alto | Bit | M15 | Alarma de nivel Alto del tanque de 2500m3 planta de tratamiento |

4.5.4 Descripción de las pantallas

En base al diseño de las interfaces HMI se realiza las diferentes pantallas del terminal de operador, las cuales sirven para la monitorización de las variables de interés del proceso tanto de la planta de tratamiento como de la estación de reserva, a continuación de describen cada una de las pantallas.

La primera pantalla que se muestra una vez arrancado el sistema es la presentación del proyecto, presenta un mímico de la estación de reserva y la planta de tratamiento además de una barra de navegación para acceder a las diferentes pantallas como se muestra en la Figura 62.

En esta pantalla se tiene un mímico que permite acceder a las estaciones del proyecto.



Figura 62. Pantalla HMI principal

En la figura 63 se muestra la pantalla que conforma la estación de reserva en especial los dos tanques de almacenamiento con las variables que van a ser monitoreadas el nivel de cada tanque y la salida de caudal.

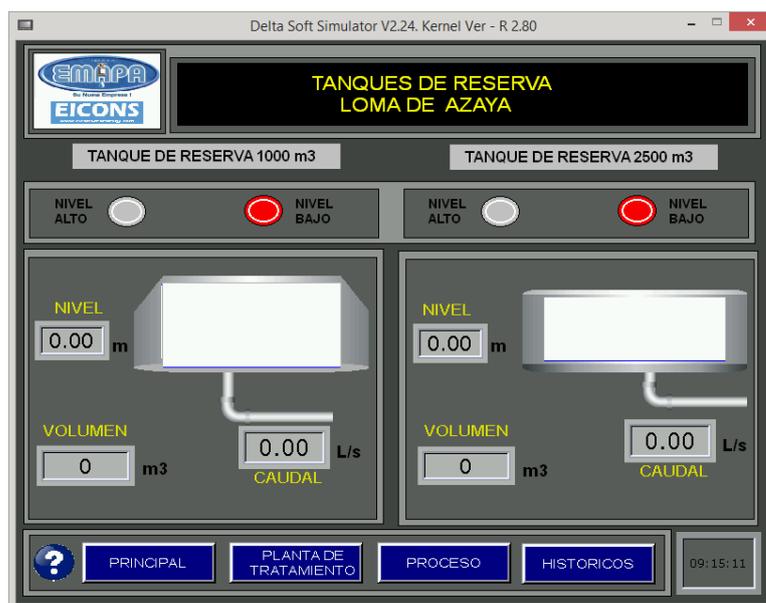


Figura 63. Pantalla HMI de la Estación de reserva

En la Figura 64 se presenta el tanque de almacenamiento con la monitorización del nivel del tanque y el caudal de salida de la Planta de tratamiento.



Figura 64. Pantalla HMI de la planta de tratamiento

En la Figura 65 se presenta un diagrama del estado de las variables que se están monitoreando, a fin de que el operador pueda observar el comportamiento de las variables en el tiempo.

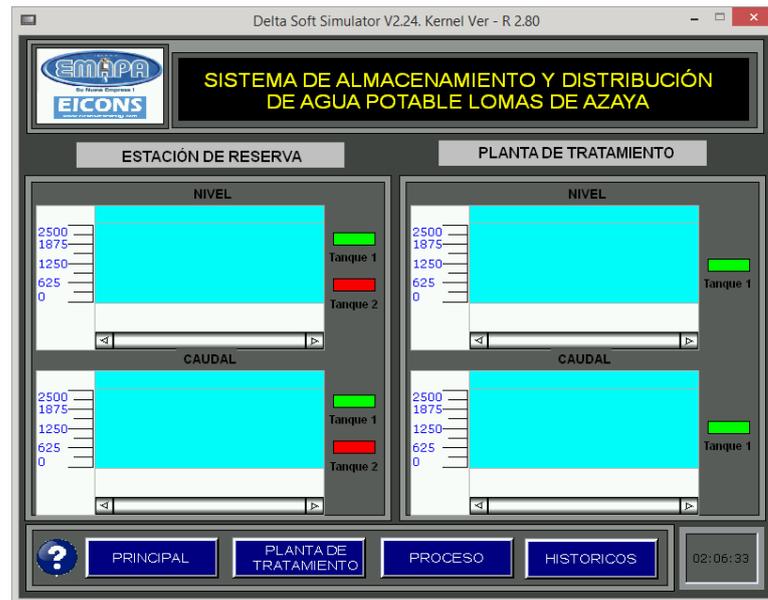


Figura 65. Pantalla HMI de históricos

En la Figura 66 se presenta un diagrama general del sistema de almacenamiento y distribución de agua potable lomas de Ayaza, en donde se encuentra los elementos que conforman el sistema tanto en la planta de tratamiento como en la estación de reserva, además de indicadores de estado y visualización de las variables.

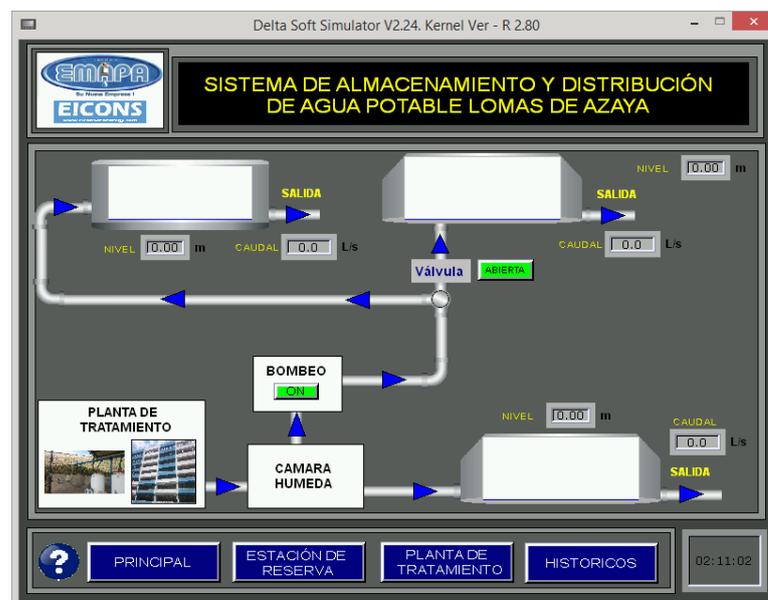


Figura 66. Pantalla HMI del proceso

4.6 SISTEMA SCADA

4.6.1 Arquitectura

La arquitectura empleada en la supervisión, control y adquisición de datos del sistema de almacenamiento y distribución de agua potable permite adquirir la información de los dispositivos de campo como sensores de nivel, caudal y enviar la información hacia el controlador lógico programable que está ubicado en la planta de tratamiento de Azaya, aprovechando las redes de comunicación, industriales y administrativas los datos del PLC llegan a una computadora central que efectúa tareas de supervisión y gestión, así como tratamientos de datos, generación de tendencias del proceso en tiempo real, además la información es almacenada en una base de datos de manera que esté disponible para cualquier cliente del sistema.

En la Figura 67 se muestra la arquitecta empleada para el sistema de supervisión, control y adquisición de datos del proyecto.

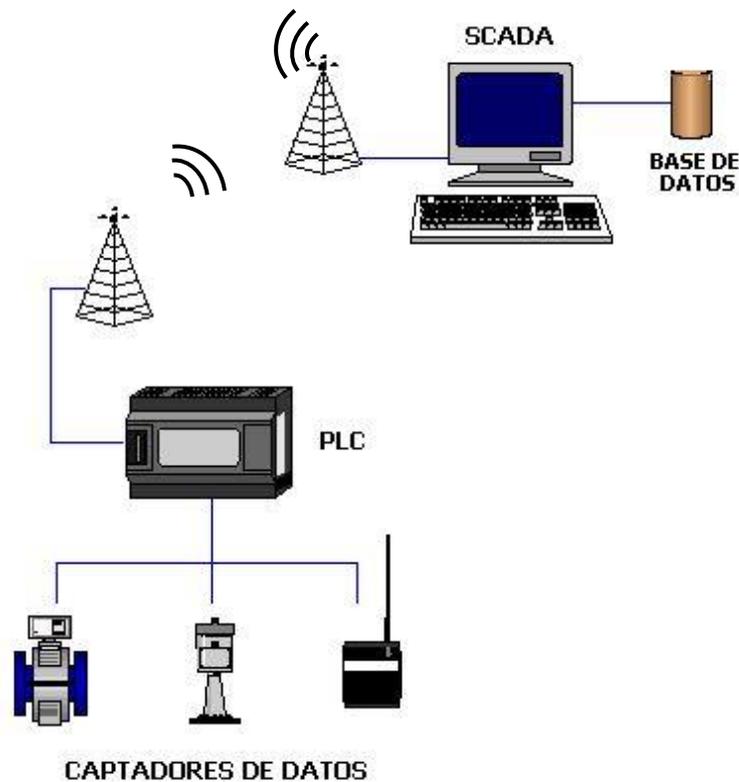


Figura 67. Arquitectura sistema SCADA

4.6.2 Requerimientos del Sistema de supervisión

El sistema SCADA tiene que constituir una verdadera plataforma que permita integrar los diferentes programas y realizar tareas como gestión de base de datos, administración de comunicaciones, generación de interfaces Hombre-Máquina, generación de reportes.

La generación de reportes sirve para que los diferentes departamentos de la empresa gestionen control de calidad, programación de mantenimientos, análisis de costos de producción, análisis de fallas, detalle de alarmas producidas.

La Interfaz Hombre Máquina (HMI) debe poseer un entorno amigable con el usuario de manera que permita visualizar las variables y el estado de los sistemas en tiempo real, sin necesidad de ir al sitio para realizar la lectura de las mismas. Asimismo se puede accionar remotamente los diferentes dispositivos instalados en las estaciones.

El software que se emplea deberá haber sido probado en plantas similares para garantizar su correcta operación y estabilidad, puesto que en el futuro se proyecta incorporar nuevas estaciones al sistema SACADA, un requerimiento fundamental es que el software debe ser escalable y flexible en cuanto a su arquitectura. Además debe poseer herramientas enfocado a los clientes a fin de generar bases de datos, que permita extraer información para la realización de históricos, tanto a nivel administrativo como de ingeniería.

4.6.3 Enlace del sistema SCADA

Para lograr que el sistema de supervisión permita monitorear y controlar todo el sistema, se requiere mantener intercomunicadas las estaciones, planta de tratamiento y las Oficinas Centrales de la EMAPA-I, pero debido a la ubicación y la distancia entre las estaciones involucradas no es posible realizar un enlace directo, por lo cual en el sistema de comunicación interviene la estación repetidora en San Miguel Arcángel, los datos se envían desde la planta de tratamiento hacia la estación repetidora.

En el sistema, la antena de la estación repetidora se encuentra configurada como “Station”, mientras que las antenas de los pozos, estación de bombeo, planta de tratamiento y oficina central llevan la configuración de “Access Point”, para formar un sistema punto-multipunto.

La red formada por todos los equipos permite intercomunicarlos entre sí, además que es lo suficientemente flexible para poder añadir más nodos al sistema, siempre que no se superpongan las direcciones IP de los equipos instalados.

4.6.4 Plataformas del sistema SCADA

El sistema de supervisión, control y adquisición de datos instalado las oficinas centrales de la EMAPA-I, lo conforman varios programas que trabajan conjuntamente desarrollando tareas específicas cada uno de ellos, algunos programas sirven para la edición, mostrar al operador las interfaces de usuario, otros programas se ejecutan en segundo plano y en primera instancia no son visibles para el operador.

4.6.4.1 Wonderware InTouch HMI

Wonderware ofrece mediante InTouch la posibilidad de generar aplicaciones SCADA al más alto nivel, utilizando las herramientas de programación orientadas a objetos, en la Figura 68 se muestra el software Wonderware InTouch HMI para la realización del sistema SCADA.



Figura 68. Wonderware InTouch HMI

Las características más significativas así como sus prestaciones se describen a continuación.

- Gráficos orientados a objetos
- Diferentes protocolos de comunicaciones TCP/IP
- Gráficos de Tendencia Históricos
- Alarmas
- Lecturas y escrituras optimizadas

4.6.4.2 Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server

El servidor que se emplea en el sistema es el Wonderware Modicon MODBUS Ethernet I/O Server, es un programa de aplicación de Microsoft Windows que permite el acceso a datos de una serie de controladores o equipos de automatización equipados con módulos Ethernet TCP / IP , el servidor requiere sólo una tarjeta estándar Ethernet estándar para acceder a la información.

Protocolo de comunicación: SuiteLink utiliza un protocolo basado en TCP / IP y está diseñado específicamente para satisfacer las necesidades industriales, tales como integridad de los datos, de alto rendimiento, y los diagnósticos más fáciles, en la Figura 69 se muestra el programa Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server encargado del acceso a los datos del controlador.

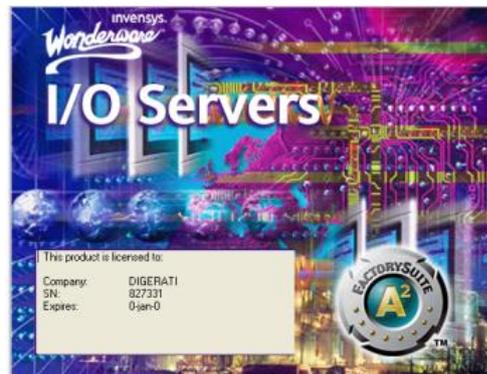


Figura 69. Wonderware MODBUS Ethernet I/O Server

En el Anexo V. Comunicación entre el controlador y Ethernet I/O Server de InTouch, se detalla el procedimiento para el enlace entre el controlador lógico programable que se encuentra en la planta de tratamiento y el sistema SCADA de la oficina central de la EMPA-I.

4.6.4.3 Historical Data Manager

Permite almacenar y extraer los datos para la generación de históricos en el WindowViewer, emplea una base de datos propia, por lo que solo puede ser abierta desde la pantalla de históricos del WindowViewer.

4.6.5 Definiciones de Variables

Las variables que se muestran en la Tabla 27 son adquiridas desde el controlador de la planta de tratamiento hacia el sistema SCADA, por el Ethernet I/O server de Wonderware, las variables muestran los datos de interés que origina el proceso de almacenamiento y distribución de agua potable como nivel de los tanques de almacenamiento, caudal de salida, estado de la válvula y alarmas del proceso.

Tabla 27
Variables del sistema de supervisión InTouch

| Tags | Tipo | Ítem | Access Name |
|-----------------|-----------------|------|-------------|
| Nivel_1000_E_R | I/O Real | 4098 | AZAYA |
| Nivel_2500_E_R | I/O Real | 4099 | AZAYA |
| Caudal_T1_E_R | I/O Real | 4100 | AZAYA |
| Caudal_T2_E_R | I/O Real | 4101 | AZAYA |
| Valvula | I/O Discrete | 1 | AZAYA |
| Caudal_T1_P_T | I/O Real | 4102 | AZAYA |
| Nivel_2500_P_T | I/O Real | 4103 | AZAYA |
| Bomba_P | I/O Discrete | 12 | AZAYA |
| Bomba_R | I/O Discrete | 3 | AZAYA |
| A_1000_E_R_Bajo | I/O Discrete | 10 | AZAYA |
| A_1000_E_R_Alto | I/O Discrete | 11 | AZAYA |
| A_2500_E_R_Bajo | I/O Discrete | 12 | AZAYA |

CONTINÚA →

| | | | |
|-----------------|-----------------|----|-------|
| A_2500_E_R_Alto | I/O Discrete | 13 | AZAYA |
| A_2500_P_T_Bajo | I/O Discrete | 14 | AZAYA |
| A_2500_P_T_Alto | I/O Discrete | 15 | AZAYA |

4.6.6 Tendencia, Históricos

Los datos históricos se almacenan en una base de datos propia de InTouch, se almacenan cada vez que hay un cambio en alguna de las variables, motivo por el cual la cantidad de datos que se almacenan es muy grande, el programa comprime esta información para que la cantidad de disco duro ocupada por cada histórico sea lo más pequeña posible, no obstante la extracción de la información puede resultar un tanto lenta, en cambio el detalle de los datos obtenidos es muy grande.

A la vez el programa almacena cada 15 minutos todas las variables de interés en una base de datos SQL, esto se lo realiza porque la base de datos SQL puede extraerse desde varios programas como WORD, EXCEL, Visual Basic, etc; los mismos que son de uso cotidiano.

4.6.7 Descripción de las pantallas HMI del SCADA

En base al diseño de las interfaces HMI se realiza las diferentes pantallas del sistema de supervisión, control y adquisición de datos SCADA, las cuales sirven para la monitorización de las variables de interés de todo el proyecto de captación, almacenamiento y distribución de agua potable, dentro de las cual se encuentra el proceso de la planta de tratamiento y la estación de reserva, a continuación se describen cada una de las pantallas del proceso.

La pantalla principal que se muestra una vez arrancado el sistema es la presentación del proyecto, donde se puede observar un mímico de todo el sistema de captación, almacenamiento y distribución de agua potable de ciudad de Ibarra, además de una barra de navegación para acceder a las diferentes pantallas.

En la Figura 70 se muestra la pantalla principal de la interfaz del sistema SCADA en la oficina central de la EMAPA-I, en la interfaz se visualiza datos importantes de las estaciones de bombeo y además presenta el acceso a los diferentes sectores que conforman el proyecto.

En la pantalla se encuentra un mímico para el acceso a los procesos de la planta de tratamiento y a la estación de reserva que forman parte de la integración del proyecto de supervisión.

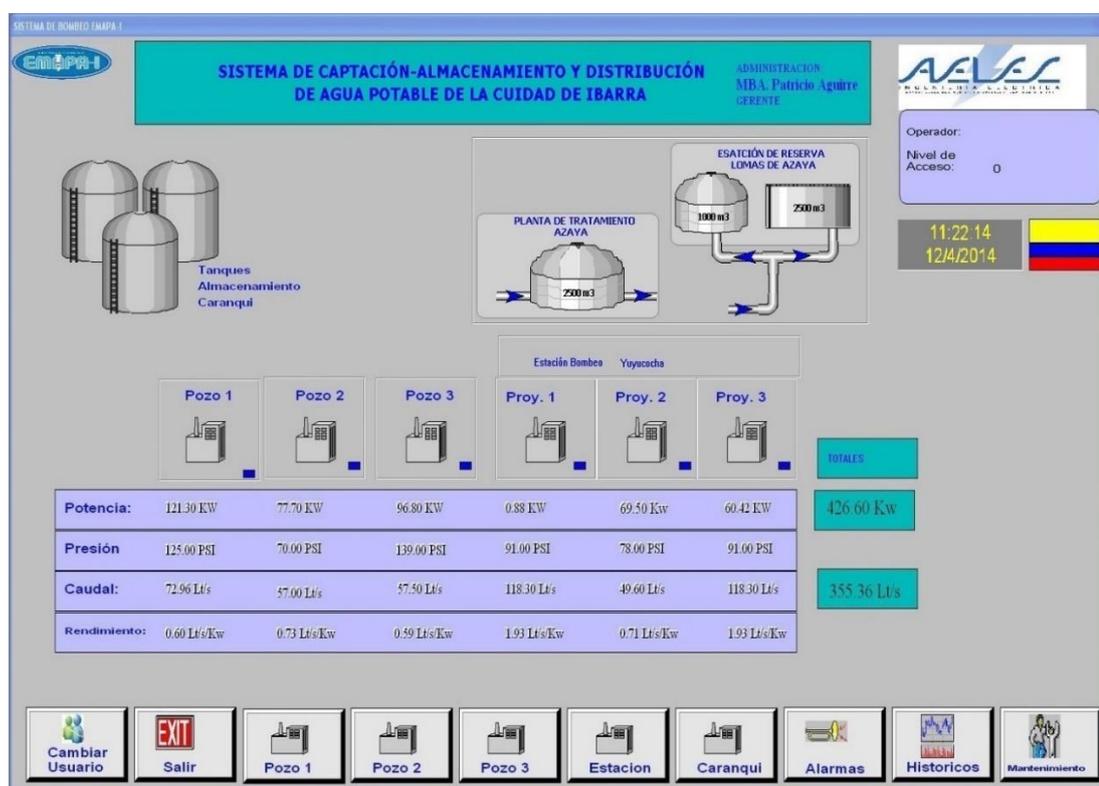


Figura 70. Pantalla principal del SCADA

En la pantalla del sistema SCADA de la Figura 71 se muestra los tanques de almacenamiento de la estación de reserva de 1000 m³ y 2500 m³ respectivamente, en donde se monitorea el nivel de agua de cada tanque de almacenamiento y el caudal de salida para la distribución a la población, además posee una barra de navegación para el acceso a las diferentes pantallas relacionadas como la visualización de los datos históricos de la estación.

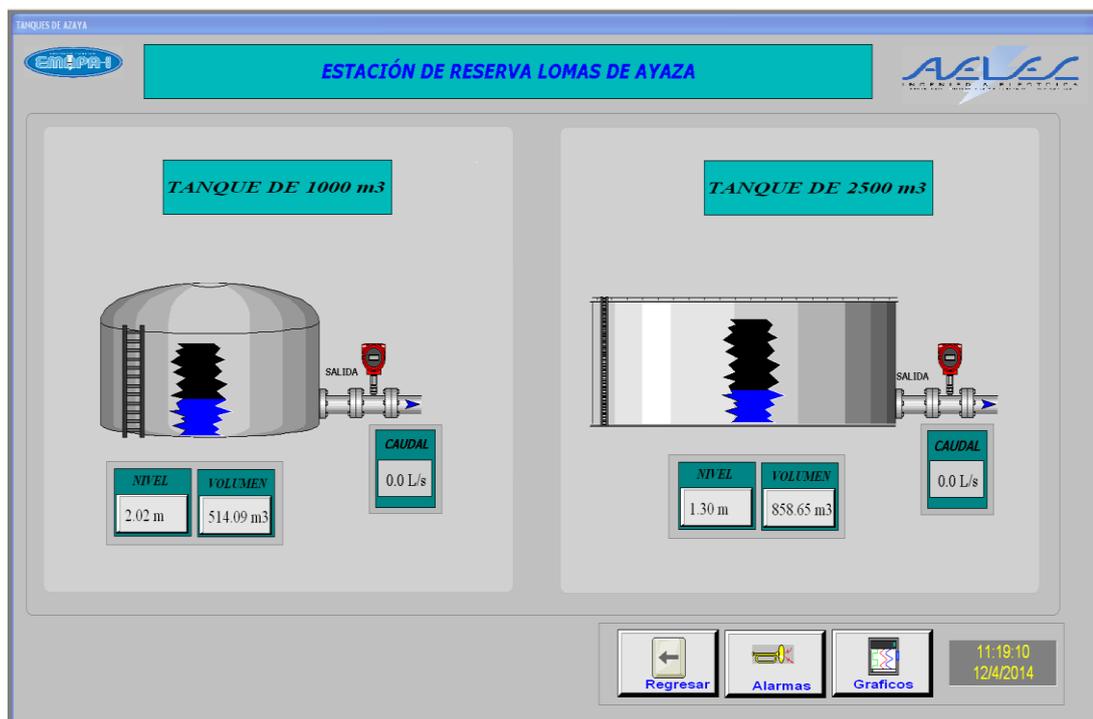


Figura 71. Pantalla de la estación de reserva lomas de azaya del SCADA

La planta de tratamiento de Azaya posee un tanque de almacenamiento en donde se monitorea el nivel de agua potable del tanque de almacenamiento y el caudal de salida para la distribución a los sectores de población de la ciudad.

En la pantalla del sistema SCADA de la Figura 72 se muestra el tanque de almacenamiento de 2500 m³ de la planta de tratamiento donde ese puede visualizar las variables del proceso.

La pantalla HMI posee una barra de navegación para el acceso a las diferentes pantallas relacionadas con la planta como la visualización de los datos históricos de las variables de esta estación.

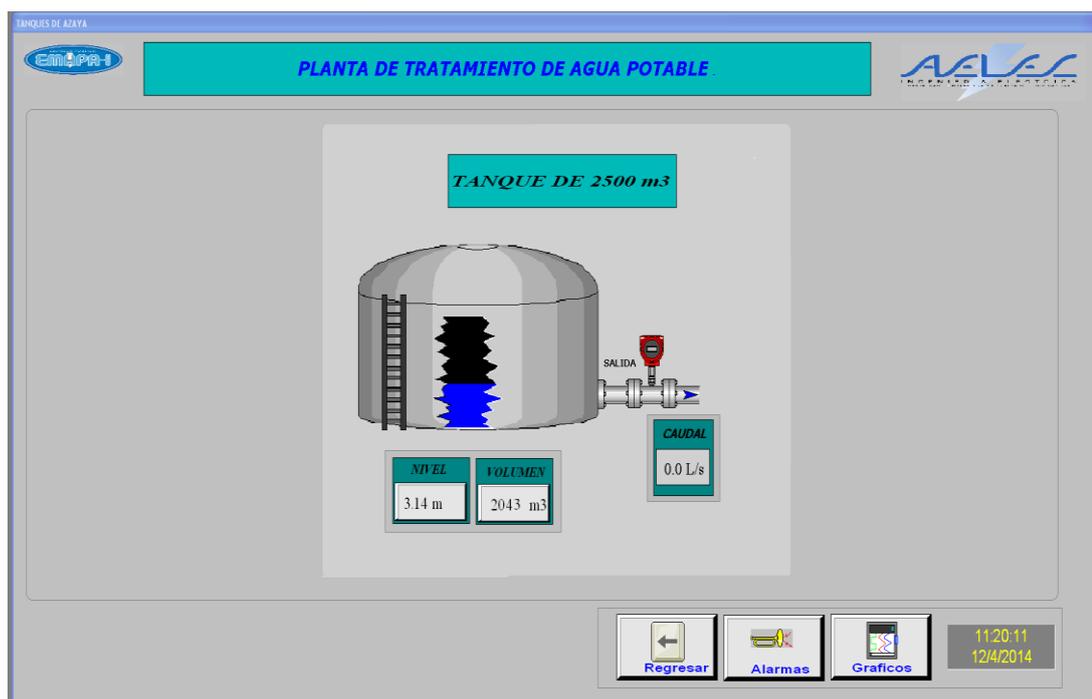


Figura 72. Pantalla de la planta de tratamiento del SCADA

En la Figura 73 se muestra la pantalla de históricos del sistema de supervisión, control y adquisición de datos, las variables que se visualizan son las siguientes:

- Nivel T1: Nivel del tanque de almacenamiento de la estación de reserva de 1000m³ de volumen.
- Caudal T1: Caudal de salida del tanque de la estación de reserva de 1000m³.
- Nivel T2: Nivel del tanque de almacenamiento de la estación de reserva de 2500m³ de volumen.
- Caudal T2: Caudal de salida del tanque de la estación de reserva de 2500m³.
- Nivel T1_PT: Nivel del tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento de 2500m³ de volumen.
- Caudal T1_PT: Caudal de salida del tanque de la planta de tratamiento de 2500m³.

Las variables que se muestran son tanto del proceso de la planta de tratamiento como las variables de la estación de reserva lomas de Ayaza.



Figura 73. Pantalla de históricos del SCADA

CAPÍTULO V

IMPLEMENTACIÓN

5.1 NORMAS

La implementación del proyecto está basada en las normas que han sido recopiladas y redactadas por la empresa EICONS, las cuales son establecidas siguiendo las normas referentes a la seguridad en los equipos y las personas, conjuntos de aparatos que permiten maniobrar y proteger las instalaciones eléctricas de baja tensión y reglas del buen hacer basadas en directivas reglamentadas. Las normas para la implementación se basan en los siguientes extractos:

- UNE-EN 60439-1: Conjuntos de Aparata de baja tensión.
- UNE-EN 60073: Principios básicos y de seguridad para interfaces Hombre-Máquina, el marcado y la identificación.
- UNE-EN 60204-1: Seguridad en las máquinas. Equipo eléctrico en las máquinas. Parte 1: Requisitos generales.
- EN 50082-2: Compatibilidad electromagnética. Entorno industrial.
- CEI 60447: Interfaz Hombre Máquina: Principios de maniobra

5.2 INSTRUMENTACIÓN

La implementación del sistema de instrumentación se basa principalmente en el montaje de los sensores de nivel ultrasónico en los dos tanques de almacenamiento de la estación de reserva y un tanque de almacenamiento de la planta de tratamiento, el montaje de los sensores de caudal en la tubería de salida de cada tanque de almacenamiento y el montaje del actuador eléctrico en la Válvula de control, además de los accesorios complementarios a los instrumentos acordes a la normativas para el montaje de equipos.

5.2.1 Elaboración

Se realiza una estructura tipo “L” para el soporte del sensor dentro del tanque de almacenamiento, con un orificio en la parte horizontal de acuerdo al diámetro del sensor ya que el sensor en su estructura para montaje tiene dos tuercas que le permiten ajustarse a un soporte horizontal, en la Figura 74 se muestra el soporte tipo “L” que albergara al sensor de nivel dentro del tanque.

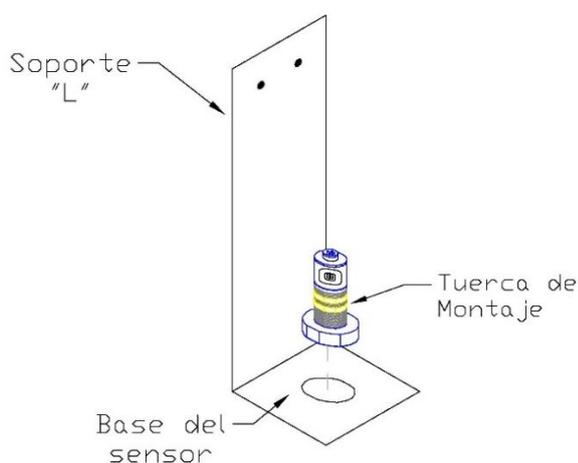


Figura 74. Soporte en “L” para el sensor de nivel

Para la implementación del sensor de nivel se elabora una caja de conexión y revisión de 200x200x100 mm, la caja tiene cinco borneras montadas sobre Riel Din, con el fin de realizar la conexión entre los terminales del cable conector M12 del sensor y el cable que lleva a alimentación y la señal analógica del sensor proveniente del tablero de control, además tiene conectores de tubería para el acceso de cables, como se muestra en la Figura 75.

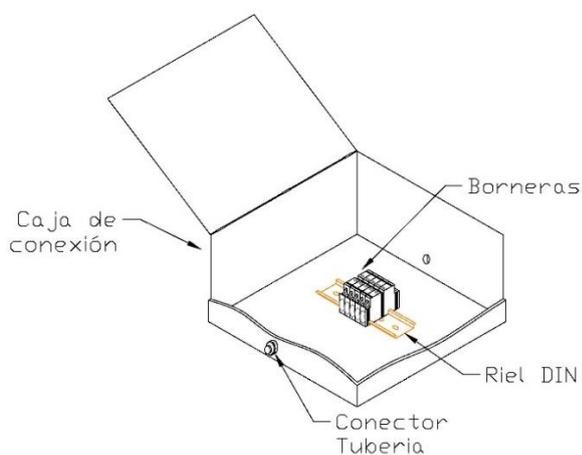


Figura 75. Caja de conexión y revisión para el sensor de nivel

5.2.2 Montaje en campo

- **Sensor de nivel**

El montaje de los tres sensores se realiza de similar manera, partiendo desde los tableros de control de cada estación se lleva cable de red categoría 6A por medio de tubería hacia una caja de conexión y revisión como se muestra en la Figura 76. De este punto por medio de borneras se conecta el cable del conector M12 del sensor ultrasónico con el cable de red categoría 6A que sirve para llevar la alimentación del sensor y señal de salida analógica del sensor.

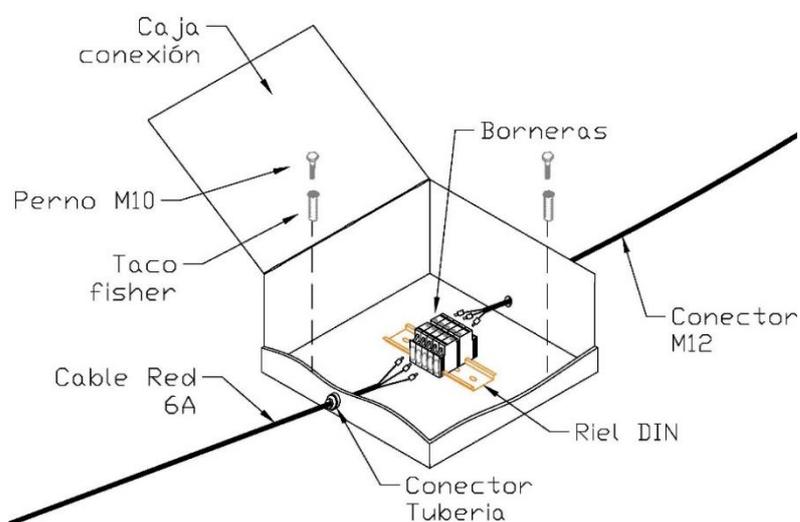


Figura 76. Caja de revisión para conexión de sensores de nivel (Interno)

Las cajas de conexión y revisión sirven para que el manteniendo y revisión del estado de las conexiones de los sensores este accesible al operador, además de seguir la normativa para el montaje de instrumentos La caja de conexión y revisión está fijada con tacos- fisher y pernos M10 al pie de la tapa sanitaria del tanque, en la Figura 81 se muestra la caja de conexión revisión montada al pie de la tapa sanitaria del tanque de almacenamiento.

Al sensor de nivel ultrasónico para el montaje se le acopla una estructura tipo “L” que sirve de soporte del mismo dentro del tanque, la estructura está fijada con tacos- fisher y pernos M10 en el interior del tanque, el sensor de nivel posee dos tuercas para el montaje como se muestra en la figura 77.

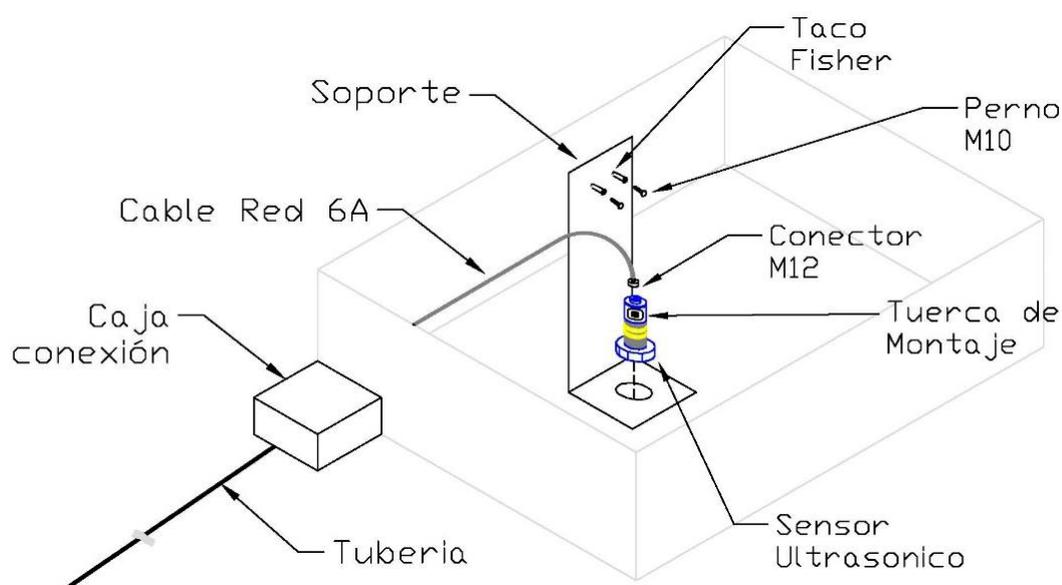


Figura 77. Montaje del sensor dentro del tanque de almacenamiento

- **Sensor de caudal**

Para el montaje del sensor de caudal, el primer paso es retirar los medidores que actualmente están instalados, esto facilita el montaje ya que básicamente sería reemplazar los equipos, todos los equipos se basan en la normativa NSF/ANSI Norma 61 para tubería, la instalación entre la tubería y el sensor es por medio del acople entre bridas, en la Figura 78 se muestra la conexión del sensor MS2500 a la tubería existente, por medio de bridas que une los dos componentes del sistema.

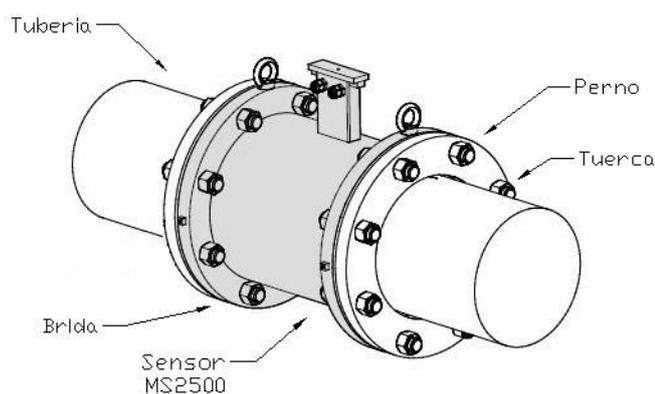


Figura 78. Montaje del sensor de caudal MS2500

Para completar el medidor de flujo se implementa el convertidor ML100, el cual está construido para acoplarse al sensor de manera sencilla, posee dos pernos para la sujeción hacia el sensor, además de prensaestopas para la conexión interna del sensor

con el convertidor, en la Figura 79 se muestra el montaje del convertidor en el sensor.

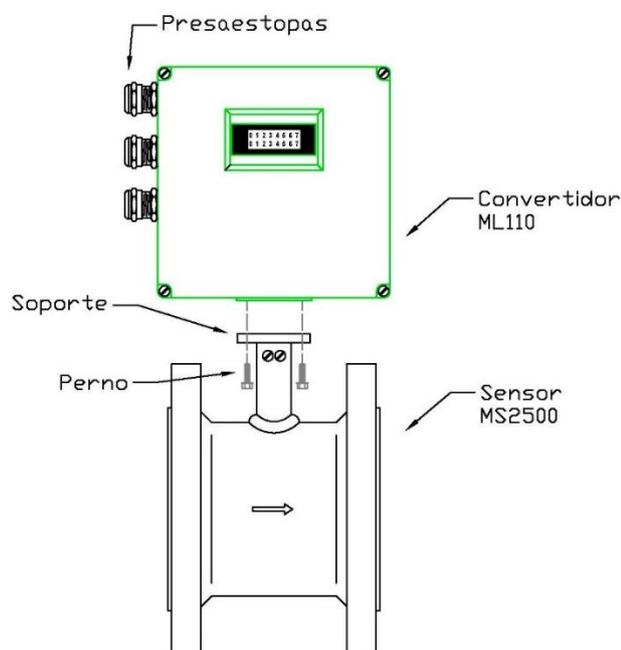


Figura 79. Montaje del convertidor ML110 al sensor de caudal

Los cables de alimentación y señales de salida del convertidor se llevan desde el tablero de control de la estación de reserva por medio de tubería.

- **Actuador eléctrico UM-6 de la válvula**

El montaje del actuador eléctrico a la válvula es sencillo, ya los actuadores eléctricos UM-6 son aptos para el montaje en válvulas fabricadas bajo norma ISO 5211.

El actuador eléctrico posee un soporte que está diseñado para el acople con la unión de la válvula mariposa, el actuador tiene cuatro pernos que permite la fijación de estos dos elementos.

En la Figura 80 se muestra el montaje del actuador eléctrico sobre la válvula mariposa, además de las partes que forman parte del actuador.

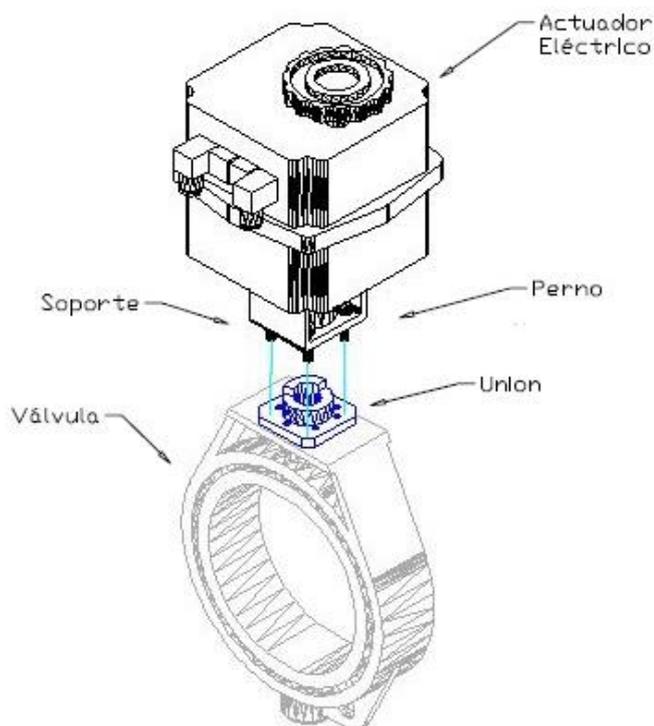


Figura 80. Montaje del actuador eléctrico a la Válvula

Los cables de alimentación, señal de activación y estados del actuador eléctrico se llevan desde el tablero de control de la estación de reserva por medio de tubería.

En el Anexo XIII. Detalle del montaje de equipos del proyecto se puede observar todas las características del montaje de estos equipos.

5.3 SISTEMA DE TELEMETRÍA Y ADQUISICIÓN DE DATOS

La implementación del sistema de telemetría y adquisición de datos se basa principalmente en la elaboración de los tableros de enlace tanto para el nodo remoto como del concentrador de señales, además de la implementación en la estación de reserva y la planta de tratamiento de los dispositivos de telemetría wRemote.

5.3.1 Elaboración

Previo al montaje de los equipos de telemetría wRemote, el nodo en la estación de reserva y el concentrador en la planta de tratamiento, se elabora dos tableros de 200x200x100 mm de material plástico con una barra de riel Din para el montaje de los equipos de telemetría, para el acceso y salida del cable se utiliza prensaestopas PG19, como se muestra en la Figura 81.

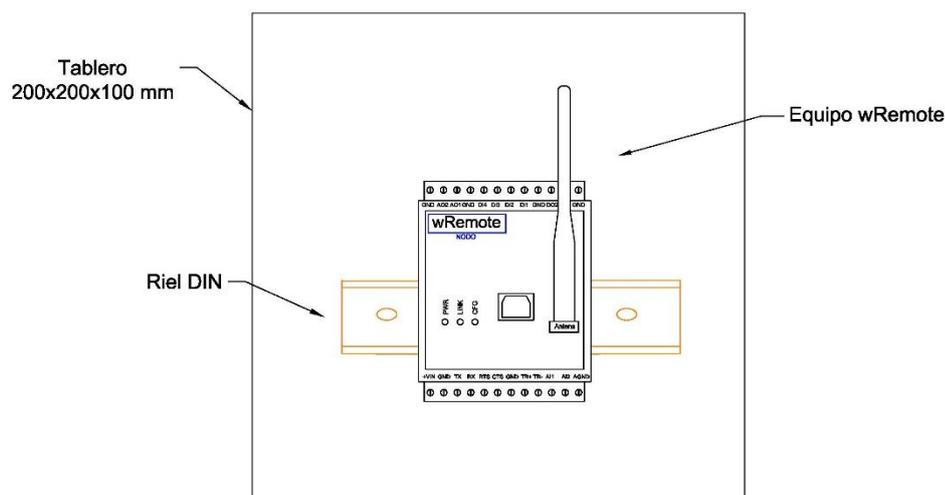


Figura 81. Montaje del equipo wRemote en el tablero de telemetría

5.3.2 Montaje en campo

En el montaje de los dos tableros de telemetría y adquisición de datos son similares, en la estación de reserva se coloca el tablero de telemetría y adquisición con el nodo de señales y en la planta de tratamiento se coloca el tablero de telemetría y adquisición con el concentrador de señales, la instalación se realiza usando un tubo poste de 4m de alto para la colocación del tablero.

En la cima del tubo poste se coloca el tablero de material plástico de 200x200x100 mm con protección IP 67 sellado herméticamente ya que va estar expuesto al ambiente. La acometida de cables al tablero se la realiza con prensaestopas PG 13.5 de manera que el tablero no pierda las características de protección.

En la Figura 82 se muestra la instalación de los tableros de telemetría y adquisición de datos wRemote tanto del nodo remoto como del concentrador de señales, además se puede visualizar los componentes externos para realizar una correcta implementación de los dispositivos.

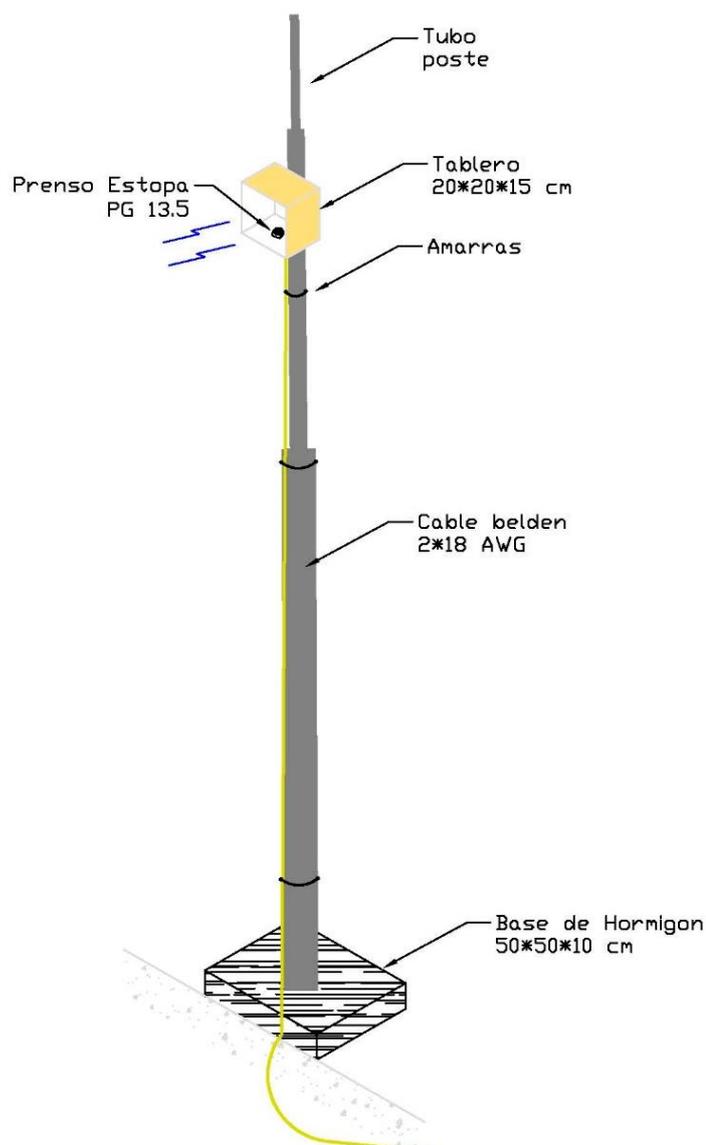


Figura 82. Montaje del tablero de telemetría y adquisición de datos

En el Anexo XIII. Detalle del montaje de equipos del proyecto se puede observar todas las características del montaje de estos equipos

5.4 SISTEMA DE CONTROL Y MONITORIZACIÓN

La implementación del sistema de control y monitorización se basa principalmente en la elaboración del tablero de control de la estación de reserva y el tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento, además del montaje en campo de los tableros de control.

5.4.1 Elaboración

Para la elaboración del tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento y el tablero de la estación de reserva se utiliza gabinetes metálicos con las siguientes características.

- Gabinete metálico fabricado en lámina de acero de 2,5 mm para los elementos estructurales (doble fondo), norma ASTM A569.
- Lámina de acero de 1,5 mm para puertas y tapas, según ASTM A366.
- Pintura electrostática de polvo epoxi poliuretano color beige al horno, con tratamiento de desengrasado.
- Grado de protección IP 64.
- Provisto de seguridades con llave triangular.
- Dimensiones determinadas en el diseño y aprobadas por la EMAPA-I.

Los gabinetes son modulares para acoplarse a las condiciones del sitio de montaje, los dos gabinetes que se utilizan tienen las siguientes dimensiones: 600 mm de altura, 600 mm de ancho y 300 mm de fondo, sujeto al tablero con auto perforantes se encuentra el Riel Din para la distribución de los diferentes elementos, además para la repartición del cable de conexiones se usa canaleta de 60x40 mm, para la acometida de los diferentes cables de alimentación o de señales se utiliza prensaestopas PG 13.5 cuando la acometida es cable concéntrico y conectores de media pulgada cuando la acometida es tubería o manguera.

En el tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento se realiza una perforación en el centro de la puerta del tablero para colocar la pantalla de operador de 7 pulgadas según las especificaciones del diseño.

En la figura 83 se muestra la distribución de los diferentes componentes que sirven para elaborar el tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento, además la repartición de los diferentes equipos implementados en el tablero.

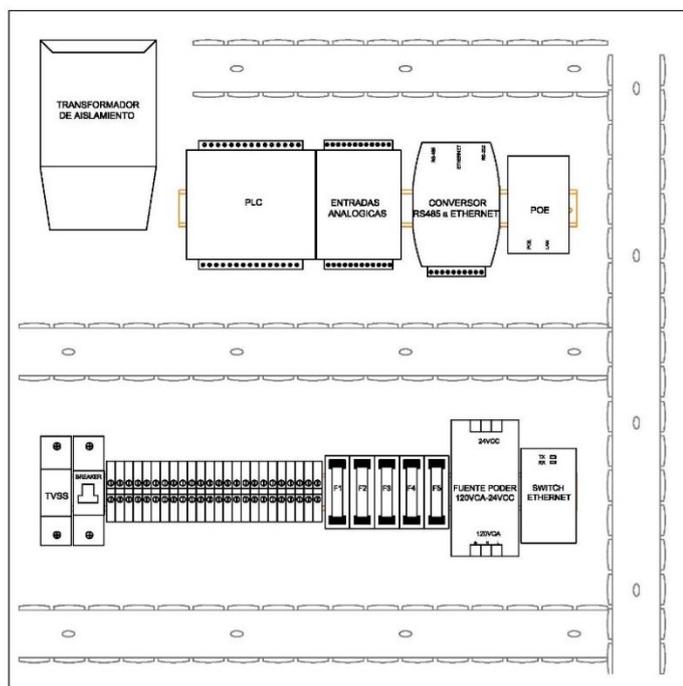


Figura 83. Tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento

En la figura 84 se muestra la distribución de los diferentes componentes que sirven para elaborar el tablero de control de la estación de reserva, además la repartición de los diferentes equipos implementados en el tablero.

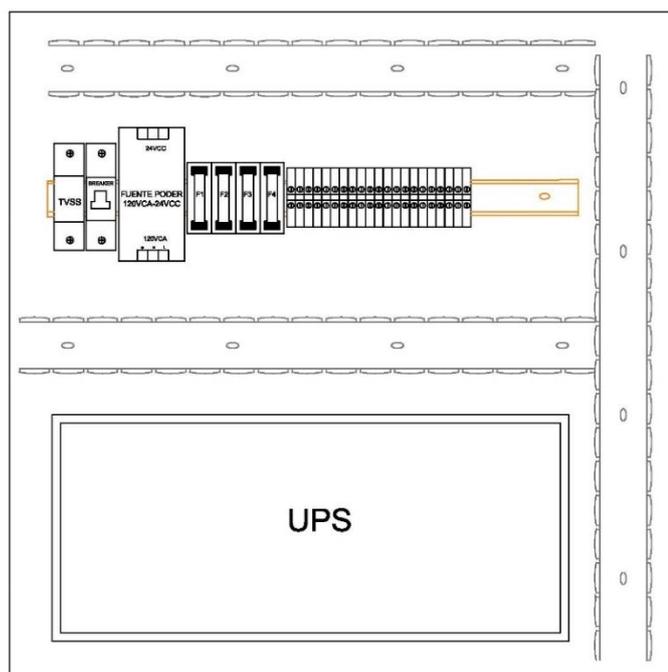


Figura 84. Tablero de control de la estación de reserva

En el Anexo X. Detalle de elementos de tablero se muestra los diferentes elementos que se implementaron en los tableros.

5.4.2 Montaje en campo

- **Tablero de control y monitorización de la planta de tratamiento**

El montaje del tablero en el cuarto de monitorización de la planta de tratamiento se lo realiza a una altura de 1.50 metros cuidando que la interfaz de operador este a una altura correcta para manipulación del usuario y se encuentre bajo normas de ergonomía para interfaces Hombre-Máquina. En la fijación del tablero hacia la pared se utiliza tacos-fisher y pernos M10, para la acometida del tablero se realiza perforaciones circulares de ½ pulgada, para la entrada y salida de los cables, los cuales están conducidos con tubería y conectados con el tablero con conectores para tubería., en la Figura 85 se muestra el montaje del tablero en el cuarto de monitorización de la planta de tratamiento.

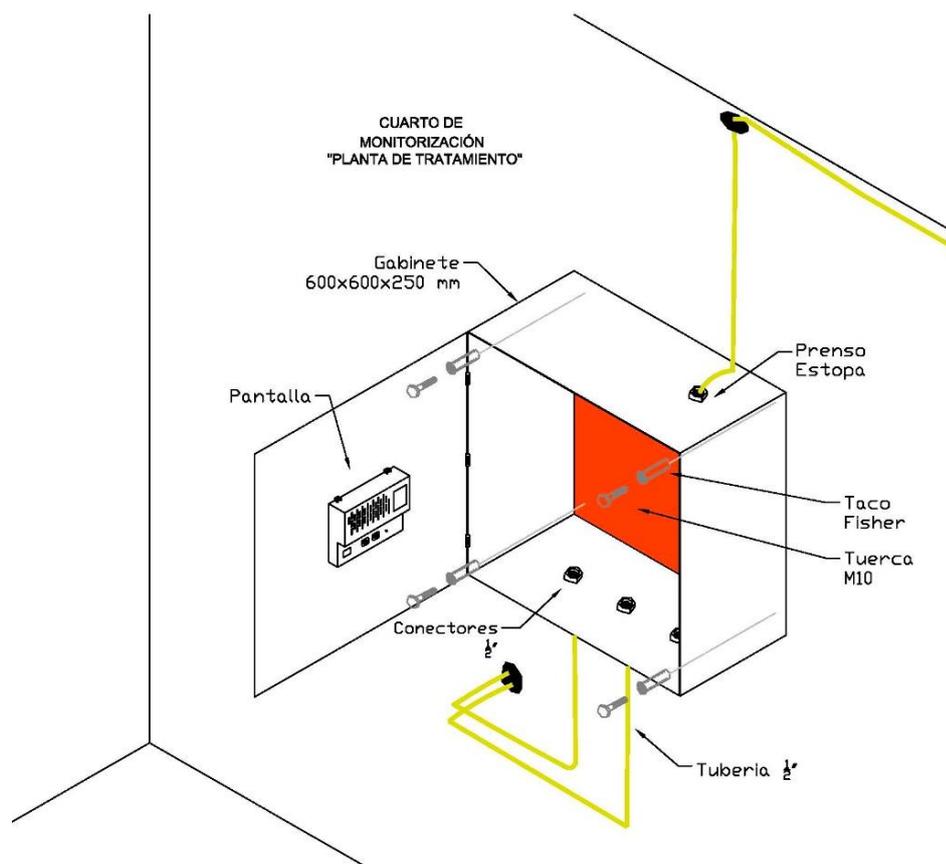


Figura 85. Montaje del tablero de control y monitorización

- **Tablero de la estación de reserva**

La estación de reserva tiene una caseta de 1.60 m de altura y 0.6m de ancho construida por ángulos de hierro como base y un pequeño techo de eternit, en esta estructura se realiza el montaje del tablero, para la fijación del tablero hacia el ángulo de hierro se utiliza Pernos M12, como se muestra en la Figura 86.

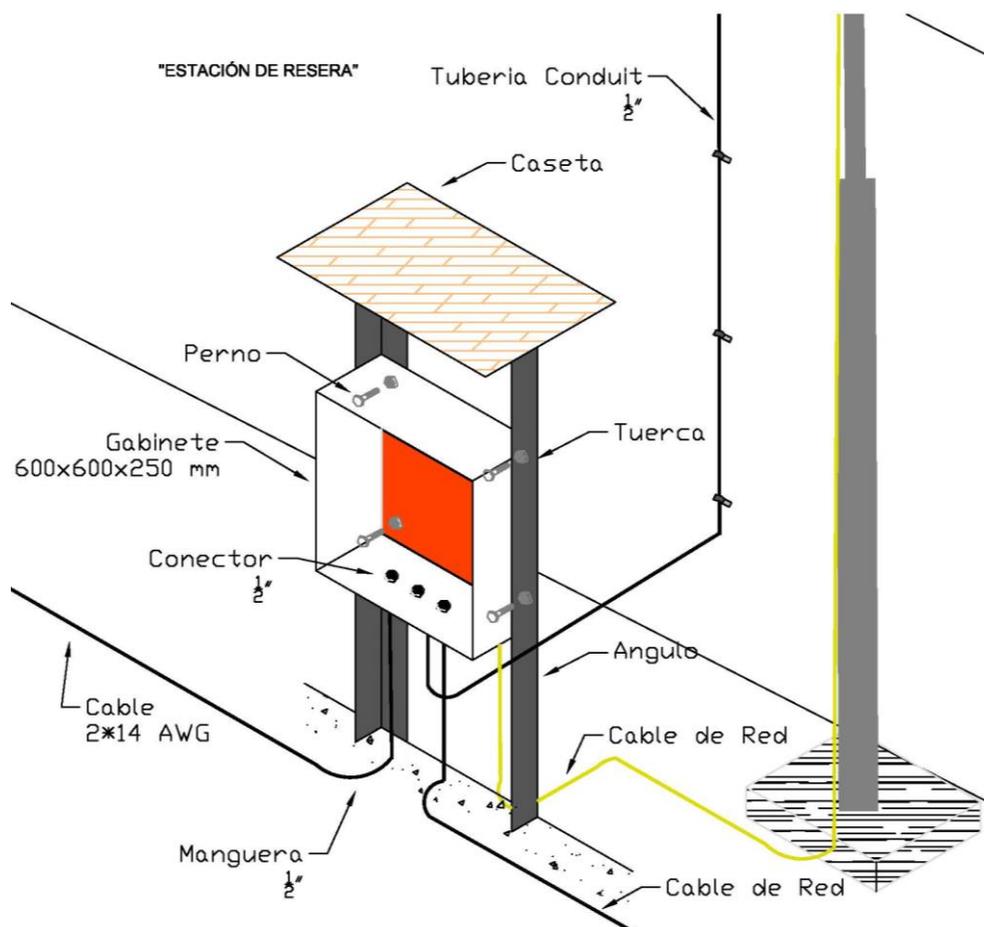


Figura 86. Montaje del tablero de la estación de reserva

En el Anexo XIII. Detalle del montaje de equipos del proyecto se puede observar todas las características del montaje de estos equipos

5.5 MONTAJE DE SISTEMA DE COMUNICACIÓN

La implementación del sistema de comunicación se basa principalmente en el montaje de la antena de la planta de tratamiento y la antena de la estación repetidora San Miguel Arcángel, las cuales se encargan de llevar la información desde campo hacia la integración del sistema SCADA.

5.5.1 Montaje en campo

Para llevar los datos de la planta de tratamiento hacia las oficinas centrales de la EMAPA-I se coloca dos antenas Nanoestacion M5. Una antena ubicada en la planta de tratamiento y la otra ubicada en la estación repetidora de San miguel Arcángel.

El montaje de las antenas NanoStation M5 en los dos sitios se los realiza de la misma manera, La implementación de la antena es muy sencilla y no necesita ninguna herramienta ya que las antenas cuentan con una estructura que ancla al dispositivo y lo sujeta con amarras plásticas al tubo poste o la estructura que sostenga a la antena.

En la Figura 87 se puede observar el montaje de la antena NanoStation M5 a un Tubo poste.

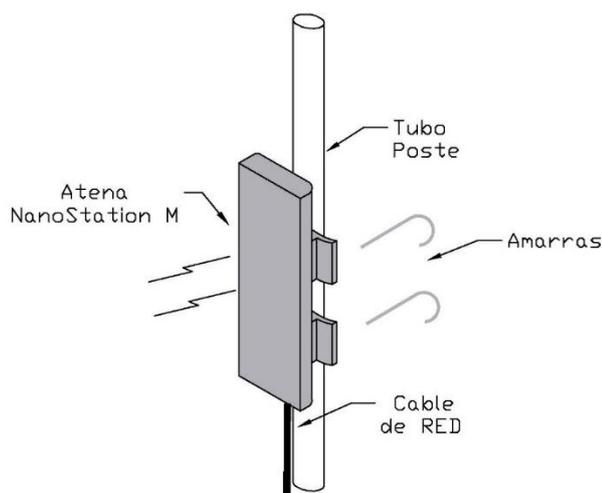


Figura 87. Montaje de la antena NanoStation M5

En el Anexo XIII. Detalle del montaje de equipos del proyecto se puede observar todas las características del montaje de estos equipos.

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 PRUEBAS

El procedimiento de pruebas aplicado al sistema de almacenamiento y distribución de agua potables se basa principalmente en los siguientes aspectos:

- **Operación de equipos existentes previo al proyecto**

En la ingeniería conceptual del proyecto se realizó un análisis de la situación actual de todos los elementos que forman parte del proyecto, donde se verificó el buen estado de los tanques de almacenamiento, sistema de bombeo, tubería, válvulas, en cuanto a la parte de hardware, en la parte de telecomunicación se verificó que el sistema de transmisión de datos, en especial la antena repetidora esté en funcionamiento.

- **Funcionamiento de plataformas de software del proyecto**

Se realizó las pruebas con todos los equipos a implementar en el proyecto, efectuando la configuración de equipos de instrumentación, telemetría, y en la programación y edición de interfaz de usuario y la lógica del sistema.

- **Funcionamiento del sistema de telemetría**

Las variables adquiridas por el nodo son transmitidas hacia el concentrador de señales a 0.7 km de distancia, con la ayuda del software Radio Mobile se realiza la prueba de enlace entre estos dispositivos como se muestra en la Figura 88.

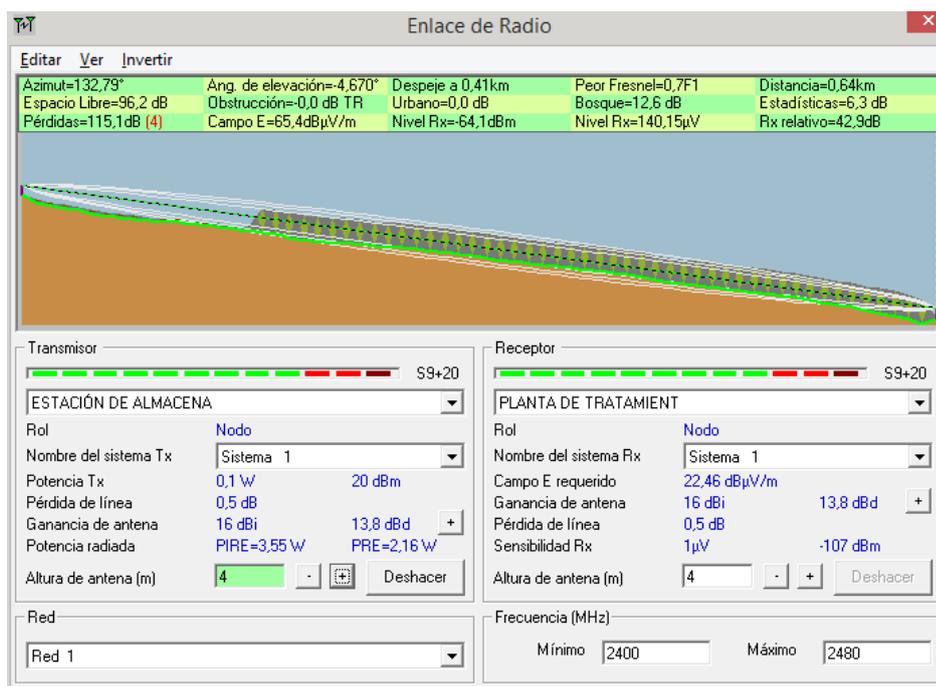


Figura 88. Prueba de enlace entre los dispositivos wRemote

- **Funcionamiento de la red Modbus RTU**

El funcionamiento de la red Modbus se lo realiza observando que los datos de los sensores y la activación de la válvula funcionen de manera correcta, esta información ubicada en la estación de reserva llega al concentrador y es bajada por el controlador para el manejo de la información.

- **Verificación del cableado de elementos de los tableros**

El funcionamiento de los puntos anteriores está relacionado a la correcta conexión de los diferentes equipos implementados, basado en los planos de diseño del sistema. La prueba se realiza verificando el correcto funcionamiento de los equipos.

- **Operación de equipos montados en los tableros**

La prueba se la realizó en laboratorio verificando todas las características del equipo como alimentación, comunicaciones, señales generadas y adquiridas.

- **Funcionamiento red de telecomunicación**

Sirve para verificar el correcto funcionamiento de la red de datos existente y del nuevo enlace que se implementa, con la ayuda del software Radio Mobile se realiza la prueba de enlace entre la antena de la planta de tratamiento y la estación repetidora como se muestra en la Figura 89.

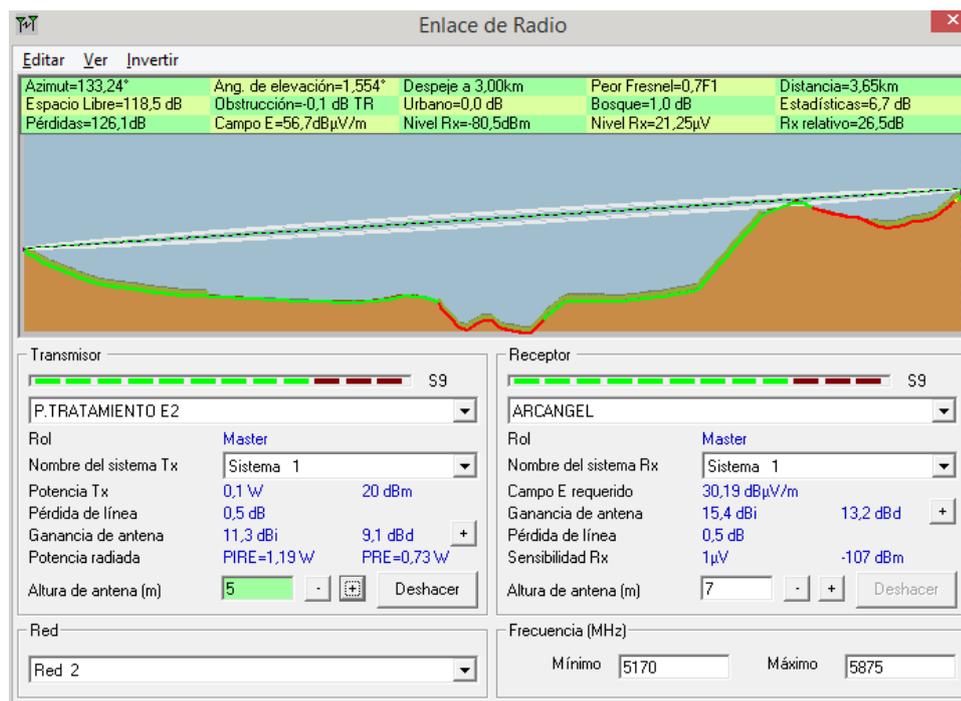


Figura 89. Radio enlace de la planta de tratamiento y la estación repetidora

- **Funcionamiento de la interfaz de operador**

El funcionamiento de la interfaz se comprueba si existe una correcta comunicación entre el PLC y el HMI, ya que estos dispositivos intercambian información de las lecturas de las variables.

- **Verificación de la lógica de control del sistema**

Esta prueba permite ajustar pequeños detalles del funcionamiento de la lógica de control del sistema, previo al inicio del proceso de arranque del proceso. Además esta prueba verifica el cableado de los elementos hacia el PLC, la configuración de los módulos de entradas y salidas del mismo, y la correcta lectura de equipos de instrumentación y telemetría.

- **Medición de los equipos de instrumentación**

Probar las diferentes salidas de los sensores para verificar la correcta medición y transmisión de los diferentes variables del proceso, el tipo de salida común es analógica de 4-20 mA según el diseño del sistema implementado, en el capítulo diseño del sistema se encuentra las conexiones y sus respectivas configuraciones de los equipos.

6.2 RESULTADOS

- **Operación de equipos existentes previo al proyecto**

El funcionamiento de los equipos tanto de la planta de tratamiento como de la estación de reserva es correcto.

- **Funcionamiento de plataformas de software del proyecto**

Todo el software empleado en el proyecto funcionan de forma correcta, algunos utilizados para la configuración de dispositivos y otros software para la edición y programación.

- **Funcionamiento del sistema de telemetría**

El funcionamiento del sistema de telemetría se observó con la ayuda el software de configuración de los dispositivos de telemetría, en la Figura 90 se muestra la conexión del nodo ubicado en la estación de reserva.

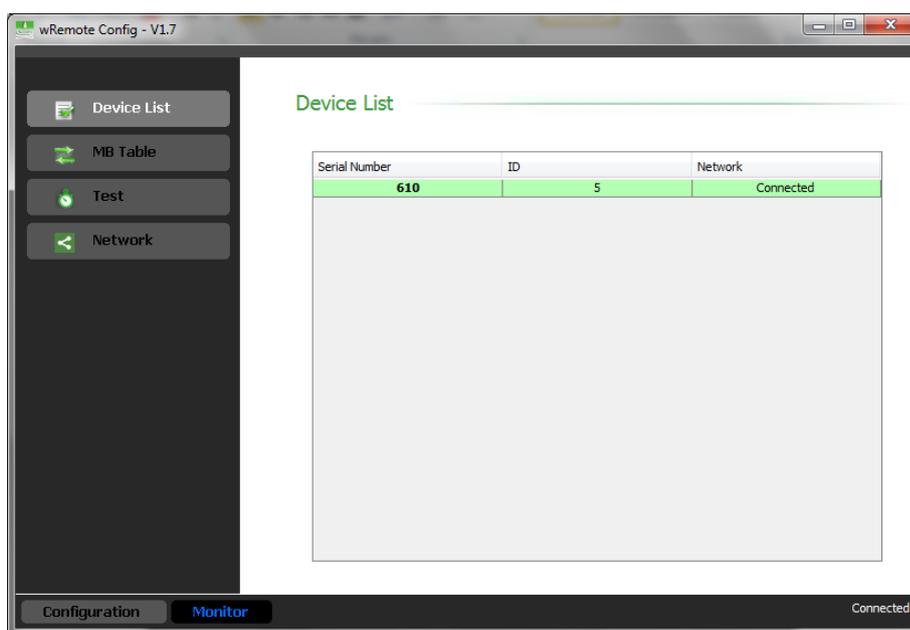


Figura 90. Conexión del Nodo de adquisición de señales

En la Figura 91 se muestra el acceso a los registros del concentrador, que toma la lectura de las entradas del nodo.

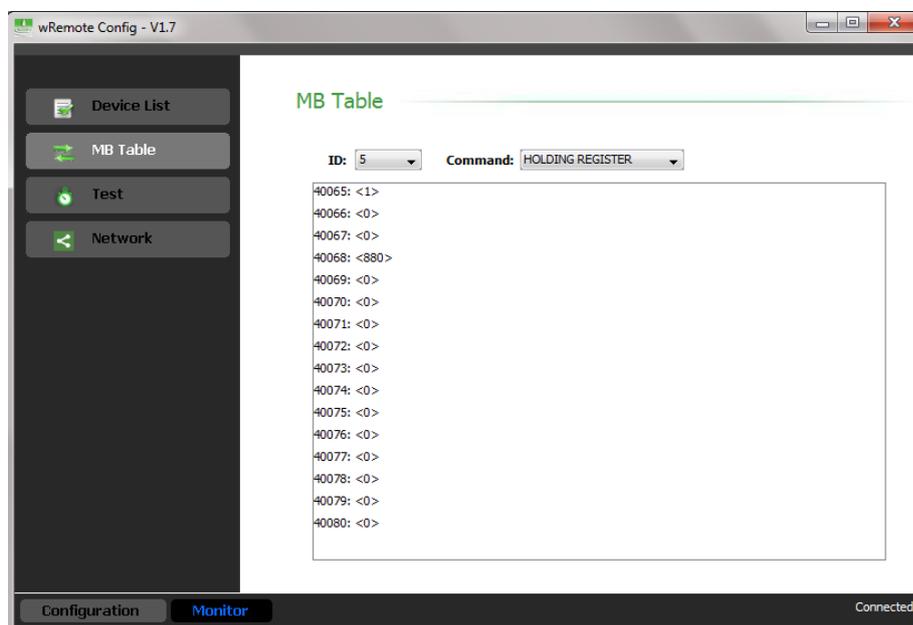


Figura 91. Lectura de las entradas del Nodo ubicado en la estación de reserva

En la Figura 92 se muestra el tiempo de enlace entre el nodo ubicado en la estación de reserva y el concentrador ubicado en la planta de tratamiento.

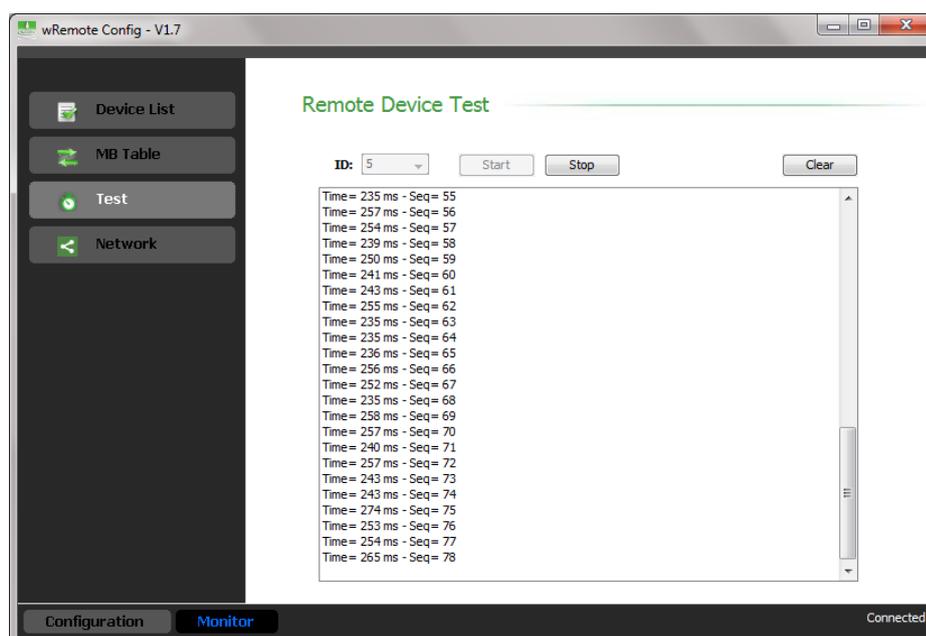


Figura 92. Tiempo de respuesta del enlace

En la Figura 93 se muestra la red del sistema de telemetría conformado por el nodo y el concentrador de señales con un enlace del 54%.

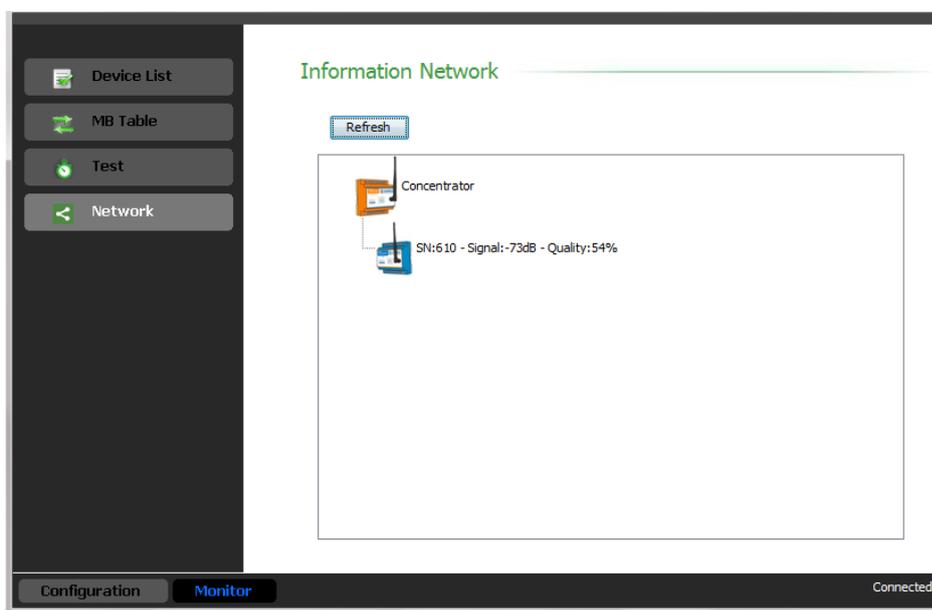


Figura 93. Equipos conectados a la red del sistema de telemetría

- **Funcionamiento de la red Modbus RTU**

La red Modbus empleada para bajar la información desde el concentrador hacia el controlador lógico programable funciona perfectamente, las variables son leídas correctamente por la función MODRW del PLC.

- **Verificación del cableado de elementos de los tableros**

La conexión se realizó de acuerdo a los planos realizados en el diseño, como resultado los equipos fueron cableados siguiendo normas y de manera correcta, la canaleta ayudo a ordenar el cableado del tablero.

- **Operación de equipos montados en los tableros**

Con la pruebas realizadas los equipos funcionan individualmente e integrados al sistema con todos los elementos, todo equipo tiene protección es caso de ocurrir algún problema.

- **Funcionamiento red de telecomunicación**

En la Figura 94 se muestra el resultado del enlace de la comunicación desde la oficina central de la EMAPA-I hacia la estación repetidora con dirección IP 192.168.111.1 y la planta de tratamiento con dirección IP 192.168.111.35.

```

ex Símbolo del sistema
Control-C
^C
C:\Documents and Settings\EMAPA>ping 192.168.111.1
Haciendo ping a 192.168.111.1 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.111.1: bytes=32 tiempo=21ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.111.1: bytes=32 tiempo=20ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.111.1: bytes=32 tiempo=5ms TTL=255
Respuesta desde 192.168.111.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=255
Estadísticas de ping para 192.168.111.1:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 5ms, Máximo = 21ms, Media = 14ms
C:\Documents and Settings\EMAPA>ping 192.168.111.35
Haciendo ping a 192.168.111.35 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.111.35: bytes=32 tiempo=16ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.111.35: bytes=32 tiempo=13ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.111.35: bytes=32 tiempo=8ms TTL=128

```

Figura 94. Enlace de la oficina central de la EMAPA-I

En la Figura 95 y Figura 96 se muestra el estado del enlace de las antenas Nanostation M5 ubicadas en la planta de tratamiento y estación repetidora respetivamente.

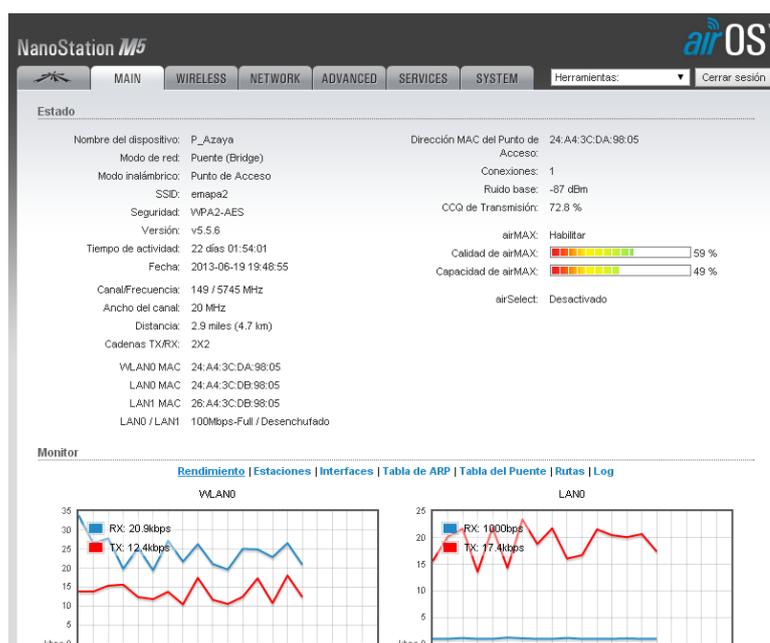


Figura 95. Estado del enlace de la Antena ubicada en la planta de tratamiento

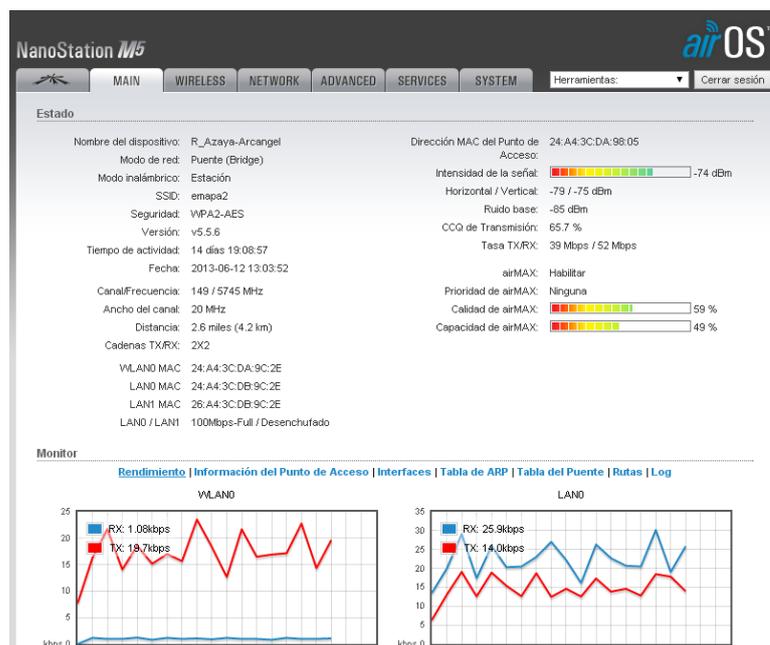


Figura 96. Estado del enlace de la antena ubicada en la estación repetidora

- **Funcionamiento de la interfaz de operador**

En la Interfaz HMI se visualizan las diferentes variables del proceso, para lograr esto el panel intercambia información con el controlador por medio del protocolo de comunicación TCP/IP, por lo cual el funcionamiento de la interfaz de operador es

correcto, en la Figura 97 donde se muestra una de la pantallas del HMI en funcionamiento.



Figura 97. Interfaz HMI en funcionamiento

- **Verificación de la lógica de control del sistema**

Antes de arrancar el sistema se simuló las diferentes condiciones de la lógica de control, esta prueba como resultado permitió ajustar pequeños detalles del funcionamiento de la lógica de control del sistema, previo al inicio del proceso de arranque del proceso.

- **Implementación de los equipos de instrumentación, control y telemetría.**

La implementación de los diferentes equipos se realizó basados en normas y planos diseñados para el sistema, con el fin de realizar una correcta implantación de los diferentes subsistemas que conforman el proyecto, en las siguientes Figuras se muestra la implementación de los equipos de instrumentación, control y telemetría.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El diagnóstico del estado actual de la planta de tratamiento y la estación de reserva de Ayaza permitieron identificar de forma clara los procesos y elementos que intervienen en el sistema de almacenamiento y distribución de agua potable, además del levantamiento de la información y planos necesarios para el diseño.
- El desarrollo de la ingeniería básica y la ingeniería de detalle del sistema permitió definir los lineamientos generales e ideas básicas del proyecto, dimensionar la instrumentación, sistema de telemetría y sistema de control que forman parte del hardware del proyecto, además se establece el software de configuración y programación de los diferentes dispositivos, seleccionando los proveedores desde el punto de vista financiero y técnico.
- El sistema de monitoreo del terminal de operador reduce el tiempo de toma de datos de variables de interés por parte de los operadores, los cuales realizaban tres inspecciones diarias hacia la estación de reserva, tiempo que pueden ser invertidos en otras actividades.
- El desarrollo del Software realizó la integración de los diferentes elementos del sistema de instrumentación, telemetría, control y monitorización, se utilizaron varios software empleados para la programación de los dispositivos y otro software para la configuración de dispositivos La lógica de proyecto se alcanza gracias al manejo de los diversos software.

- La supervisión permite la visualización de las variables de interés en el proceso, en sitios estratégicos para el personal de ingeniería y operadores del sistema, esto se alcanzó gracias a la implantación del terminal de operador ubicado en la planta de tratamiento y el sistema SCADA que se encuentra en la Oficinas de la EMAPA-I.
- Las instalaciones actuales están en proceso de mejoramiento, por lo que el diseño del sistema es versátil y escalable, manteniendo la compatibilidad con las instalaciones actuales y futuras.
- Los datos transmitidos desde la planta de tratamiento hacia la oficina central de EMAPA-I por medio de la red WAN de datos que dispone la EMAPA-I. presentan un tiempo de enlace eficiente para el desempeño del sistema.
- El sistema de alimentación ininterrumpida complementa al sistema en caso de un fallo en la energía eléctrica, con el fin de disponer de la información hasta q el suministro de energía eléctrica se restablezca.
- En el armado e implementación de los tableros, instrumentos y equipos se han realizado de acuerdo a normas y estándares de construcción que garantizan la seguridad en los equipos y las personas, además de la correcta operación.
- Los planos de montaje de equipos de instrumentación, telemetría, comunicación y tableros, además de los diagramas unifilares eléctricos, diagramas P&ID, planos ubicación de los sitios que forman parte del proyecto facilitan una correcta implementación del sistema.

7.2 RECOMENDACIONES

- Realizar un mantenimiento preventivo a los diferentes equipos cada determinado tiempo, para conservar las características funcionales de los dispositivos.
- Verificar la conexión y configuración de los equipos de instrumentación, control y telemetría para realizar una correcta implementación, en el diseño del sistema se detalla cada equipo.
- En caso de falla de la comunicación del servidor del sistema SCADA, se recomienda primero verificar que este ejecutado la plataforma MBENET, ya que este software lo realiza en segundo plano, pero es indispensable su funcionamiento, para la adquisición de datos de las diferentes estaciones.
- Un elemento de mucha importancia dentro del sistema es el nodo que adquiere la mayor parte de variables del proceso, por lo q es recomendable verificar su correcto funcionamiento en caso de ocurrir alguna falla en el sistema.
- Se recomienda tener un sistema de respaldo o redundancia al momento de transmitir la información importante dentro de todo el proyecto de la EMAPA-I, estacione de bombeo, planta de tratamiento y estación de reserva.
- Realizar una capacitación a los aperadores y personal de la EMAPA-I respecto al funcionamiento del sistema de almacenamiento y distribución de agua potable, con el fin de evitar errores en la operación de los equipos.

CAPITULO VIII

BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

8.1 BIBLIOGRAFÍA

Creus, S. A. (2006). *Instrumentación industrial*. México: Marcombo.

Delta. (2015). *DVP-PLC Application Manual*.

Examys. (2014). *wRemote - Manual del usuario*.

Google. (2014). *Google Earth*. USA.

Invensys. (2012). *HMI Software - Wonderware InTouch | Schneider Electric Software*. Obtenido de <http://software.invensys.com/products/wonderware/hmi-and-supervisory-control/intouch/>

Isoil. (2007). *Electromagnetic flow meter converter alphanumeric display ML110*.

Itaca. (2014). *Abastecimiento de agua potable por gravedad con tratamiento*. Obtenido de <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%20%20Gravedad/Manual%20Abastecimiento%20Agua%20Potable%20por%20gravedad%20con%20tratamiento.pdf>

Koshland Science Museum. (2014, Noviembre). *El agua potable apta para el consumo es esencial - Procesos de tratamiento*. Obtenido de <http://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Treatment-Processes.html>

- Lagos, C. (2006). *Protocolos de comunicaciones industriales*. Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/articulos/agosto-06.pdf>
- Luque, J. M. (2012). *Autómatas Programables, PLC, Interfaz Hombre Maquina, HMI, SCADAS, OPC Server*. Obtenido de <http://plc-hmi-scadas.com>
- Mora, F. I. (2014). *IMPLEMENTACIÓN DE 4 ANTENAS UBIQUITI NANOSTATION LOCO M5, PARA REALIZAR PRUEBAS DE RADIO FRECUENCIA EN BANDAS NO LICENCIADAS EN EL LABORATORIO DE TELECOMUNICACIONES DE LA FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO* (Tesis de Ingeniero en Telecomunicaciones, Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Ecuador, Guayaquil). Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/1714/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-37.pdf>
- Ogata, K. (2003). *Ingeniería de control moderna*. México: Prentice Hall.
- Oliva, A. N., & Alonso, C. G. (2013). *Redes de comunicaciones industriales*.
- Ponsa, A. P., & Vilanova, R. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA*. Barcelona: Edicions UPC.
- Radio Comunicaciones. (2015, Mayo). *Telemetría, Aplicaciones, Manuales, Documentos y Artículos*. Obtenido de <http://www.radiocomunicaciones.net/telemetry.html>
- Rodríguez, P. A. (2007). *Sistemas SCADA*. México, DF: Alfaomega.
- Sick. (2014). *Sensor ultrasónico UM30*.

Ubiquiti. (2015). *Ubiquiti Networks - NanoStationM*. Obtenido de <https://www.ubnt.com/airmax/nanostationm/>

Varela, C., & Domínguez, L. (2002). *Redes Inalámbricas*. Obtenido de <http://www.blyx.com/public/wireless/redesInalambricas.pdf>

8.2 ANEXOS

ANEXO I

Configuración del software WRemote Config

ANEXO II

Configuración del software AirOS

ANEXO III

Programación del software ISPSOft del PLC

ANEXO IV

Edición y programación del software DOPSoft

ANEXO V

Comunicación entre el controlador y Ethernet I/O Server de InTouch

ANEXO VI

Arquitectura del Sistema de control y monitorización

ANEXO VII

Elementos de la planta de Tratamiento de Ayaza

ANEXO VIII

Elementos de la estación de reserva lomas de Ayaza

ANEXO IX

Diagrama de instrumentos P&ID

ANEXO X

Detalle de elementos de tableros

ANEXO XI
Diagrama Eléctrico

ANEXO XII

Diagrama unifilar eléctrico de elementos

ANEXO XIII

Detalle del montaje de equipos del proyecto

ANEXO XIV

Programa del controlador lógico programable

ANEXO XIV

Reporte fotográfico de la implementación

ACTA DE ENTREGA

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

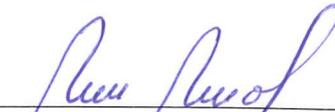
Sangolquí, 11 DE AGOSTO de 2015

ELABORADO POR:



GUAGALANGO GUAGALANGO JAIRO SANTIAGO

1003060017



Ing. Luis Orozco MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

