



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL
CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL BATALLÓN DE I.M NO.
12 ESMERALDAS.”**

AUTOR: PEREZ MOREIRA DAMIAN UBALDO

DIRECTOR: ORTIZ TULCÁN HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ

2016



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y

CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación , “ **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL BATALLÓN I.M No 12 ESMERALDAS.**” Realizado por el señor Damian Ubaldo Perez Moreira, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditar y autorizar al señor Damian Ubaldo Perez Moreira para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de febrero del 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized cursive letters, is written over a horizontal dashed line.

Hugo Ramiro Ortiz Tulcán

DIRECTOR



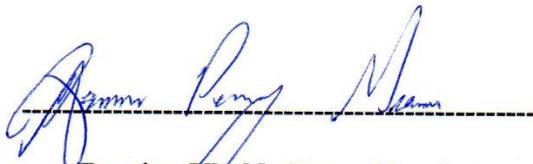
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo Damian Ubaldo Perez Moreira, con cedula de identidad N° 0802798207, declaro que este trabajo de titulación “ **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL BATALLÓN I.M No 12 ESMERALDAS.**” Ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación.

Sangolquí, 19 de febrero del 2016



Damian Ubaldo Perez Moreira
C.C 0802798207

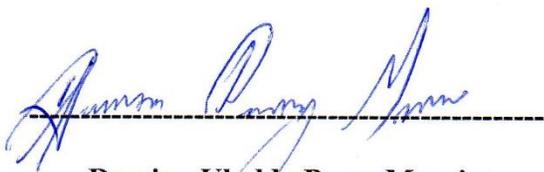


DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Damian Ubaldo Perez Moreira, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución la presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA POTABLE DEL BATALLÓN I.M No ESMERALDAS**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 19 de febrero del 2016



Damian Ubaldo Perez Moreira

C.C 0802798207

DEDICATORIA

Dedico este logro a mi abuelita Aura Alvarado, presente siempre desde el cielo y que en vida me guio siendo mi inspiración.

A mis padres Brungny Moreira y Enrique Pérez por el apoyo incondicional y por brindarme la fortaleza, para llegar a culminar la carrera y formarme en la parte profesional.

A mi novia Ana Figueroa por estar a mi lado y ayudarme en todo el transcurso de la carrera.

A mis tíos y padrinos Belen Moreira e Isaac Estrella por estar a mi lado, por los consejos y ser padres a la vez.

A mi familia en general, que ha sufrido y reído a mi lado, y me ha brindado su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia, a mis padres y mi hermano por toda la ayuda que me han brindado durante toda la carrera, a mi mamá por el esfuerzo, por ser una luchadora y por el empuje que siempre me brinda, a mi papá por la calma y paciencia que siempre me ha transmitido.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	2
1.3 Alcance del Proyecto.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 General	5
1.4.2 Específicos	5
1.5 Descripción del Proyecto	6
CAPÍTULO 2	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1 Sistemas de Provisión de Agua	8
2.1.1 Principios Fundamentales	8
2.1.2 Provisión de agua potable (Obregón , 2014).....	8
2.2 Sistemas de Distribución.....	11
2.2.1 Tipos de Distribución.....	11
2.3 Sistema de Bombeo de Agua	14
2.3.1 Estación de Bombeo.....	14
2.3.2 Ubicación de la Estación de Bombeo.....	14
2.3.3 Capacidad de la Estación de Bombeo	15
2.3.4 Bombas.....	15
2.3.5 Tipos de Bombas.....	16
2.3.6 Medidor de Caudal.....	16
2.3.7 Válvulas.....	18
2.3.8 Medidor de Nivel Ultrasónico.....	20
2.3.9 Transmisor de Presión.....	20

2.4	Controladores Lógicos Programables	23
2.4.1	Qué es un PLC?.....	23
2.4.2	Funciones de un PLC	24
2.5	Nivel de gestión: sistema SCADA.....	24
CAPÍTULO 3		25
DISEÑO DE HARDWARE		25
3.1	Diseño del Sistema de Distribución de Agua.....	25
3.1.1	Diseño del Sistema de Tubería para el sistema de distribución de Agua.....	25
3.1.2	Levantamiento de planimetría para el rediseño de distribución de Agua	27
3.2	Diseño del Sistema de Instrumentación	28
3.2.1	Ingeniería conceptual y básica para el sistema de instrumentación	28
3.2.2	Ingeniería de detalle para el sistema de Instrumentación.....	37
3.3	Diseño del Sistema de Control.....	42
3.3.1	Ingeniería conceptual y básica para el Sistema de Control.....	42
3.3.2	Ingeniería de detalle para el Sistema de Control.....	50
3.4	Diseño del Sistema de Comunicación.....	56
3.4.1	Ingeniería conceptual y básica para el Sistema de Comunicación.....	57
3.4.2	Ingeniería de detalle para el sistema de Comunicación	63
CAPÍTULO 4		66
DESARROLLO DE SOFTWARE.....		66
4.1	Lógica de Control.....	66
4.1.1	Modo de Operación.....	66
4.2	Interfaz Humano Máquina/SCADA.....	73
4.2.1	Convenciones usadas en el sistema.....	74
4.2.2	Área de trabajo en la aplicación VTScada	75
4.2.3	Tendencias.....	82
4.2.4	Comunicación	82
4.2.5	Gestión de Alarmas	83
CAPÍTULO 5		85
IMPLEMENTACIÓN		85

5.1 Selección de Componentes	85
5.1.1 Medidor de flujo.....	85
5.1.2 Medidor Ultrasónico de nivel.....	87
5.1.3 Switch de nivel.....	87
5.1.4 Transmisor de presión.....	89
5.1.5 Medidor de parámetros eléctricos	90
5.1.6 Actuador Rotatorio para válvulas mariposa.....	90
5.1.7 Controladores Lógicos Programables	91
5.2 Integración.....	93
5.2.1 Estación de bombeo	94
5.2.2 Centro de mando y monitoreo.....	99
5.2.3 Derivación.....	100
5.2.4 Tanque de distribución del Gate 8 y CALIME	101
CAPÍTULO 6	103
PRUEBAS Y RESULTADOS	103
6.1 Pruebas Preliminares.....	103
6.1.1 Equipos en el Sistema de Distribución.....	103
6.1.2 Equipos en el sistema de Comunicación.....	105
6.2 Pruebas en tiempo real	106
6.2.1 Pruebas al Sistema de Distribución.....	106
6.2.2 Pruebas al Sistema de Control.....	107
6.2.3 Pruebas al Sistema de Comunicación	108
6.2.4 Pruebas al Sistema de Instrumentación.....	108
6.2.5 Pruebas al Sistema en Conjunto de Bombeo de Agua.....	109
6.3 Análisis de resultados.....	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	111
7.1 Conclusiones	111
7.2 Recomendaciones.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del BIMESM sobre la Refinería Estatal de Esmeraldas	1
Figura 2. Sistema de Agua Potable BIMESM.....	6
Figura 3. Potabilización del agua	11
Figura 4. Sistema de abastecimiento por gravedad	12
Figura 5. Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento	13
Figura 6. Clasificación de las Bombas	17
Figura 7. Forma y funcionamiento medidor Placa orificio	18
Figura 10. Funcionamiento Sensor Resistivo	21
Figura 11. Funcionamiento Sensor Piezoresistivo	21
Figura 12. Funcionamiento Sensor Capacitivo.....	22
Figura 13. Funcionamiento de Sensor Piezoeléctrico	23
Figura 14. Estructura de un PLC	23
Figura 15. Tubería ECO-SIS, tramo batallón.....	27
Figura 16. Diseño de la ubicación de tubería	28
Figura 17. Medidor de Flujo MJK,, Magflux, Estación de Bombeo.....	31
Figura 18. Visualizador LCD, medidor de flujo y medidor de parámetros eléctricos	31
Figura 19. Sensor ultrasónico y Switch de nivel, Gate 8.....	32
Figura 20. Sensor ultrasónico y Switch de nivel, Reservorio Calime	33
Figura 21. Alimentación principal del sistema de agua BIMESM.....	37
Figura 22. Diagrama Unifilar Eléctrico, Alimentación de dispositivos 24 V DC	38
Figura 23. Diagrama P&ID del sistema de bombeo de agua.....	41
Figura 24. Actuador rotatorio BELIMO, Cuarto de Bombas	43
Figura 25. Actuadores Rotatorios BELIMO, zona de bifurcación.....	45
Figura 26. Arquitectura de control, Estación de Bombeo	50
Figura 27. Arquitectura de control, Reservorios: Batallón, Calime	50
Figura 28. Elementos de protección Interruptores Termo Magnéticos	54

Figura 29. Enlace en red mediante bus RS-485.....	59
Figura 30. Interfaz de lazo de corriente.....	60
Figura 31. Radios MIKROTIK SEXTANT RB/SXT 5HnD y sus antenas.....	61
Figura 32. Radio TRANGO BROADBAND Access 5830 (AP) y (SU)	62
Figura 33. Red de comunicación y topología del BIM-ESM.....	63
Figura 34. Diagrama de conexión de red de datos BIMESM.....	65
Figura 35. Lógica de control del status de comunicación	68
Figura 36. Diagrama de Estados de Bombeo respecto a Niveles en Tanque Local	69
Figura 37. Diagrama de Bombeo respecto a Niveles en Tanque Remoto	70
Figura 38. Diagrama de estados del actuador con respecto a niveles de la cisterna	70
Figura 39. Diagrama de estados del actuador de la válvula de bifurcación con respecto a niveles de reserva	71
Figura 40. Diagrama de estados de activación respecto a tensión.....	72
Figura 41. Lógica de control Remota Automático	72
Figura 42. Interfaz de TIA PORTAL v10.5	73
Figura 43. Menú Principal VTscada 10.2.....	75
Figura 44. Pantalla principal de creación	76
Figura 45. Válvulas de Bifurcación.....	77
Figura 46. Pantalla principal Sistema de agua BIMESM	79
Figura 47. Operación Automática válvulas de Bifurcación	80
Figura 48. Operación Manual válvulas de bifurcación.....	80
Figura 49. Operación de la bomba.....	81
Figura 50: Histórico y tendencias de los niveles de los reservorios de agua.....	82
Figura 51: Comunicación del PLC maestro con el VTS SCADA.....	83
Figura 52. Pantalla de las Alarmas	84
Figura 53. Medidor de flujo marca MJK, modelo MagFlux 7200	86
Figura 54. Distribución de Conexiones del Medidor de Flujo MagFlux.....	86
Figura 55. Sensor de nivel Toughsonic modelo TS-30S2-IV	87
Figura 56. Diagrama de conexiones modelo TS-30S2-IV 4-20 mA	88
Figura 57. Switch de desborde OMRON 61F-GP-V50 con los electrodos PS-31	88

Figura 58. Principio de operación del switch OMRON 61F-GP-V50	88
Figura 59. Transmisor de presión SIEMENS SITRANS P Series Z.....	89
Figura 60. Principio de Operación del Sensor de Presión SIEMENS SITRANS P	89
Figura 61. Medidor de parámetros eléctricos M2M de ABB	90
Figura 62. Actuador Rotatorio BELIMO SY1-24-3-T.....	91
Figura 63. PLC´s SIEMENS SIMATIC S7-1200 con módulos adicionales.....	92
Figura 64: Diagrama de señales de la estación de bombeo	95
Figura 65: Diagrama de comunicaciones en la estación de bombeo.....	96
Figura 66: Disposición de equipos en la estación de bombeo.....	97
Figura 67. Diagrama de señales del centro de mando	99
Figura 68. Diagrama de señales de la Derivación	100
Figura 69: Diagrama de señales del tanque remoto en el Gate 8 y CALIME	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características técnicas de la tubería ECO-SIS.....	26
Tabla 2. Características principales medidor de flujo MJK, Magflux 7200.....	30
Tabla 3. Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo	34
Tabla 4. Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo	35
Tabla 5. Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo	35
Tabla 6. Características Motor Sumergible Wilo TWI 6”	43
Tabla 7. Características Bomba sumergible Sumergible Wilo TWI 6- 90 GPM	44
Tabla 8. Características Arrancador suave ABB tipo PSE	44
Tabla 9. Elementos del tablero de control Estación de Bombeo	55
Tabla 10. Elementos del tablero de control Calime.....	56
Tabla 11. Enlaces de comunicaciones del sistema de control	64
Tabla 12. Características del VTS SCADA instalado en el centro de mando.....	73
Tabla 13: Alarmas configuradas en el SCADA.....	83
Tabla 14. Asignación de IP a PLC's	93
Tabla 15. Asignación de IP a Radios.....	93
Tabla 16. Detalle de entradas y salidas del PLC de la estación de bombeo	98
Tabla 17. : Detalle de Entradas y Salidas del PLC maestro en el centro de mando	99
Tabla 18. Detalle de entradas y salidas del PLC en la derivación.....	101
Tabla 19: Detalle de Entradas y Salidas del PLC en CALIME y Gate 8	102
Tabla 20. Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Distribución	103
Tabla 21. Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Instrumentación	104
Tabla 22. Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Comunicación.....	105

RESUMEN

El Batallón de I.M. No. 12 “ESMERALDAS” es una unidad operativa de la Armada del Ecuador que cumple operaciones militares en la Frontera Norte, siendo su principal misión la defensa del Complejo Hidrocarburífero. Su ubicación estratégica dificulta la provisión del servicio de agua por las grandes distancias desde el cuarto de bombas hasta los reservorios entre 4 y 7,5 Kms, y el trazado de la acometida por varias colinas. El sistema implementado hace más de 10 años era operado manualmente con gran cantidad de personal, y aun así era necesario racionalizar el suministro. A partir del 2007 el sistema colapsó y desde entonces se recibía el servicio por tanquero. El batallón comenzó a ejecutar el proyecto integral para reemplazar los 8 kms de acometida existente, instalar una bomba sumergible, e implementar un sistema de control automático para operar el sistema de agua las 24 horas del día. La automatización incluyó sensores de nivel en las cisternas, presión y flujo en el cuarto de bombas, actuadores para apertura y cierre de válvulas de manera remota, todo esto controlado por PLC’s que utilizan el estándar Ethernet para comunicaciones entre sí a través de un conjunto de radio enlaces. El sistema es monitoreado por un SCADA, que obtiene los datos desde el autómatas maestro mediante una red Ethernet TCP/IP. Desde la implementación del proyecto de automatización no ha existido racionamiento de agua en la unidad, el suministro es permanente e ininterrumpido, mejorando el bienestar y la calidad de vida del soldado. El control del sistema lo realiza personal militar desde el puesto de mando donde se supervisan las operaciones militares. Los datos históricos y tendencias han permitido alertar al Comando cuando hay desperdicio del líquido vital para tomar los correctivos necesarios.

Palabras Clave:

ACOMETIDA

AUTOMATIZACIÓN

CONTROL

ABSTRACT

Battalion I.M. No. 12 "ESMERALDAS" is an operating unit of the Navy of Ecuador meets military operations in the northern border, its main mission the defense of Hydrocarbon Complex. Its strategic location makes it difficult to provision of water services by large distances from the pump room to reservoirs between 4 and 7.5 km, and the layout of the rush by several hills. The implemented more than 10 years system was operated manually with a lot of staff, and yet it was necessary to streamline the supply. Since 2007 the system collapsed and since then the service is received by tanker.

The battalion began implementing the comprehensive project to replace the existing 8 kms rush, install a submersible pump, and implement an automatic control system to operate the water system 24 hours a day.

Included automation level sensors in the tanks, pressure and flow in the pump room, actuators for opening and closing valves remotely, all controlled by PLCs using the Ethernet standard for communications among themselves through a radio links set. The system is monitored by a SCADA, which gets the data from the master PLC via an Ethernet TCP / IP network.

Since the implementation of the automation project there has been no water rationing in the unit, is permanent and uninterrupted supply, improving the welfare and quality of life of the soldier. System control is performed by military personnel from the command post where military operations are monitored. Historical data and trends have enabled alert the command when no waste of the vital liquid to take the necessary corrective measures.

Keywords:

RUSH

AUTOMATION

CONTROL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El Batallón de I.M No 12 “ESMERALDAS”, BIMESM, es una unidad operativa de la Armada del Ecuador que cumple operaciones militares en la Frontera Norte, siendo su principal misión la defensa del complejo Hidrocarburífero, cuenta aproximadamente con 500 hombres, entre oficiales, tripulantes y conscriptos, distribuidos en dos instalaciones: el BIMESM ubicado en la cota 190 sobre el complejo industrial, y el CALIME cerca al Terminal Marítimo de Balao a nivel del mar. Su ubicación estratégica dificulta la provisión del servicio de agua por las grandes distancias desde el cuarto de bombas hasta los reservorios entre (4 y 7.5 kilómetros).



Figura 1. Ubicación del BIMESM sobre la Refinería Estatal de Esmeraldas

Fuente: (Google Maps, 2016)

En el año 2012 el batallón ejecutó un proyecto integral para reemplazar los 7.5 kilómetros de acometida existente, instalar una bomba sumergible, e implementar un sistema de control automático para operar el sistema de agua las 24 horas del día. El proyecto incluyó sensores de nivel en las cisternas y de presión en el cuarto de bombas así como actuadores para el cierre de válvulas de manera remota.

El sistema de control previsto en el proyecto no fue implementado en su totalidad, es así que actualmente funciona de forma semi-automática con cierre de válvulas manuales y adquisición de información de sensores en forma remota, sin optimización de los procesos que se requerían en un principio. Se utiliza un controlador lógico programable (PLC) para adquisición y control de las variables, las cuales no todas son utilizadas para el proceso de control y automatización.

El sistema es monitoreado por el sistema VTSCADA, con una interfaz sin estandarización ni cumplimiento de normas para el manejo apropiado. Según la revisión realizada y comparada con la guía GEDIS. El control lo realiza personal militar desde el puesto de mando donde se supervisan las operaciones.

El sistema actualmente no posee un control de consumo ni administración de este vital recurso, para momentos de escasez. Su dispendio no se encuentra racionalizado, ni optimizado, el consumo se lo realiza sin escatimar un límite en tiempos de sequía o abundancia por temporada. El sistema tampoco posee un control de fugas en sus etapas extracción y distribución.

1.2 Justificación e Importancia

La principal razón para la optimización del sistema de agua potable, es garantizar el suministro permanente del líquido vital, realizando una reducción de consumo en temporada de escasez y ajuste en temporadas de abundancia. Para lo cual se desarrollará

un sistema de control apropiado, que se acople y sea funcional con el sistema automático actual.

La documentación que se obtendrá al realizar el presente proyecto será de gran aporte para la institución ya que en la actualidad no existen respaldos documentados de elementos que la conforman y conexiones de la misma. Además, no existen manuales impresos que indiquen lo implementado y su funcionamiento.

El identificar fugas en la distribución del sistema de bombeo de agua, mediante el control y monitoreo de presión y caudal, servirán para prevenir o identificar problemas con el cual se garantizará un servicio seguro y confiable.

El proyecto busca perfilar un sistema eficiente y racionalizado del agua potable el cual garantice el servicio, mejorando el diseño del sistema de control automático y su distribución, manteniendo la calidad y disponibilidad. El monitorizar y llevar un registro estadísticos del consumo de agua, permite prevenir y actuar frente a escasez, acrecentando el proceso de optimización en el sistema actual.

El proyecto también busca controlar el suministro de agua, cumpliendo con el requerimiento principal, agua permanente 24/7, con ayuda de la automatización del sistema, pretendiendo ser un apoyo para la optimización del consumo y un aporte al medio ambiente y al planeta.

La aplicación de conocimientos adquiridos en la trayectoria estudiantil permitirá el diseño e implementación del control automático para la optimización, en especial los conocimientos adquiridos en PLC y redes industriales. El controlador programable servirá para controlar cada subproceso adecuadamente a través de supervisión y monitoreo, involucrando la red de transporte de datos tanto física como de radio enlace, asegurando el correcto funcionamiento del sistema o indicando fallas de ser necesario para una rápida corrección.

El proyecto que se pretende realizar, es un aporte tanto para el batallón de I.M no. 12 Esmeraldas como para el medio ambiente enlazando el conocimiento adquiridos en la trayectoria estudiantil, con la ecología.

1.3 Alcance del Proyecto

La ejecución del proyecto incluye 4 etapas: 1) Análisis del funcionamiento del sistema de bombeo de agua implementado. 2) Diseño de hardware. 3) Desarrollo de software, 4) Pruebas y análisis de resultados.

En la primera etapa del proyecto se realizará un diagnóstico del sistema originalmente implementado, lo cual permitirá conocer de manera general y específica las necesidades que presenta el sistema como: características de los sensores, controladores y actuadores, espacio de trabajo, distancias para la comunicación, tipo de ambiente etc. Para apoyar y documentar este proceso de identificación se realizarán los respectivos diagramas de conexiones, diagramas P&ID y diagramas de bloques del proceso.

La segunda parte del proyecto consistirá en el diseño de hardware, mediante el conocimiento de las necesidades que demanda el sistema actual para conseguir la optimización de la provisión de agua, se pretende implementar un nuevo sistema de instrumentación, diseño o rediseño del sistema de control y un rediseño del sistema de distribución del agua, el cual demanda un rediseño del sistema de comunicación. Todo esto con el fin de cumplir los objetivos a seguir y garantizar su funcionalidad.

La tercera etapa del proyecto consistirá en el desarrollo de software, desarrollo de subprocesos como: La Lógica de Control a implementar en el controlador PLC, subprocesos de supervisión y monitoreo en el sistema SCADA con el fin de supervisar sensores y actuadores en el proceso de la optimización del suministro de agua. El monitorizar el sistema, proporcionará información la cual se pretenderá analizar,

arrojando datos estadísticos para el manejo de medidas de tendencias, con el propósito de realizar correcciones en el consumo y aportar a la optimización del sistema agua potable.

La cuarta etapa del proyecto consistirá en implementar el diseño y pruebas respectivas. Las pruebas se realizarán para comprobar su eficacia y eficiencia al sistema ya implementado para comprobación de su correcto funcionamiento. Si el diseño necesita algún ajuste, en esta parte se realizaran los ajusten pertinentes.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Optimizar el consumo de agua, en el sistema de bombeo de agua potable del batallón de I.M No. 12 Esmeraldas, mediante el diseño y desarrollo de un sistema de control automático.

1.4.2 Específicos

- Identificar las necesidades y requisitos del sistema de bombeo de agua potable, para su optimización.
- Garantizar un sistema de control automático confiable, mediante el desarrollo de una ingeniería básica y de detalle ceñida a normas internacionales.
- Mejorar la eficiencia del sistema de control automático a través del diseño de una lógica de control adecuada a las necesidades del sistema de provisión de agua.

- Facilitar la operación del sistema mediante el uso de interfaces HMI normalizadas y amigables con el operador.
- Garantizar el correcto funcionamiento del sistema mediante las pruebas y análisis de resultados.
- Facilitar el mantenimiento del sistema a través de una documentación apropiada del mismo.

1.5 Descripción del Proyecto

El proyecto consiste en optimizar el sistema de provisión de agua potable de las instalaciones de la Infantería Marina ubicado en Esmeraldas. El sistema actual se encuentra distribuido de la forma que se muestra en la Figura 2

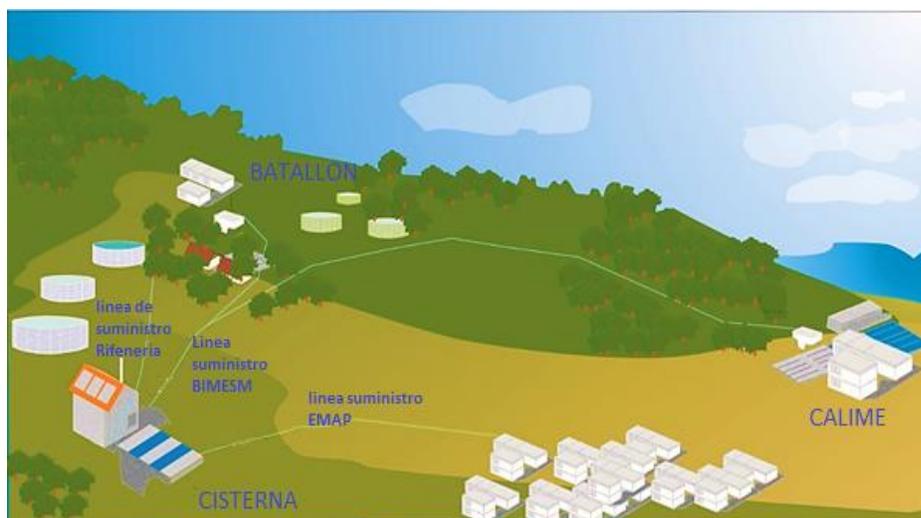


Figura 2. Sistema de Agua Potable BIMESM

El agua que llega a la cisterna, es enviada por la línea de suministro desde refinería pasando por un proceso de tratamiento y potabilización. Desde la cisterna es enviada hacia el batallón y Calime para uso y consumo del personal.

El sistema actual de suministro de agua para el BIMESM no posee un control automático óptimo ni totalmente funcional, por lo cual se diseñará e implementará un sistema robusto fiable y eficaz, que se adapte a las necesidades del sistema.

El sistema de provisión de agua del BIMESM a optimizar cuenta con varios instrumentos existentes en el sistema de distribución de agua, elementos instalados por la empresa que en un principio iba a realizar el proceso de automatización. En gran parte los elementos funcionan adecuadamente y otros necesitan ser reemplazados o necesitan mantenimiento.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Sistemas de Provisión de Agua

2.1.1 Principios Fundamentales

Las instalaciones de agua se deben proyectar y construir de manera tal que:

- Se garantice el suministro de agua en forma continua en cantidad, presión y velocidad adecuadas para el buen funcionamiento de los sensores, actuadores y sistemas de distribución (ABB)
- Preservar rigurosamente la calidad de agua del sistema de suministro. (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

2.1.2 Provisión de agua potable (Obregón , 2014)

2.1.2.1 *Captación*

La captación de aguas superficiales se realiza por medio de tomas de agua que se hacen en los ríos o diques.

El agua proveniente de ríos está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos requiriendo un proceso más complejo para su tratamiento. La turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación varían según la época del año (en verano

el agua de los ríos es más turbia que en invierno). La captación de aguas subterráneas se efectúa por medio de pozos de bombeo ó perforaciones.

2.1.2.2 *Conducción*

Desde la toma de agua del río hasta los presedimentadores, el agua se conduce por medio de acueductos o canales abiertos.

2.1.2.3 *Tratamiento*

- *Presedimentación*

Esta etapa se realiza en piletas preparadas para retener los sólidos sedimentables (arenas), los sólidos pesados caen al fondo. En su interior las piletas pueden contener placas o sedi-tubos para tener un mayor contacto con estas partículas. El agua pasa a otra etapa por desborde.

- Agregado de productos químicos

El agregado de productos químicos (coagulantes) se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

- *Floculación*

Los floculadores mecánicos son paletas de grandes dimensiones, y velocidad de mezcla baja. Son hidráulicos con canales en forma de serpentina en la cual se reduce la velocidad de ingreso del agua produciendo la mezcla.

- *Sedimentación*

La sedimentación se realiza en decantadores o piletas de capacidad variable, según la Planta Potabilizadora. En ellos se produce la decantación del floc (Conglomerado de partículas sólidas que se genera a través de los procesos de coagulación y floculación), que precipitan al fondo del decantador formando barro. Normalmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona es de 40 minutos a una hora.

Los decantadores o sedimentadores en su tramo final poseen vertederos en los cuales se capta la capa superior del agua que contiene menor turbiedad por medio de estos vertederos el agua pasa a la zona de filtración.

- *Filtración*

Un filtro está compuesto por un manto sostenido: piedras, grava y arena.

La filtración se realiza ingresando el agua sedimentada o decantada por encima del filtro. Por gravedad el agua pasa a través de la arena, la cual retiene las impurezas o turbiedad residual que queda en la etapa de decantación.

Los filtros rápidos tienen una carrera u horas de trabajo de aproximadamente 30 horas.

Una vez que el filtro colmató su capacidad de limpieza, se lava ingresando agua limpia desde la parte inferior del filtro hacia arriba, esto hace que la suciedad retenida en la arena, se desprenda de la misma.

- *Desinfección*

Una vez que el agua fue filtrada, pasa a la reserva, allí se desinfecta según distintos métodos. El más usado es el agregado de cloro líquido. El cloro tiene la característica química de ser un oxidante, lo cual hace que se libere oxígeno, matando los agentes patógenos, por lo general bacterias anaeróbicas.

Durante todo el proceso de potabilización se realizan controles analíticos de calidad como se muestra en la Figura 3.

2.2 Sistemas de Distribución

El agua potable se distribuye por medio de tuberías, o redes de distribución, que parten del depósito de agua hasta el punto donde se necesita de este servicio.

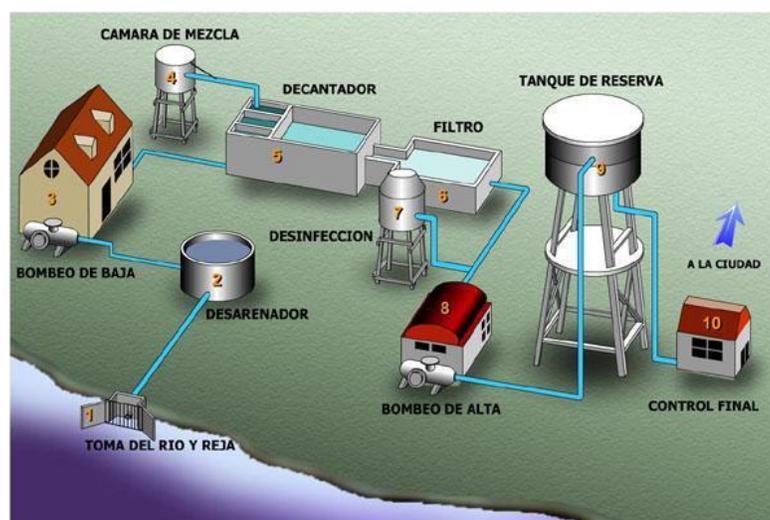


Figura 3. Potabilización del agua

Fuente: (Demócrito, 2009)

2.2.1 Tipos de Distribución

El método por el cual se distribuye el agua va a depender de las condiciones locales, por ello existen 3 tipos: (Demócrito, 2009)

i. Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento

Cuando las fuentes de abastecimiento son aguas superficiales captadas en canales, acequias, ríos, etc. Requieren ser clarificadas y desinfectadas antes de su distribución como se muestra en la Figura 4. Cuando no hay necesidad de bombear el agua, los sistemas

se denominan “por gravedad con tratamiento”. Las plantas de tratamiento de agua deben ser diseñadas en función de la calidad física, química y bacteriológica del agua cruda. (Barrios Napurí, Torres Ruiz, Cristina Lampoglia, & Agüero Pittman, 2009)

Estos sistemas tienen una operación compleja, y requieren mantenimiento periódico para garantizar la buena calidad del agua. Al instalar sistemas con tratamiento, es necesario crear las capacidades locales para operación y mantenimiento, garantizando el resultado esperado.

Sus componentes son:

- Captación.
- Línea de conducción o impulsión.
- Planta de tratamiento de agua.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias y/o piletas públicas.

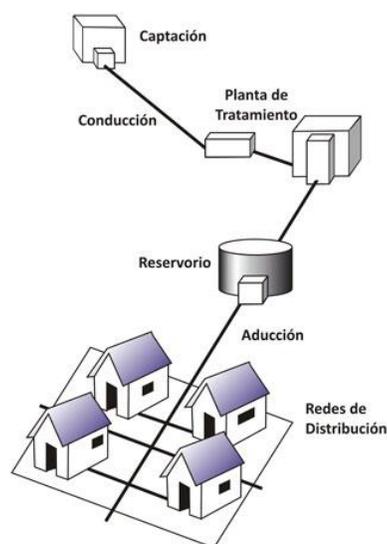


Figura 4. Sistema de abastecimiento por gravedad

ii. Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento

Los sistemas por bombeo con tratamiento requieren tanto la planta de tratamiento de agua para adecuar las características del agua a los requisitos de potabilidad, como un sistema de bombeo para impulsar el agua hasta el usuario final como se lo puede observar en la Figura 5.

Sus componentes son:

- Captación.
- Línea de conducción o impulsión.
- Planta de tratamiento de agua.
- Estación de bombeo de agua.
- Reservorio.
- Línea de aducción.
- Red de distribución.
- Conexiones domiciliarias

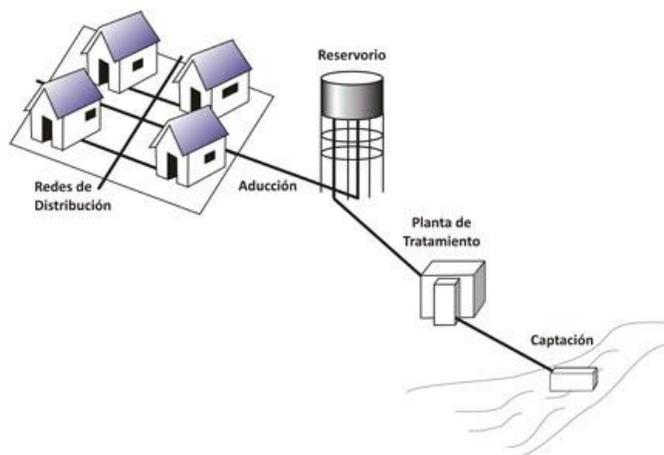


Figura 5. Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento

iii. Empleo de bombas sin almacenaje

En este caso, las bombas introducen el agua directamente en las tuberías. No es aconsejable porque se puede dar la ocasión de un averío en la energía cortando por completo el suministro de agua, o puede haber algún tipo de ruptura en uno de los tubos que permite el paso del agua potable haciendo que la misma se contamine (Barrios Napurí, Torres Ruiz, Cristina Lampoglia, & Agüero Pittman, 2009)

2.3 Sistema de Bombeo de Agua

2.3.1 Estación de Bombeo

Las estaciones de bombeo son un conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución. (Organizacion Panamericana de la Salud, 2005)

2.3.2 Ubicación de la Estación de Bombeo

La ubicación de la estación de bombeo debe ser seleccionada de tal manera que permita un funcionamiento seguro y continuo, para lo cual se tendrá en cuenta los siguiente factores.

- Fácil acceso en la etapa de construcción, operación y mantenimiento.
- Protección de la calidad de agua de fuentes contaminantes.
- Eficiencia hidráulica del sistema de impulsión o distribución.
- Disponibilidad de fuentes de energía eléctrica, combustión u otro tipo.

- Características topográficas y estudios del terreno.

2.3.3 Capacidad de la Estación de Bombeo

Son determinados por factores como: período de bombeo, tipos de abastecimientos, cargas dinámicas o alturas manométricas, tamaño de la población. (Organizacion Panamericana de la Salud, 2005)

2.3.3.1 *Potencia del equipo de bombeo*

Las bombas seleccionadas deben impulsar el volumen de agua para la altura dinámica deseada, con una eficiencia mayor a 70%. Para garantizar que el fluido llegue al lugar deseado.

En situaciones donde se requiere solo un equipo de bombeo, se debe instalar un sistema de reserva idéntico o similar, estableciendo un coeficiente de seguridad del 150% como mínimo. (Organizacion Panamericana de la Salud, 2005)

2.3.4 Bombas

Una bomba es un dispositivo capaz de adicionarle energía a una sustancia fluida para producir su desplazamiento de una posición a otra. (Moromenacho Oña, 2008)

Las bombas son empleadas para aumentar el nivel energético de los fluidos, convirtiendo la energía mecánica en energía hidráulica. (Moromenacho, 2008)

2.3.5 Tipos de Bombas

2.3.5.1 *Dinámicas*

En las cuales se añade energía continuamente, para incrementar las velocidades de los fluidos dentro de la máquina a valores mayores de los que existen en la descarga, de manera que la subsiguiente reducción en velocidad dentro, o más allá de la bomba, produce un incremento en la presión. Las bombas dinámicas pueden, a su vez, subdividirse en otras variedades de bombas centrífugas y de otros efectos especiales. (Corcho & Duque , 2005)

2.3.5.2 *Desplazamiento*

Son aquellas bombas que son excitadas con energía periódicamente, mediante la aplicación de fuerza a uno o más límites móviles de un número deseado de volúmenes que contienen un fluido, lo que resulta en un incremento directo en presión hasta el valor requerido para desplazar el fluido a través de válvulas o aberturas en la línea de descarga. Las bombas de desplazamiento se dividen esencialmente en los tipos alternativo y rotatorio como se observa en la Figura 6, dependiendo de la naturaleza del movimiento de los miembros que producen la presión. (Corcho & Duque , 2005)

2.3.6 Medidor de Caudal

Los Medidores de Caudal son dispositivos que, instalados en una tubería, permiten conocer el flujo volumétrico o caudal que está circulando por la misma, parámetro éste de muchísima importancia en aquellos procesos que involucran el transporte de un fluido. (Automacion, 2010)

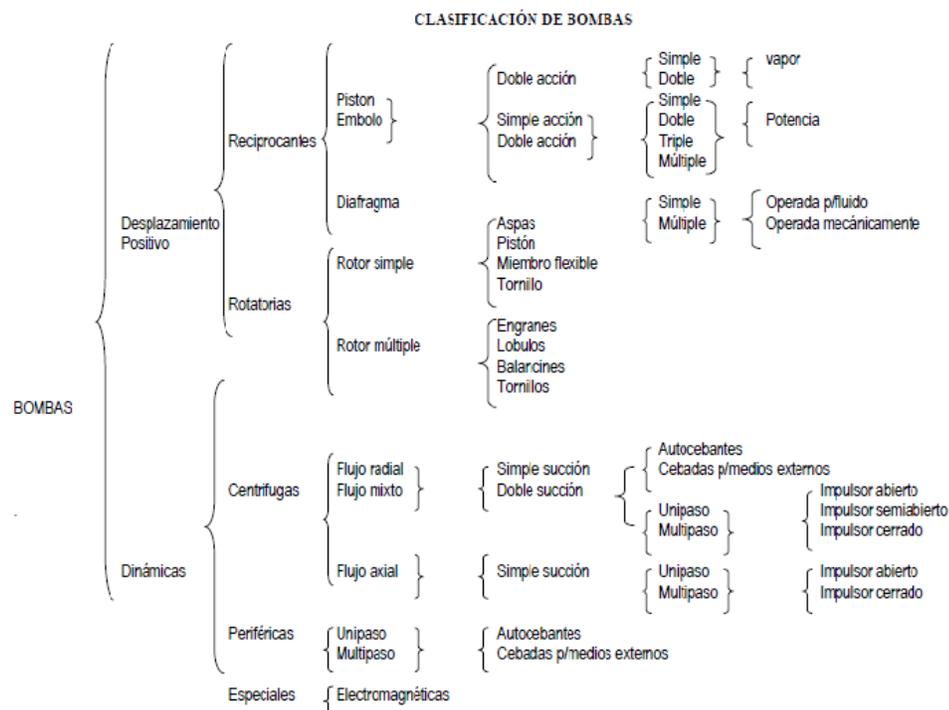


Figura 6. Clasificación de las Bombas

Fuente: (Moromenacho Oña, 2008)

La mayoría de los medidores de caudal se basan en un cambio del área de flujo, lo que provoca un cambio de presión que puede relacionarse con el caudal a través de la ecuación de Bernoulli.

Existen varios tipos de medidores, los más utilizados en la industria son: de Placa Orificio, de Tobera de Flujo y Tubo Venturi. (MagFlux, s.f.)

2.3.6.1 Placa Orificio

Una placa orificio es una restricción con una abertura más pequeña que el diámetro de la tubería en la que está inserta. La placa orificio típica presenta un orificio concéntrico,

de bordes agudos tal como se muestra en la Figura 7. Debido a la menor sección, la velocidad del fluido aumenta, causando la correspondiente disminución de la presión. El caudal puede calcularse a partir de la medición de la caída de presión en las placas del orificio. (Electromatica, 2012)

La placa orificio es un sensor de caudal comúnmente utilizado, pero presenta una presión no recuperable muy grande, debido a la turbulencia alrededor de la placa, ocasionando un alto consumo de energía. (Electromatica, 2012)

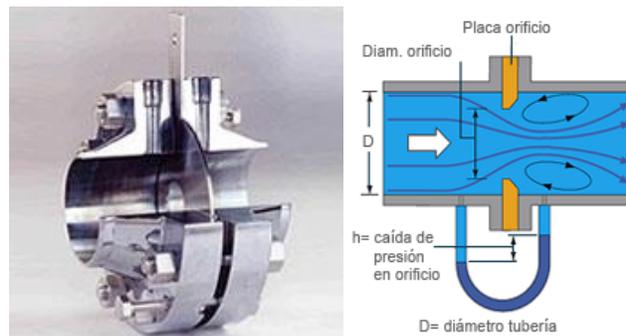


Figura 7. Forma y funcionamiento medidor Placa orificio

Fuente: (Electromatica, 2012)

2.3.7 Válvulas

2.3.7.1 Válvulas de Retención o Check

Previene el retorno de flujo en las tuberías; siendo muy usadas en los árboles de descarga de las estaciones de bombeo. Estas válvulas reaccionan automáticamente a los cambios de dirección de flujo. Serán de preferencia tipo swing con amortiguación hidráulica, neumática o mecánica en el cierre y apertura para evitar golpes de ariete, según

sean las condiciones de la operación. Estas pueden ser de cierre rápido y de cierre lento. Las válvulas de cierre lento se caracterizan por abrir lentamente y evitar la sobre presión al iniciar su operación, pueden estar equipadas con control de velocidad para la apertura y cierre. Las normas de fabricación estarán de acuerdo con la Norma Internacional ISO.

El cuerpo y tapa de la válvula serán de hierro fundido dúctil según DIN 1693/BS 2789. El producto seleccionado para el revestimiento no debe afectar la calidad del agua en las condiciones de uso.

2.3.7.2 Válvula de Control de Bomba

Se utiliza con la finalidad de purgar el pozo para evitar daños a los equipos de bombeo por sobre presiones en el momento del arranque de la bomba. Deberá ser de tipo Globo - Diafragma y deberá instalarse en todas las estaciones de bombeo, entre la salida de la bomba y la válvula check, además deberá estar conectada a la línea de limpieza en los pozos o recircular sea la cisterna en el caso de estaciones de rebombeo.

2.3.7.3 Válvulas de Alivio

Su función es la de controlar los transitorios cambios bruscos de presiones al momento del arranque y parada de los equipos de bombeo, asegurando que estos no sobrepasen los mites de trabajo del sistema y de esta manera evitar daños a las tuberías (roturas). Serán de tipo anticipadora de onda con control de sub y sobre presión (anticipadora y alivio). La válvula de alivio se seleccionará bajo los siguientes (Moromenacho Oña, 2008).

Parámetros:

- Con el máximo caudal de bombeo.
- La velocidad máxima permisible no debe exceder a los 10 m/seg.
- El rango de regulación del piloto de válvula, debe estar dado para la presión máxima de la línea de impulsión + 50%.
- La dimensión de la válvula debe ser proporcional al caudal de bombeo y a la velocidad del flujo.

2.3.8 Medidor de Nivel Ultrasónico

El sensor emite cuatro pulsos de sonido de alta frecuencia por segundo, cada pulso se desplaza por el espacio de aire, refleja en la superficie del líquido y vuelve al transductor. Realizando compensación de temperatura 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 una tecnología ideal para una amplia gama de aplicaciones de líquidos, incluyendo productos químicos, petróleo, agua y aguas residuales. (Automacion, 2010)

2.3.9 Transmisor de Presión

Para la medida de presión con transmisores de presión se requiere un sensor que capta el valor de presión o la variación de la misma y lo convierte de manera exacta y precisa en una señal eléctrica. La señal eléctrica indica el valor de presión recibida. Los cuatro principios más importantes son la medida con sensores resistivos, sensores piezoresistivos, sensores capacitivos y sensores piezoeléctricos. (Gassmann & Gries, 2009)

2.3.9.1 Medición con Sensor Resistivos

El principio de medida con sensores resistivos se basa en la medida de la variación de la resistencia inducida por la deformación en función de la presión tal como se muestra en la Figura 8.

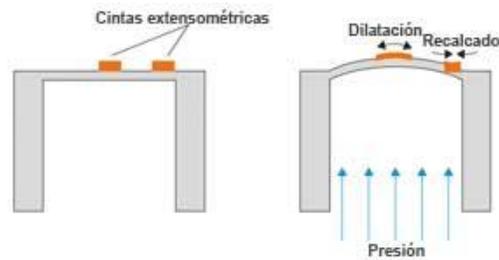


Figura 8. Funcionamiento Sensor Resistivo

Fuente: (Automacion, 2010)

2.3.9.2 Medición con Sensores Piezoresistivos

El principio del funcionamiento para medir la presión con sensores piezoresistivos es similar al de los sensores resistivos. La diferencia reside en la utilización de semiconductores como cintas extensométricas en vez de metal y la deformación provoca en este caso una variación de la resistencia específica su diseño se muestra en la Figura 9. (Eugen Gassmann, 2009).

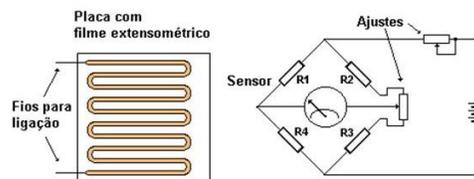


Figura 9. Funcionamiento Sensor Piezoresistivo

Fuente: (Afonso, 2015)

2.3.9.3 Medición con Sensores Capacitivos

Basado en la medición de la capacidad de un condensador que varía en función de la aproximación a la superficie activa como se observa en la Figura 10. Este sistema permite la medición de presión con elevada sensibilidad y por lo tanto la medición de rangos muy bajos hasta unos pocos milibar. (Eugen Gassmann, 2009)

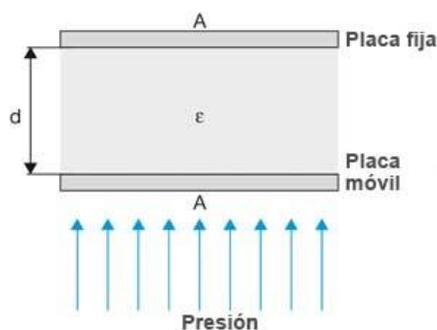


Figura 10. Funcionamiento Sensor Capacitivo

Fuente: (Afonso, 2015)

2.3.9.4 Medición con Sensores Piezoeléctricos

El principio de los sensores piezoeléctricos se basa en un efecto físico que sucede en unos pocos cristales no conductivos como el cuarzo. Cuando se comprime el cuarzo se produce una polarización eléctrica en superficies opuestas. La deslocalización de la estructura cristalina con carga eléctrica genera un momento dipolar que se refleja en una (aparente) carga de superficies. (Eugen Gassmann, 2009)

La intensidad de la carga es proporcional a la fuerza empleada por la presión y la polaridad depende de la dirección. La tensión eléctrica generada por la carga de la superficie puede captarse y amplificarse.

El efecto piezoeléctrico es apto únicamente para la medida de presiones dinámicas, la forma de funcionar se describe en la Figura 11. (Automacion, 2010)

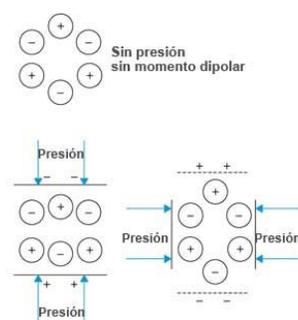


Figura 11. Funcionamiento de Sensor Piezoeléctrico

Fuente: (Automacion, 2010)

2.4 Controladores Lógicos Programables

2.4.1 Qué es un PLC?

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra, Figura 12) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo. Como se puede deducir de la definición, el PLC es un sistema, porque contiene todo lo necesario para operar, y es industrial, por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles que se encuentran en la industria.

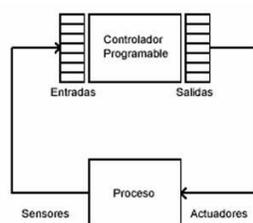


Figura 12. Estructura de un PLC

Fuente (Prieto, 2007)

2.4.2 Funciones de un PLC

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios preprogramados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

Los PLC se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros controladores que, solamente, pueden controlar un tipo específico de aparato. (Prieto, 2007)

2.5 Nivel de gestión: sistema SCADA

SCADA es un acrónimo que significa Supervisory Control and Data Acquisition. Por definición un sistema SCADA está compuesto de un software HMI que utiliza una red para comunicarse con unidades RTU's distribuidas y con PLC's para controlar hardware de manera remota y recuperar información del proceso (Clarke & Reynders, 2004)

CAPÍTULO 3

DISEÑO DE HARDWARE

3.1 Diseño del Sistema de Distribución de Agua.

3.1.1 Diseño del Sistema de Tubería para el sistema de distribución de Agua

3.1.1.1 Requerimientos necesarios para el sistema de distribución de Agua

Este sistema será encargado de transportar el agua desde el cuarto de bombas hasta los reservorios. Para lo cual se debe garantizar el correcto traslado del agua desde el punto de suministro hasta su consumo, la línea de conducción debe seguir en lo posible, el perfil del terreno y debe ubicarse de manera que pueda inspeccionarse fácilmente.

Las tuberías deben cumplir características técnicas que se enmarquen en el sistema a diseñar:

El material de la tubería debe ser de policloruro de vinilo (PVC) o material no corrosivo y resistente, la densidad, la presión máxima, el caudal, estándares, etc.

Siendo el principal factor, la presión para la selección de tuberías. Se deberá seleccionar la tubería apropiada para poder impulsar el agua desde la estación de bombeo hasta los tanques elevados para su almacenamiento y consumo, este tipo de sistema por gravedad maneja grandes presiones que podrían ocasionar desde fisuras hasta rupturas en la tubería, para lo cual se debe garantizar que la tubería a seleccionar deba soportar máximas presiones ejercidas por la acción del traslado de agua.

3.1.1.2 Análisis del sistema de distribución existente.

Las líneas de conducción desde el Cuarto de Bombas – Calime y Cuarto de Bombas-Batallón serán tratadas de forma independientes.

- Tubería Cuarto de Bombas – CALIME

La línea de conducción del agua desde el cuarto de bombas hasta el tanque elevado en CALIME, tiene una distancia de 3.64 kilómetros. La tubería es de dos dimensiones, desde la ESTACIÓN DE BOMBEO hacia el puesto de control DERIVACIÓN, la cual posee una tubería de 3 pulgadas de diámetro y desde la derivación hacia Calime se tiene una tubería de 2 pulgadas de diámetro. Toda la tubería instalada es de la marca ECO-SIS Water Flex, las características se presentan en la **Tabla 1**.

Cabe recalcar que el diseño y dimensionamiento de la tubería fue realizada por el cuerpo de operaciones del batallón de infantería, basados en la potencia del conjunto motor-bomba, con un diámetros de 3 pulgadas para la tubería desde la estación de bombeo- Derivación. Y de 2 pulgadas de diámetro para la tubería desde Derivación-Batallón y Derivación-Calime.

Tabla 1.

Características técnicas de la tubería ECO-SIS

Características Técnicas De la Tubería	
Material	PEMD
Densidad	>930 Kg/m ³ según ISO 1183
Tiempo de inducción a la oxidación 200°C	>50 min según UNE EN 728
Presión máxima	PN 16
Diámetros disponibles	32- 125 mm

Fuente: ECO-SIS Water Flex

Este tipo de tubería es flexible y menos densa que la tubería de PVC. Según el fabricante y el cuerpo de operaciones del BIMESM, es apropiada para utilizar en sistemas

pequeños y medianos de distribución y tratamiento de aguas, cumpliendo con normas UNE-EN e ISO 15877, la presión máxima es definida por las características de la bomba sumergible.

- Tubería Cuarto de Bombas – Batallón

La línea de conducción del agua desde el cuarto de bombas hasta el tanque elevado en Batallón, tiene una distancia de 2.54 kilómetros de tubería. La tubería es de dos dimensiones, desde la estación de bombeo hacia derivación la cual posee una tubería de 3 pulgadas de diámetro y desde la derivación hacia Batallón se tiene una tubería de 2 pulgadas de diámetro.

Toda la tubería instalada en de la marca ECO-SIS Water Flex, **Figura 13**.



Figura 13. Tubería ECO-SIS, tramo batallón

3.1.2 Levantamiento de planimetría para el rediseño de distribución de Agua

A continuación de desarrollan los planos de las tuberías y su ubicación, la cual se empieza desde el cuarto de bombas hasta los reservorios de Calime y Batallón.

La tubería empieza desde la estación de bombeo y termina en los reservorios, se detalla en la **Figura 14**. El diseño civil existente cuenta con una construcción de la cisterna del cuarto de bombas y los reservorios del batallón y Calime.

La planimetría de toda la red de tubería se presenta en el **Anexo A₂**, detallando longitud de la tubería, sectores del trayecto y ubicación.



Figura 14. Diseño de la ubicación de tubería

3.2 Diseño del Sistema de Instrumentación

3.2.1 Ingeniería conceptual y básica para el sistema de instrumentación

3.2.1.1 *Requerimientos necesarios para el sistema de instrumentación*

Este sistema es encargado de medir cada variable, estas mediciones deben ser de forma ininterrumpida para lo cual se debe tener un sistema confiable y que garantice que cada elemento del sistema de agua funcione correctamente. Se necesita instrumentos

robustos y que sean fabricados bajos normas y entandares industriales capaces de soportar al ambiente e intemperie.

La alimentación de los sensores debe ser de forma ininterrumpida para poder garantizar el envío y recepción de tensión, por lo general los sensores analógicos sean de tensión o corriente trabajan con tensión de operación de 12 V DC, 24 V DC y 120 V AC, para ellos se necesita contar con energía permanente para su correcto funcionamiento.

El sistema de bombeo carece de instrumentos de gran importancia, como es un sensor de presión el cual adquiere datos y transmite al sistema de control y de monitoreo para brindar seguridad tanto a la bomba como a todo el Sistema de Bombeo de Agua potable.

La estación está en un estado obsoleto, el sistema no cuenta con un medidor de flujo como parte de la automatización que se debería haber incluido en su etapa de repotenciación. Adicionalmente no cuenta con la protección adecuada a fallas por energía, ya que la energía suministrada por la empresa eléctrica local no es confiable.

En el sector de la derivación no existe la alimentación de energía eléctrica a través de la red eléctrica de la zona, para cual es necesario el uso de paneles solares como medio de suministro eléctrico para alimenta a los actuadores y controladores ubicados en esa zona.

3.2.1.2 Análisis del sistema de instrumentación existente

- Instrumentos y sensores presentes en la estación de bombeo

En la estación de bombeo existen dos manómetros cuya función es medir la presión de las tuberías, estos se encuentran instalados en el inicio de la tubería, con el propósito de conocer la presión en el lugar más cercano a la bomba. Estos instrumentos

son indicadores locales los cuales muestran la variación de presión con un rango de 0 a 600 PSI.

En la estación de bombeo existe un medidor de flujo, este instrumento es de tipo electromagnético marca MJK, modelo MagFlux 7200, actualmente está conectado a la pantalla de visualización que incorpora el medidor. Este instrumento presenta se detallan en la **Tabla 2**.

El instrumento de medición de flujo no está enlazado con el sistema de control y no es monitoreado, su única función en la actualidad es de mostrar las mediciones localmente.

Tabla 2.

Características principales medidor de flujo MJK, Magflux 7200

Interfaz de comunicación	Mdbus RTU/ RS485,
Salida Analógica	Aislada galvánicamente de 4–20 mA (carga máxima de 800Ohms)
Rango de escala	Desde 0.225 a 119 m ³ /h, tubería 2 ½ pulgadas
Temperatura	-20 a 60 °C
Precisión	+/- 0.1 % de la lectura
Suministro de energía	24 V AC, 10 W
Visualizador	Visualizador LCD con tapa blanca (64*128 pixeles)

En la tubería conectada a la bomba existe un medidor de parámetros eléctricos encargado de sensar los valores de corriente y tensión para el arranque de la bomba. El sensor Esta conectado al sistema de control mediante interfaz RS-485. El sensor posee una pantalla montada localmente, ver Figura 16, para visualizar la tensión y corriente de línea, con el fin de poder operar y arrancar la bomba de forma segura.



Figura 15. Medidor de Flujo MJK,, Magflux, Estación de Bombeo



Figura 16. Visualizador LCD Magflux y medidor de parámetros eléctricos

- Instrumentos y sensores presentes en el reservorio Batallón

Este reservorio se divide en dos tanques elevados, cada uno incluye su instrumentación para medir el nivel de agua.

- Reservorio Batallón- Gate 8.

Este tanque se encuentra en la entrada del batallón y fue una ampliación como parte de la repotenciación del sistema anterior. Cuenta con un medidor ultrasónico de nivel de la marca ToughSonic Modelo TS-30S2-IV de SENIX, el cual está cortocircuitado y es obsoleto, su función es proporcionar al sistema de control el nivel actual del tanque. Ver

Figura 17. El tanque también posee un switch de nivel de marca OMRON modelo 61F-GP-V50, el switch envía señal discreta de desbordamiento del nivel máximo.



Figura 17. Sensor ultrasónico y Switch de nivel, Gate 8

- Reservorio Batallón- Planchada.

Este tanque se encuentra cerca de las instalaciones del batallón. Cuenta con un medidor ultrasónico de nivel de la marca ToughSonic Modelo TS-30S2-IV de SENIX, el cual se encuentra fuera de funcionamiento por falta de mantenimiento y se encuentra desconectado, su función es proporcionar al sistema de control el nivel actual del tanque.

El tanque también posee un switch de nivel de marca OMRON modelo 61F-GP-V50, el switch envía señal discreta de desbordamiento del nivel máximo.

- Instrumentos y sensores presentes en Calime

Es el reservorio más alejado y su consumo es destinado a las tropas. Este cuenta con un medidor ultrasónico de nivel de la marca ToughSonic Modelo TS-30S2-IV de SENIX, su función es proporcionar al sistema de control el nivel actual del tanque.

El tanque también posee un switch de nivel de marca OMRON modelo 61F-GP-V50, el switch envía señal discreta de desbordamiento del nivel máximo. Ambos instrumentos se encuentran instalados y operando en Calime ver **Figura 18**.



Figura 18. Sensor ultrasónico y Switch de nivel, Reservorio Calime

3.2.1.3 Señales y variables a ser medidas

Las magnitudes físicas que medirá el sistema de instrumentación son Caudal, Nivel y Presión, a continuación se detalla la medición y su rango.

- Señales y Variables presentes en el Cuarto de Bombas

Medida de Caudal: conocer los valores del caudal que se están transmitiendo a través de bombeo, en pruebas se dieron medidas de 6.1 LPS en promedio. Medidas realizadas por el medidor de flujo MJK, Magflux 7200 el rango del medidor va desde 0 a 33 LPS.

Medida de Presión: es importante adquirir datos de esta magnitud en la salida de la estación de bombeo, en este punto se necesita tener un transductor de presión que interprete las medidas, estos valores fluctúan dependiendo de hacia el lugar al que se desee bombear el agua, si el bombeo es en dirección Calime su valor promedio medido es de 394 PSI, si el bombeo es en dirección Batallón su valor promedio medido es de 374 PSI. Medidas obtenidas por el manómetro indicador de presión ubicado en el inicio de la línea de impulsión.

La diferencia de presión entre los dos reservorios es debido a la cota, ya que el reservorio en Calime se encuentra a una cota de 190 Metros sobre el nivel del mar y el reservorio del Batallón se encuentra en una cota de 160 metros sobre el nivel del mar. Las distancias entre la estación de bombeo y los reservorios también influyen en la variación de presión. Teniendo una distancia de 4 km desde la estación de bombeo hasta el batallón y de 7 km desde la estación de bombeo hasta calime. Por tales condiciones la presión será mayor para el calime y menor en el batallón.

Medida de nivel: todo el sistema de control se basa en niveles por lo tanto es una de las variables más importantes en el sistema de bombeo de agua, las medidas de nivel varían dependiendo del volumen de líquido en cisterna. El nivel en la cisterna no debe bajar a menos de 100 cm como condición para un correcto funcionamiento de la bomba. Las medidas se las realiza mediante el sensor ultrasónico y el switch de nivel ambos instalados en la cisterna del cuarto de bombas. El resumen de las variables medidas en la estación de bombeo se detalla en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo

Variables	Rango
Caudal	0-33 LPS
Presión	0 – 600 PSI
Nivel	0 – 250 cm

- Señales y Variables presentes en el Reservorio Calime

Nivel de tanque: la variable medida en este reservorio es el nivel de agua dentro de la cisterna, el tanque posee una altura de 180 cm. La variable es medida ininterrumpidamente por su importancia ya que los niveles no deben llegar a valores críticos, estos valores están entre 97% y 33,3 % de la altura de la cisterna es decir valores entre 175 cm como valor máximo de llenado y 60 cm como valor mínimo, para solicitar

de manera inmediata que abastezca de agua. En la siguiente **Tabla 4**, se detallan las variables a medir

Tabla 4.

Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo

Variables	Rango
Nivel	0 – 180 cm

- Señales y Variables presentes en el Reservorio Batallón

El Batallón se encuentra dividido por tanques, tanque Batallón- Gate 8 y tanque Batallón-Planchada. El tanque Batallón- Planchada es un tanque de más bajo nivel de altura conectado directamente al tanque Batallón - Gate 8, el cual es llenado por gravedad, en los dos tanques se encuentran instrumentos con el mismo número de elementos, para medir nivel y realizar un control y monitoreo.

Nivel de tanque: la variable medida en este reservorio es el nivel de agua dentro de la cisterna, el tanque posee una altura de 175 cm. La variable es medida ininterrumpidamente por su importancia ya que los niveles no deben llegar a valores críticos, estos valores están entre 97.2% y 34,3 % de la altura de la cisterna es decir valores entre 170 cm como valor máximo de llenado y 60 cm como valor mínimo, para solicitar de manera inmediata que abastezca de agua. En la siguiente Tabla 5, se detallan las variables a medir.

Tabla 5.

Magnitudes y rangos de medida de estación de bombeo

Variables	Rango
Nivel	0 – 175 cm

3.2.1.4 Elaboración de diagramas P&ID para el sistema de instrumentación en el sistema de bombeo de agua potable.

El diagrama P&ID, **Figura 21**, fue diseñado para presentar los instrumentos tanto existentes como los necesarios para el procesos de automatización y optimización del sistema actual. Los instrumentos existentes en el diagrama serán usados para medir las variables como: caudal, presión y nivel en tanques. Adicionalmente se presenta la comunicación de los controladores con los instrumentos.

- Elaboración de diagramas unifilares eléctricos

En este punto se tratará de las conexiones eléctricas de estación de bombeo y los reservorios Batallón y Calime.

Diagrama unifilar eléctrico: es donde se detallan las conexiones de alimentación y señales de datos de los sensores, actuadores y demás instrumentos. El primer diagrama diseñado fue el de la alimentación principal de línea para el cuarto de bombas en este diagrama se muestran las líneas y los equipos que van conectados tal como se presenta en la **Figura 19**. Las líneas de tensión son 120 V AC.

La Alimentación principal deriva en protecciones de sobre tensión y cada puesto de control cuenta con un UPS para garantizar el suministro a los instrumentos.

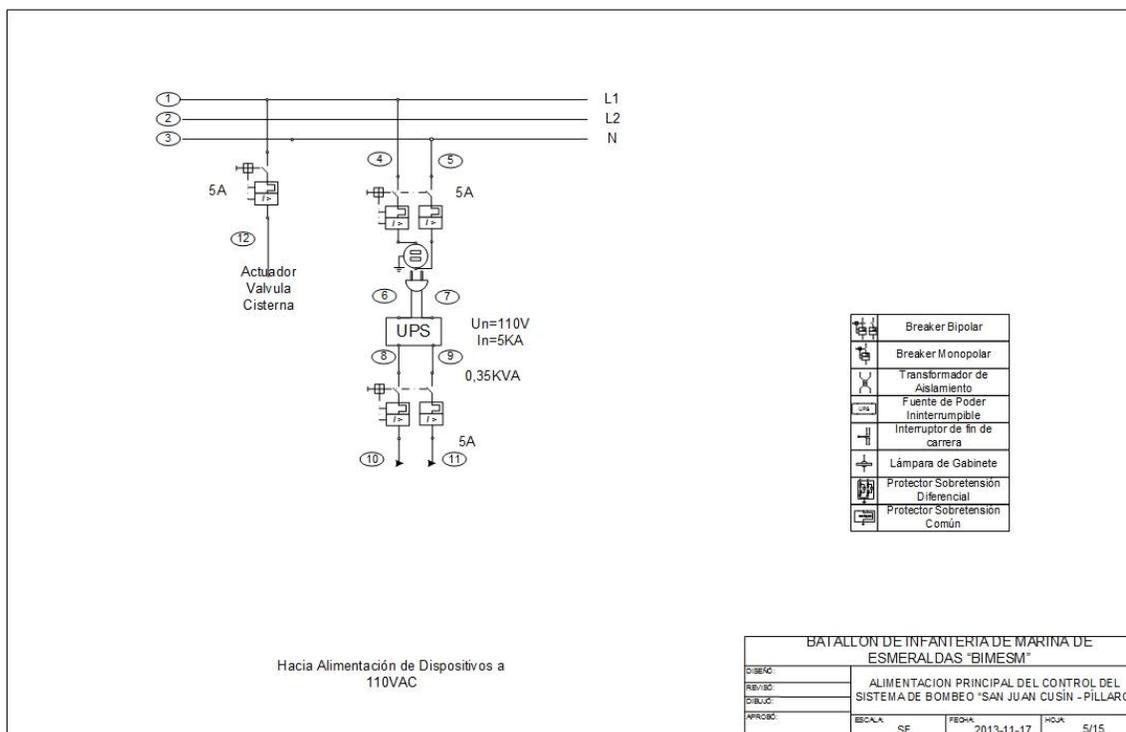


Figura 19. Alimentación principal del sistema de agua BIMESM.

3.2.2 Ingeniería de detalle para el sistema de Instrumentación

3.2.2.1 Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje

En esta sección se desarrollarán los planos eléctricos necesarios para el montaje de cada sensor que formará parte del sistema de instrumentación. Como parte de la automatización del sistema de bombeo de agua potable, en el plano se detallará las conexiones de alimentación, conexiones con el controlador, etc.

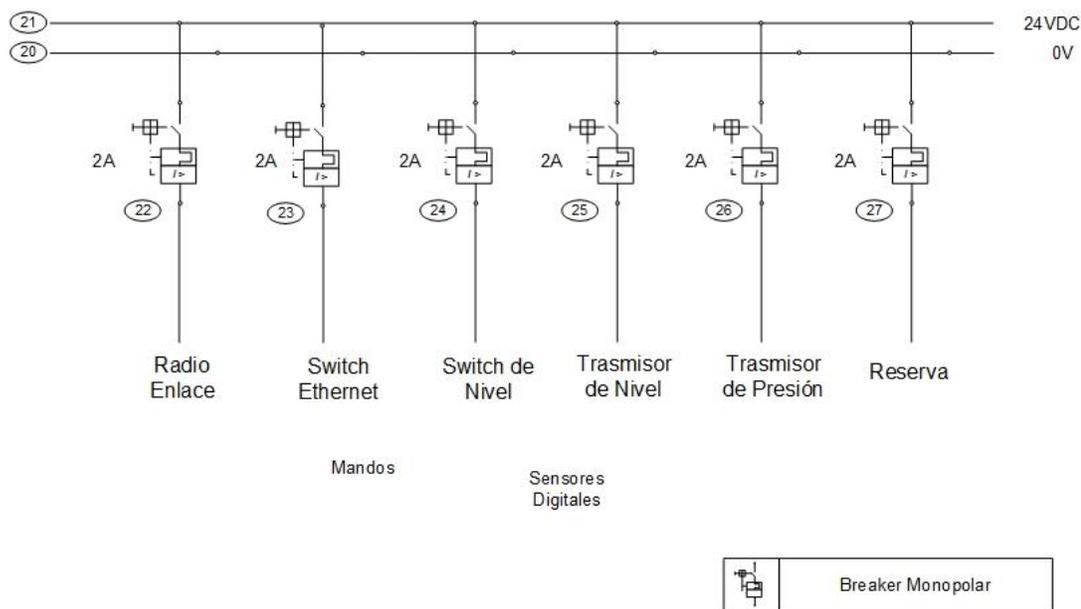


Figura 20. Diagrama Unifilar Eléctrico, Alimentación de dispositivos 24 V DC

3.2.2.2 Planos eléctricos para Estación de Bombeo BIMESM

- Diagramas eléctricos para Estación de Bombeo.

La estación de bombeo debe contar con instrumentos para la medición de caudal, presión y nivel, cada una de esas señales deben ser leídas por el controlador, para su procesamiento y control.

Las señales de los instrumentos a ser medidos serán los siguientes:

- Medidor de Caudal → Señal Analógica en corriente de 4 a 20 mA.
- Transmisor Presión → Señal Analógica en corriente de 4 a 20 mA.
- Sensor ultrasónico de Nivel → Señal Analógica en corriente de 4 a 20 mA.
- Switch de Nivel → Señal discreta de 0 a 24 VDC.

Los planos desarrollados se encuentran presentes en el **Anexo B**

3.2.2.3 *Planos eléctricos para Reservorio Calime.*

- Diagramas eléctricos para el Reservorio Calime

Este punto del reservorio debe contar con instrumentos para la medición de nivel, cada una de esas señales deben ser leídas por el controlador, para su procesamiento y control.

Las señales de los instrumentos a ser medidos serán los siguientes:

- Señal sensor ultrasónico de Nivel
- Señal de Switch de Nivel

Los planos desarrollados se encuentran presentes en el **Anexo C**

3.2.2.4 *Planos eléctricos para Reservorio Batallón.*

- Diagramas eléctricos para el Reservorio Batallón.

El reservorio debe contar con instrumentos para la medición de nivel, cada una de esas señales deben ser leídas por el controlador, para su procesamiento y control.

El Reservorio del Batallón cuenta con dos Tanques elevados: tanque Batallón-Gate 8 y tanque Batallón – Planchada. Ambos tanques poseen el mismo número de sensores y el mismo tipo de sensores. Por lo cual se presentará un diagrama para los dos tanques.

Las señales de los instrumentos a ser medidos serán los siguientes:

- Señal sensor ultrasónico de Nivel
- Señal de Switch de Nivel

Los planos desarrollados se encuentran presentes en el **Anexo D**

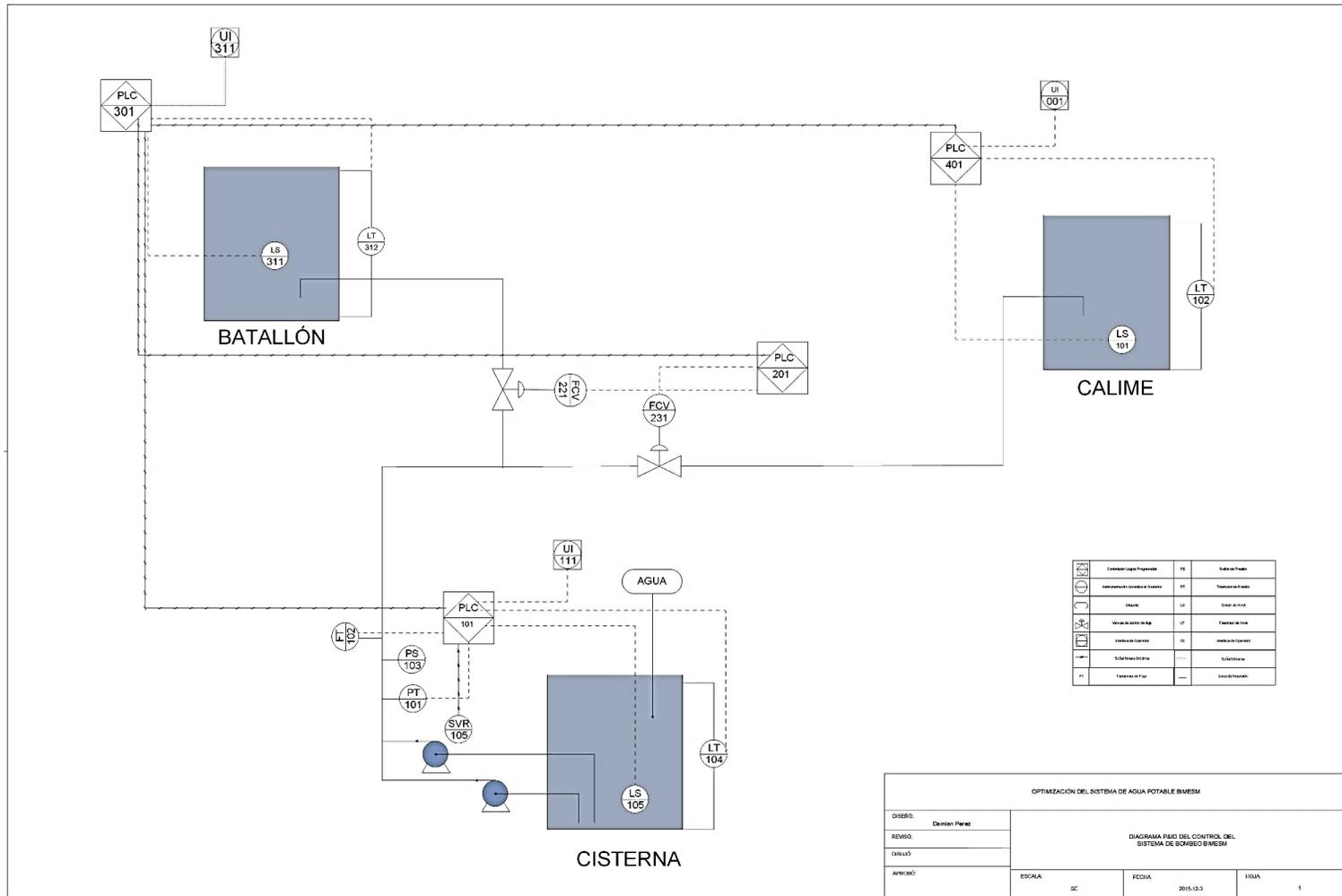


Figura 21. Diagrama P&ID del sistema de bombeo de agua

3.3 Diseño del Sistema de Control

3.3.1 Ingeniería conceptual y básica para el Sistema de Control

3.3.1.1 Requerimientos necesarios para el Sistema de Control

Este sistema será encargado de operar y controlar de manera tanto manual como automática todos los elementos y procesos existentes en todo el sistema de bombeo de agua potable del BIM-ESM. Deberá ser capaz de adquirir los datos de cada sensor y según su lectura realizar acciones de control establecidas con el principal objetivo de optimizar el proceso de conducción del agua.

El principal dispositivo a tratar en esta sección es el controlador lógico programable, el cual deberá disponer capacidades de interpretación de señales adquiridas como: señales analógicas y discretas, capacidad de integración con diferentes fabricantes de instrumentación, capacidad de comunicación con otros controladores, etc.

Los controladores deben manejar señales eléctricas tanto en corriente y tensión, con el objetivo de poder ajustarse a trabajos con actuadores y sensores que operan bajo estándares dependiendo del fabricante.

Los controladores deben cumplir con norma IEC-61131 (Commission, 2006), que presenten requerimientos mínimos y aseguren las comunicaciones ente los PLC's y otros sistemas. Dentro de este sistema se consideran actuadores, a elementos como bombas siendo el elemento final de control. Los equipos usados para arrancar motores eléctricos como arrancadores suaves o variadores de frecuencia se consideran como parte del sistema de control.

3.3.1.2 Análisis de elementos de control y actuadores existentes

- Elementos de control existentes en Estación de Bombeo

La Estación de Bombeo cuenta con un actuador rotatorio con la finalidad de abrir o cerrar el paso de flujo de agua para almacenamiento en la cisterna del cuarto de bombas mostrado en la **Figura 22**. El control de este elemento es automático.



Figura 22. Actuador rotatorio BELIMO, Cuarto de Bombas

Conjunto Motor – Bomba, la estación actual posee un solo conjunto, la cual se detalla a continuación

Motor: trifásico tensión de operación 230 V a 60 Hz su posición de operación es Horizontal totalmente sumergible. Las características se presentan en la **Tabla 6**.

Tabla 6.
Características Motor Sumergible Wilo TWI 6”

Descripción técnica Motor Sumergible, Wilo TWI 6	
Diámetro:	6”
Potencia:	25 Hp
Velocidad:	3450 rpm
Arranque:	Directo con tres cables
Eficiencia mínima:	83%
Factor de servicio:	1,15
Longitud del motor:	919 mm
Peso del motor:	75 kg
Conexión a la bomba:	Mediante brida normalizada.

Bomba: Marca Wilo, modelo: TWI6.90-26.300 la bomba Es totalmente sumergible en posición horizontal la bomba posee un caudal de 90 GPM, el conjunto de motor-bomba tiene una longitud de 2532 mm. Las características se presentan en la **Tabla 7**.

Tabla 7.

Características Bomba sumergible Sumergible Wilo TWI 6- 90 GPM

Descripción técnica Bomba Sumergible, Wilo TWI 6 - 90 GPM	
Diámetro exterior:	6"
Caudal:	95 GPM
TDH:	800 Pies de columna de agua
Arranque:	Directo con tres cables
Eficiencia en el punto de	72%
Material de construcción:	Acero inoxidable
Longitud de la bomba:	1613 mm
Peso del motor:	75 kg
Conexión a la bomba:	Mediante brida normalizada.

El arranque de los motores se realiza mediante un arrancador suave de la marca ABB tipo PSE utilizado en motores trifásicos. Según las características del motor utilizado, se cuenta con un ABB SoftStarter los detalles se presenta en la **Tabla 8**

Tabla 8.

Características Arrancador suave ABB tipo PSE

Descripción técnica Bomba Sumergible, Wilo TWI 6 - 90 GPM	
Corriente de	Individual
Voltaje de Operación	208 - 600 V CA
Comunicación	Bucle 4 a 20 mA
Tiempo de aceleración	1 a 30 segundos
Tiempo de	1 a 30 segundos
Voltaje Inicial	30 al 100%
Corriente Inicial	1.5 a 7* I nominal
Frecuencia	60 Hz

- Elementos de control existentes en Sector Derivación

El sector de derivación cuenta con dos actuadores rotatorios con la finalidad de direccionar el flujo de agua hacia el batallón o Calime. Estos actuadores son de marca BELIMO, cumpliendo con abrir o cerrar el paso de flujo de agua hacia uno de los dos puntos de reserva, Batallón o Calime. Ver **Figura 23**.



Figura 23. Actuadores Rotatorios BELIMO, zona de bifurcación

3.3.1.3 Elementos y variables a ser controladas

- Elementos y variables a ser controlados en el Cuarto de bombas

Control de nivel: para esta variable no se puede ejercer ningún tipo de control directo, su función es proporcionar información para control de la bomba. Lo que se debe conocer es que si el nivel de la cisterna desciende a menos de 100 cm los motores no deban operar. El control del arranque de los motores debe depender del nivel del líquido de la cisterna.

Se controlará el arranque de cada motor de la siguiente manera, primeramente para arrancar cualquier motor se debe evaluar el estado de la variable de nivel, si los valores son los correctos se puede entrar en el proceso de arranque. Para el arranque del motor se usará un arrancador suave. Con él se tendrá un control de su encendido.

El proceso de arranque para los motores debe ser luego de verificar las variables de nivel. Arrancará con un tiempo de aceleración de 15 segundos, y su apagado también tendrá el mismo tiempo. Valores ajustados en el arrancador suave con el propósito de verificar si existiera un error y poder corregir.

También se controla el actuador que da apertura al ingreso de flujo de agua a la cisterna del cuarto de bombas, este se lo controla mediante la lectura de la variable de nivel. Si el nivel está en crítico-alto, es decir 240 cm de altura en la cisterna, se comanda para que el actuador cierre el paso del flujo y si su estado es siempre abierto para que el nivel siempre este por encima del nivel crítico-bajo del 100 cm.

- Elementos y variables a ser controlados en el Sector Derivación

El control en este sector lo realiza el conjunto de actuadores de la marca BELIMO, estos actuadores ejercen poder sobre las válvulas que direccionan el flujo de agua para los dos reservorios Batallón o Calime.

El control de los actuadores se lo realiza de modo remoto y de formar manual o automática. Los actuadores desvían la dirección del agua dependiendo de la instrucción impartida por el controlador previamente programada.

3.3.1.4 Elementos del Sistema de Control.

En este punto se tratará de los Controladores Lógicos Programables, todo el sistema va a estar controlado por medio de estos dispositivos, cada puesto de control contará con un controlador, el cual se encargará de ejecutar la lógica programada y así tener la potestad sobre toda la instrumentación del sistema.

Los Controladores Lógicos Programables permiten integrar el sistema mediante una red de comunicación, monitorear las variables existentes en la línea de conducción,

con el objetivo de evitar desbordamiento en los tanques de almacenamiento o cisterna, automatizar los procesos en la estación de bombeo o tanques con el fin optimizar el sistema de conducción de aguas.

Para el análisis del número de puestos de control para todo el sistema a automatizar se divide en tres etapas:

- Estación de Bombeo- derivación

Para la línea de conducción Estación de bombeo – Derivación se estableció dos puntos para el control y monitoreo del proceso de distribución, el primer punto es necesario para el control y operación de la bomba y el conjunto de instrumentos, en el puesto de control Derivación es necesario controlar la apertura y cierre de las válvulas para el cambio de dirección. Siendo un total de dos controladores para esta línea de conducción.

- Derivación- Calime

Para la línea de conducción Derivación – Calime se han establecido dos puntos para el control y monitoreo del proceso de conducción, por lo tanto se debe contar con controladores en los siguientes puntos, Estación de bombeo, Derivación y Calime. Siendo un total de un controlador para esta línea de conducción. Ya que el controlador de Derivación ya fue tomado en cuenta en el anterior punto.

- Derivación- Batallón

Para la línea de conducción Derivación- Batallón se han establecido tres puntos para el control y monitoreo del proceso de conducción, por lo tanto se debe contar con controladores en los siguientes puntos, Derivación, Gate 8 y Puesto de Mando Principal. Siendo un total de dos controladores para esta línea de conducción. Ya que el controlador de Derivación ya fue tomado en cuenta los dos puntos anteriores.

En total el número de controladores que el sistema demanda es de 5. El primer puesto de control será, Estación de bombeo PLC 1, el segundo puesto de control será, Derivación PLC 2, el tercer puesto de control será Calime, el quinto puesto de control será, Gate 8 y el quinto puesto de control será, Estación principal.

- Puesto de Control Estación de Bombeo

La Estación de Bombeo cuenta con un PLC de la marca Siemens S7-1200, modelo 1214 AC/DC/RLY. Adquirido por el batallón desde el inicio del proceso de automatización.

Con el cual se adquiere las señales provenientes de los sensores, estas señales son tratadas y dependiendo de la lógica se tomará decisiones que derivarán en respuestas dirigidas a los elementos finales a controlar.

Las señales de lectura realizadas por el controlador son: Caudal, Presión y Nivel y las señales enviadas por el controlador serán dirigidas a los Actuadores rotatorios de las válvulas mariposas y conjunto Bomba-Motor.

- Puesto de control Derivación.

El puesto de control Derivación cuenta con un PLC de la marca Siemens S7-1200, modelo 1214 AC/DC/RLY

Con el cual se adquieren las señales provenientes de los actuadores, estas señales son tratadas y dependiendo de la lógica se tomarán decisiones que derivarán en respuestas dirigidas a los elementos finales.

Las señales de lectura por el controlador son: estado de los Actuadores y las señales enviadas por el controlador serán dirigidas a los mismos Actuadores.

- Puesto de control Calime y Gate 8

Puestos de control: Calime y Gate 8 tienen las mismas características y ambos cuentan con un PLC de la marca Siemens S7-1200, modelo 1212 AC/DC/RLY. Con el cual se adquieren las señales provenientes de los sensores, estas señales son tratadas y enviadas al sistema de control y dependiendo de la lógica se tomarán decisiones que derivarán en respuestas dirigidas a los elementos finales a controlar.

Las señales de lectura por el controlador son: Nivel y las señales enviadas por el controlador serán dirigidas a los Actuadores y el conjunto Bomba-Motor.

- Puesto de control Puesto de Mando Principal

Puestos de control: Puesto de Mando Principal cuenta con un PLC de la marca Siemens S7-1200, modelo 1214 AC/DC/RLY. Con el cual se adquiere las señales provenientes de los sensores, estas señales son tratadas y enviadas al sistema de control y dependiendo de la lógica se tomará decisiones que derivarán en respuestas dirigidas a los elementos finales a controlar.

Las señales de lectura por el controlador son: Nivel y las señales enviadas por el controlador serán dirigidas a los Actuadores y Bomba.

3.3.1.5 Diagramas de Control para los sistemas

En los siguientes diagramas se muestra la conexión del sistema de control, cumpliendo con los requerimientos de la automatización, con el propósito de controlar y monitorear el Arranque de la bomba, monitoreo y control de variables existentes.

La **Figura 24** muestra la arquitectura de control necesaria en la estación de bombeo, se destacan las señales de control, fuerza, proceso, sensor y software para la comunicación.

La **Figura 25** muestra la arquitectura de control necesario para los reservorios: Batallón y Calime, se destaca las señales de sensor y software para la comunicación.

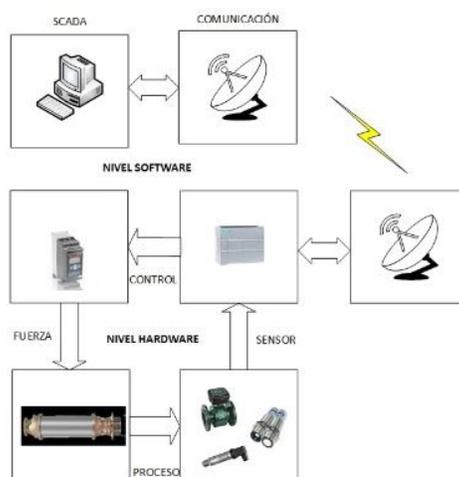


Figura 24. Arquitectura de control, Estación de Bombeo

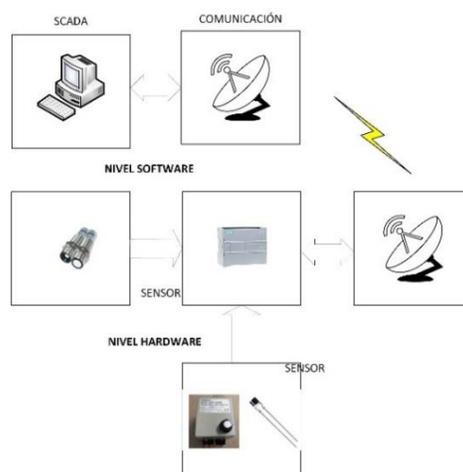


Figura 25. Arquitectura de control, Reservorios: Batallón, Calime

3.3.2 Ingeniería de detalle para el Sistema de Control

3.3.2.1 *Levantamiento de planos y diagramas eléctricos de montaje*

Elaboración de los diagramas unifilares para la instalación eléctrica de controlador y actuadores.

El primer plano a presentar en el **Anexo E-1 y E-2**. Es de las conexiones eléctricas del arrancador Suave y variador de frecuencia conectados al tablero de control. Está diseñado para el motor sumergible de 25 Hp trifásico y tensión de operación 230 V AC.

3.3.2.2 *Selección de conductores eléctricos*

Para brindar la seguridad y protección a los instrumentos y elementos de maniobra se debe dimensionar los conductores eléctricos con el fin de garantizar el envío y recepción de la señal eléctrica.

Los conductores eléctricos para las conexiones de luces pilotos, bobinas, contactos, interruptores, pulsadores, sensores y actuadores se seleccionan dependiendo de la escala AWG. Conociendo las características de los elementos a conectar se realiza un análisis de que calibre de conductor deberá ser el apropiado. El dimensionamiento se lo realizará en los siguientes puntos.

- Elementos de señalización

Estos elementos de la marca ABB, 22 mm de diámetro ubicados en el tablero de control de la estación de bombeo. Tensión de operación 110 V AC corriente 200 mA, temperatura de operación 25 a 70 °C.

Según los datos obtenidos de los elementos de mando y señalización, el calibre de cable escogido es AWG 22 de cobre y flexible, con una corriente máxima de 2.5 A.

- Elementos de mando

Los contactos del relé serán usados para habilitar las operaciones de arranque y paro del motor en el variador de frecuencia y arrancador suave. El Contacto de relé NO y NC de la marca OMRON que operan a tensión de 110 V AC y corriente nominal de 500 mA. La selección del cable según la escala AWG 20, de cobre y tipo flexible.

Los actuadores en la estación de bombeo y sector derivada poseen contactos de relé interno. Las características los de Actuadores marca BELIMO son: V 24 VAC / I 0.6A/ 50/60 Hz. Para lo cual se seleccionó el tipo de cable AWG 22 de cobre y tipo flexible.

- Transmisor de Presión SIEMENS SITRANS P Series Z Type 7MF1564

El sensor de presión presente en la estación de bombeo funciona bajo las siguientes características de alimentación: 24 V DC / 60 HZ/ 100 mA. Y temperatura de operación -25 a 85 °C. Con lo cual se dimensiona el conductor según las normas AWG el cable seleccionado es de calibre 22 AWG flexible.

- Medidor de flujo marca MJK, modelo MagFlux 7200

El medidor de flujo cuenta con su propio conductor eléctrico de conexión directa al controlador, este conductor es tipo apantallado y calibre 22 AWG. El conductor eléctrico es utilizado para la conexión de las salidas analógicas de 4 a 20 mA.

- Sensor de Nivel, ultrasónico ToughSonic® Modelo TS-30S2-IV de SENIX

Las características de este sensor son las siguientes: 24 V DC / 100 mA, la selección del conductor según las normas AWG el calibre que cumple con las especificaciones es el 24 AWG tipo de cobre flexible.

- Motor eléctrico trifásico 230 V/ 60 HZ/25 HP/ fp 94

Para calcular la corriente de alimentación para el motor trifásico se debe usar la siguiente fórmula siendo I: corriente de línea, P: potencia en kW, fp: factor de potencia y V: tensión de alimentación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V} \quad (1)$$

$$I = \frac{25 \times 0.7456 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 0.94 \times 230} = 49.83 \text{ A}$$

Para conductores que alimentan un solo motor, la corriente nominal a plena carga se multiplicará por 1,25 según la norma CPE INEN 019 como reglamento de seguridad estandar, entonces el valor final será de $49.83 * 1.25 = 62.28 \text{ A}$. por lo tanto el conductor seleccionado según la escala AWG es de calibre 8 AWG tipo THW/ 600 V/ 75 °C.

3.3.2.3 Dimensionamiento de elementos de protección

- Selección de fusibles para la protección de sobre corriente y cortocircuito

Los fusibles cumplen la función de protección de los equipos eléctricos, se encuentran ubicados en el tablero de control y a lo largo de la línea de conducción.

- Fusibles para el tablero de control en Estación de Bombeo.

La protección brindada a equipos eléctricos en el tablero de control se clasifica dependiendo del nivel de corriente que circula por los conductores. La corriente total en luces pilotos, relé, alimentación de PLC y alimentación de instrumentación se considera una corriente de 2 A, la fuente DC 2.5 A y en los actuador 2 A. la selección de fusible sería de 2 A y 600 V para fuentes DC, 3 A y 600 V para actuadores y válvulas y un fusible de 5 A y 600 V para al ingreso del tablero.

- Selección de interruptores termo magnéticos e interruptores automáticos para el circuito de control de motores.

Según las características del circuito de arranque del motor en la estación de bombeo se tiene 230 V/ 62 A. como se calculó en la sección anterior. Para ello se selecciona el juego de interruptores termo magnético.

Interruptor termo magnético mono polar 2 A/ 110 V, para instrumentación de la estación de bombeo: PLC, medidor de flujo medidor de parámetros eléctricos. Marca ABB modelo SH201M-D 2.

Interruptor termo magnético mono polar 10 A/ 230 V, para protección del PLC. Marca ABB modelo SH202M-D 10.

Interruptor termo magnético tripolar 50 A/ 230 V, para protección de línea trifásica. Marca ABB modelo SH203M-D 50.

Para dimensionamiento del interruptor termo magnético. Se toma en cuenta la potencia total del sistema dividida para la tensión de la línea y aumentado un 25% de la corriente nominal y con ello garantizar un óptimo desempeño y eficiencia. Interruptor termo magnético automático en caja moldeada 80A / 220 V, protección para el arrancador suave y conjunto Bomba-Motor. Marca ABB modelo Tmax XT. Los equipos de protección se muestran en la **Figura 26**.



Figura 26. Elementos de protección Interruptores Termo Magnéticos

3.3.2.4 Diagrama eléctrico para conexión de tableros de control en cuarto de bombas

Se detalla en el **Anexo F** el diagrama del tablero con la ubicación de cada elemento, los elementos dentro del tablero se detallan en la **Tabla 9**.

Tabla 9.

Elementos del tablero de control Estación de Bombeo

1. Breaker Tripolar Caja Moldeada	Corriente y Tensión: 50A /220V
2. Variador de Frecuencia	Características técnicas: 20HP, 220V, 3P
3. Contactor	Características técnicas :220V 30A
4. Fuente de poder	Características técnicas: 110VAC 24VDC 2.5A
5. Breaker Bipolar	Características técnicas: 10 A 220V
6 PLC	Características técnicas: 110VAC 12DI 10DO 4AI 1ETH 1MBRTU
7. Transformador	Características técnicas: 220/110V 200VA
8. Breaker Bipolar	Características técnicas: 5 A 110V
9. Breakers Monopolares	Características técnicas: 1 A y 2 A 110V
10. Borneras	Características técnicas: 6 mm, 110V
11. Supresores de Transientes	Características técnicas: General
12. Breakers Monopolares	Características técnicas: 1 A y 2 A 24V
13. Borneras 2.5mm	Características técnicas: Instrumentación
14. Borneras 2.5mm	Características técnicas: Bus de campo
15. Borneras 2.5mm	Características técnicas: Entradas Digitales
16. Borneras 2.5mm	Características técnicas: Salidas Digitales
17. Relés Auxiliares	Características técnicas: 24V

3.3.2.5 Diagrama eléctrico par conexión de tableros de control en reservorio CALIME

En el punto de control Calime se encuentra un tablero de control detallado en el **Anexo G**. los elementos y sus características técnicas se detallan en la **Tabla 10**.

Tabla 10.

Elementos del tablero de control Calime

1. Breakers Bipolares	Corriente y tensión: 4A 440V
2. Breakers Monopolar	Características técnicas: 2A 440V
3. Modulo MB RTU RS485	Características técnicas : TCP/IP, Compatibilidad
4. PLC	Características técnicas: 110VAC 12DI 10DO 4AI 1ETH 1MBRTU
6. Switch Ethernet	Características técnicas: Industrial
7 Fuente	Características técnicas: 24V 2.5A
8. Breaker Monopolar	Características técnicas: 2A 24V
9. B Borneras	Características técnicas: 2.5 mm 24V
10. Relé de tres contactos Arranque	Características técnicas: 1 A y 2 A 110V
11. Borneras 6 mm 110V	Características técnicas: 6 mm, 110V

3.3.2.6 Diagrama eléctrico par conexión de tableros de control en reservorio Batallón

El diagrama detallado en el **Anexo H**. los tableros de control en este sector son de igual características al tablero de control del Reservorio Calime. En el reservorio del Batallón existen dos puestos de control, Batallón-Gate 8 y Batallón-Puesto de control Principal. Ambos tableros de control son de las mismas características con diferente configuración. Los detalles de los elementos del tablero se encuentran en la tabla anterior.

3.4 Diseño del Sistema de Comunicación

3.4.1 Ingeniería conceptual y básica para el Sistema de Comunicación

3.4.1.1 Requerimiento necesario para el Sistema de Comunicación

Este sistema es encargado de transportar los datos adquiridos por el sistema de instrumentación hacia las demás estaciones o la estación central, así también transmitir las órdenes para efectuar las diversas acciones de control, encargado de comunicar los controladores de cada proceso a lo largo de la línea de conducción.

En el proceso de automatización, este sistema es muy importante. El envío de flujo de información no debe ser interrumpido o todo el proceso del sistema de distribución de agua potable se verá afectado. Si es necesario se deberá contar con una red de respaldo, la cual estará compuesta por una combinación de tecnologías con el objetivo de que el sistema de comunicación sea totalmente viable.

La red de comunicación podrá combinar tecnologías alámbrica e inalámbricas, pero todas deben trabajar sobre una plataforma de comunicación Ethernet TCP/IP usando el protocolo de comunicación industriales que permitirá transportar los datos de cada controlador y que la integración de cada proceso se pueda realizar sin inconvenientes.

Es de gran importancia que cada equipo de comunicación cuente con energía eléctrica para su alimentación, además de que si es necesario se debe disponer de una torre de comunicación para los equipos de transmisión inalámbrica.

3.4.1.2 Plataformas y tecnologías de comunicación existentes

El Batallón de Infantería Marina Esmeraldas BIM-ESM, cuenta con su sistema de comunicación diseñado para el proceso de distribución de agua, el sistema cuenta con

tecnología alámbricas e inalámbricas. Maneja una comunicación Ethernet Industrial, este sistema utiliza dispositivos como Switch y Procesadores de comunicación, utiliza torres para el radio enlace y cuenta con cableado y fibra óptica como medio de transmisión alámbrico. La topología de red de comunicaciones es tipo estrella. La comunicación entre dispositivos de campo se la realiza bajo estándares ISO sobre TCP.

- Red de comunicación Industrial Ethernet

Ethernet Industrial es una potente red de área y célula de acuerdo con los estándares IEEE 802.3 (Ethernet) con la que se pueden crear redes de comunicación eficaces de gran extensión (Stallings, 1997). Es un sistema que brinda todo el potencial que ofrece Ethernet, pero utiliza medidas de seguridad, incluidas las de control de acceso y autenticación, seguridad en la conectividad y administración, a fin de asegurar y garantizar la confidencialidad e integridad de la red y ofrecer datos libres de interferencias. (Stallings, 1997).

Efectivamente, las redes Ethernet Industrial deben ser altamente confiables y seguir en funcionamiento durante duras condiciones ambientales, interrupciones accidentales de red y fallas de los equipos. Al objeto de conseguir tal seguridad, las redes industriales utilizan dispositivos Switch y Procesadores de comunicación gestionados que permiten asegurar y garantizar la integridad de los datos y el establecimiento sin errores de la comunicación entre equipos. (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004).

- Red de comunicación Modbus RTU

MODBUS es un protocolo público de transmisión para sistemas de control de procesos, en contraste con otros buses de campo o protocolos, no tiene definido una interfaz de capa 1 del modelo de redes ISO, MODBUS es capa 2. Sus grandes capacidades de integración con dispositivos de varios fabricantes lo han convertido “en el estándar por defecto de la industria” (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004). Su estructura lógica es del tipo maestro – esclavo con acceso al medio controlado por el maestro, el número máximo de estaciones previsto es de 247 esclavos más una estación maestra. La

codificación de datos dentro de la trama se realiza ya sea en modo ASCII o puramente binario según el estándar RTU, mediante los cuales se envían código de funciones para intercambio de datos e información: “El modo MODBUS RTU es el modo más utilizado, el modo ASCII tiene mensajes que son casi el doble del tamaño de los mensajes del modo RTU” (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004)

- Estándar de comunicación RS 485

El enlace RS-485 es en realidad una simplificación del enlace RS-422 empleando un único par trenzado para un enlace XON-XOFF, semiduplex, lo que permite utilizar una sola línea de transmisión para transmitir y recibir datos, aunque esto requiere de un software de control de enlace (nivel OSI) que haga conmutar la línea según el terminal que deba transmitir o recibir los datos, admite y se emplea en una topología tipo bus (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004), la cual se observa en la **Figura 27**.

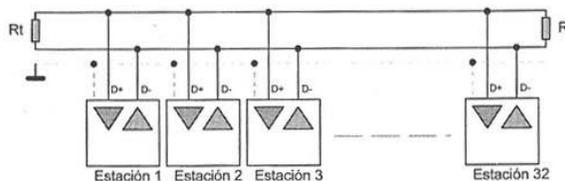


Figura 27. Enlace en red mediante bus RS-485

- Bucle de Corriente

Otra interfaz comúnmente usada es el lazo o bucle de corriente, el cual emplea una señal de corriente en lugar de una señal de tensión, a través de un par de alambres separados para el transmisor y receptor de corriente, según se muestra en la **Figura 28**. El uso de una señal constante de corriente permite obtener mayores distancias que la alcanzada con una conexión de tensión como RS-232, esto es debido a que el bucle de corriente tiene mayor inmunidad al ruido (Mackay, Wright, Reynders, & Park, 2004).

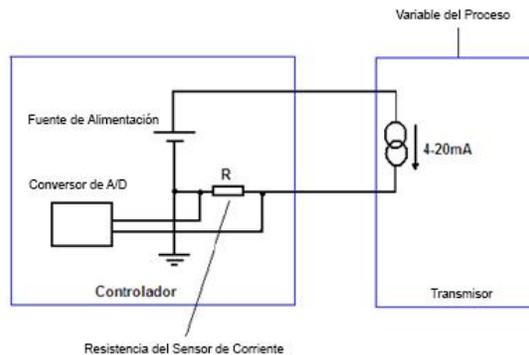


Figura 28. Interfaz de lazo de corriente

- Red de comunicación Radio Enlace

El enlace de radio se utilizara para la comunicación de los dispositivos de control, es necesario de este tipo de comunicación, ya que el área desde el cuarto de bombas hasta el reservorio más alejado se encuentra a una distancia de 4 kilómetros los cuales no se pueden cubrir con un enlace directo. Por motivos del terreno, las montañas obstaculizan una vista directa entre los dos puntos.

Los tipos de enlace que se tendrán serán:

- Punto – Punto
- Punto – Multipunto

Existen dos equipos de comunicación utilizados en el sistema, los radios de la marca MIKROTIK y TRANGO. El uso de estos radios va más allá de solo mantener comunicado el sistema de agua, ya que en un futuro se los utilizará para creación de una red más compleja que demande telefonía IP, intranet, internet y video cámaras.

- Punto – Punto

Los enlaces punto – punto utilizados en el proyecto fueron materializados mediante radios Ethernet MIKROTIK SEXTANT RB/SXT 5HnD que pueden trabajar en

las bandas ISM o UNII permitidas en los reglamentos de nuestro país y en el complejo Hidrocarburífero de Esmeraldas, con lo que se dispone de una gama amplia de canales a seleccionarse. Estos radios disponen de un puerto 10/100 Ethernet y utilizan antenas sectoriales de 25° para las estaciones y puntos de repetición, según se muestra en la **Figura 29**, su ficha técnica se detalla en el **Anexo I**.

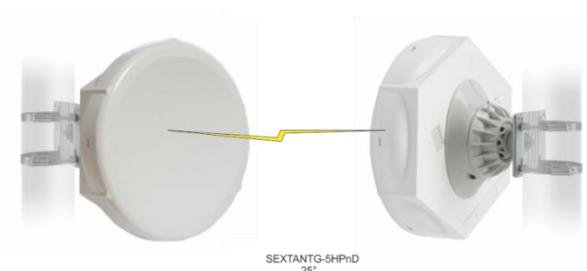


Figura 29. Radios MIKROTIK SEXTANT RB/SXT 5HnD y sus antenas

- Punto – Multipunto

Para materializar los enlaces punto – multipunto se emplearon radios Access5830 fabricados por TRANGO BROADBAND, según se muestra en la **Figura 30**, los cuales ofrecen una solución versátil para proveer acceso de banda ancha en una amplia región geográfica mediante una conectividad Ethernet inalámbrica: “El Access5830 entrega 10 Mbps y opera en la banda ISM de 5.8 GHz (TRANGOBROADBAND). El sistema Access5830 está clasificado como un bridge multipunto capa 2 y consiste de 2 tipos de radios: Access Points (AP) y Subscriber Units (SU). Los AP’s funcionan como “Hubs” en una configuración estrella, y proveen servicios inalámbricos de banda ancha a uno o más SU’s mediante un algoritmo propietario tipo “polling”, que le permite manejar múltiples conexiones y compartir eficientemente el canal de 10 Mbps (TRANGOBROADBAND). La descripción de los distintos modelos de radios y sus características técnicas se detallan en el **Anexo J**.

3.4.1.3 Esquema y topología de red y arquitectura de comunicación

La red de comunicación del sistema de bombeo de agua potable cuenta con 6 estaciones que se comunican directo al servidor o estación principal, mediante una topología tipo estrella.

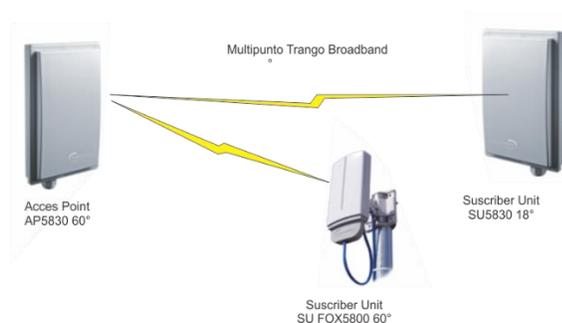


Figura 30. Radio TRANGO BROADBAND Access 5830 (AP) y (SU)

La **Figura 31**, muestra la red de comunicaciones y la topología, con los detalles del tipo de estructura y el tipo de equipo de radio enlace.

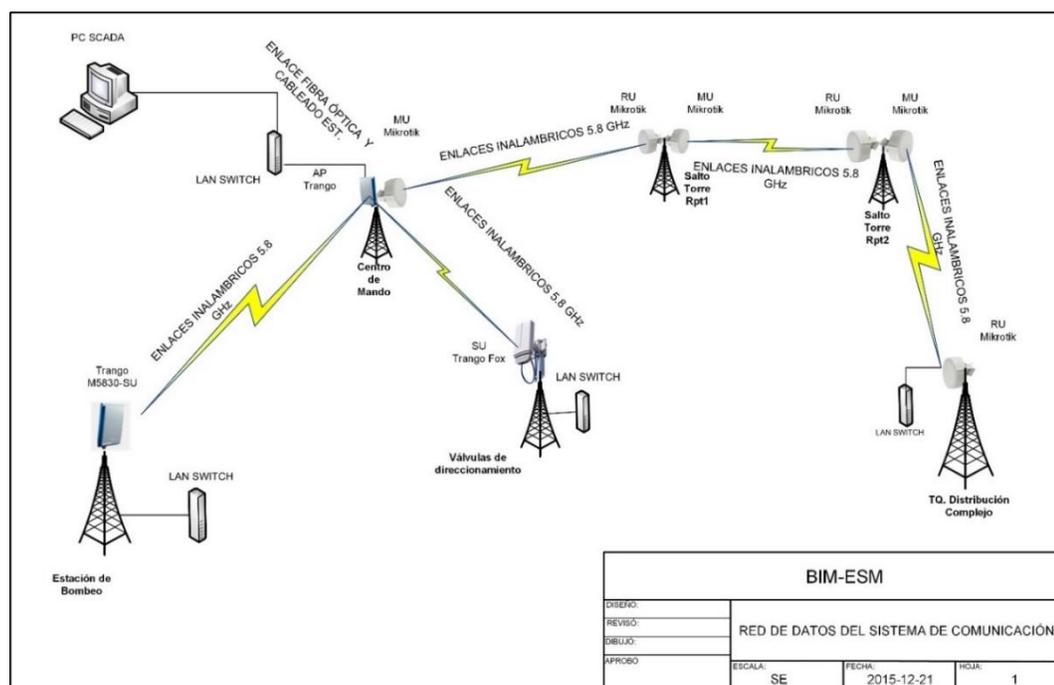


Figura 31. Red de comunicación y topología del BIM-ESM

3.4.2 Ingeniería de detalle para el sistema de Comunicación

3.4.2.1 Topología de red y direccionamiento IP.

La mayor parte del sistema de comunicación se distribuye mediante comunicación de radio enlace, debido a sus largas distancias.

El área geográfica extensa, donde se encuentran ubicados los distintos puntos y dispositivos de control conllevó a utilizar enlaces de radio entre el PLC maestro y los PLC's esclavos, para lo cual el Departamento de Comunicaciones del Terminal Marítimo de Balao realizó estudios, desde el puesto de mando hacia el cuarto de bombas y derivación existe línea de vista, y desde el puesto de mando hacia el CALIME era necesario implementar 2 saltos intermedios. Luego de realizar un barrido de frecuencias

se determinó que el sistema podía operar dentro del rango no licenciadas (5470 MHz – 5725 MHz); para lo cual se materializaron 3 enlaces punto-punto con los radios MIKROTIK SEXTANT RB/SXT 5HnD y 3 enlaces punto– multipunto con los radios TRANGO BROADBAND Access 5830, según se muestra en la **Tabla 11**.

El motivo de utilizar distintos radios para la misma aplicación se debe principalmente a un requerimiento del batallón de proveer servicios adicionales de internet, intranet, datos y telefonía IP por el mismo enlace hacia el CALIME, los equipos MIKROTIK disponen de mayor ancho de banda que los TRANGO BROADBAND utilizados en el proyecto.

Con los direccionamientos IP del sistema de comunicación se diseñó el diagrama final de la red de comunicación del BIM-ESM, que se presenta en la **Figura 32**. En la cual se detalla la comunicación de los controladores con el sistema de comunicación de estaciones hasta el centro de mando mediante los dispositivos y controladores de red.

Tabla 11.

Enlaces de comunicaciones del sistema de control

Ord	Radio	Enlace	Observaciones	IP
1	Punto – Punto	Centro de mando – Torre del tanque 10 (1er salto)	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.28 192.168.101.27
2	Punto – Punto	Torre del tanque 10 – tanque 1 (2do salto)	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.26 192.168.101.25
3	Punto – Punto	Torre del tanque 1 – CALIME	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.24 192.168.101.23
4	Punto–Multipunto	Centro de mando (maestro) – Derivación (esclavo)	M5830S-AP 60 (maestro) – M5830S-FSU (esclavo)	192.168.101.20 192.168.101.22
5	Punto–Multipunto	Centro de mando (maestro) – estación de bombeo (esclavo)	M5830S-AP 60 (maestro) – M5830S-SU (esclavo)	192.168.101.20 192.168.101.21

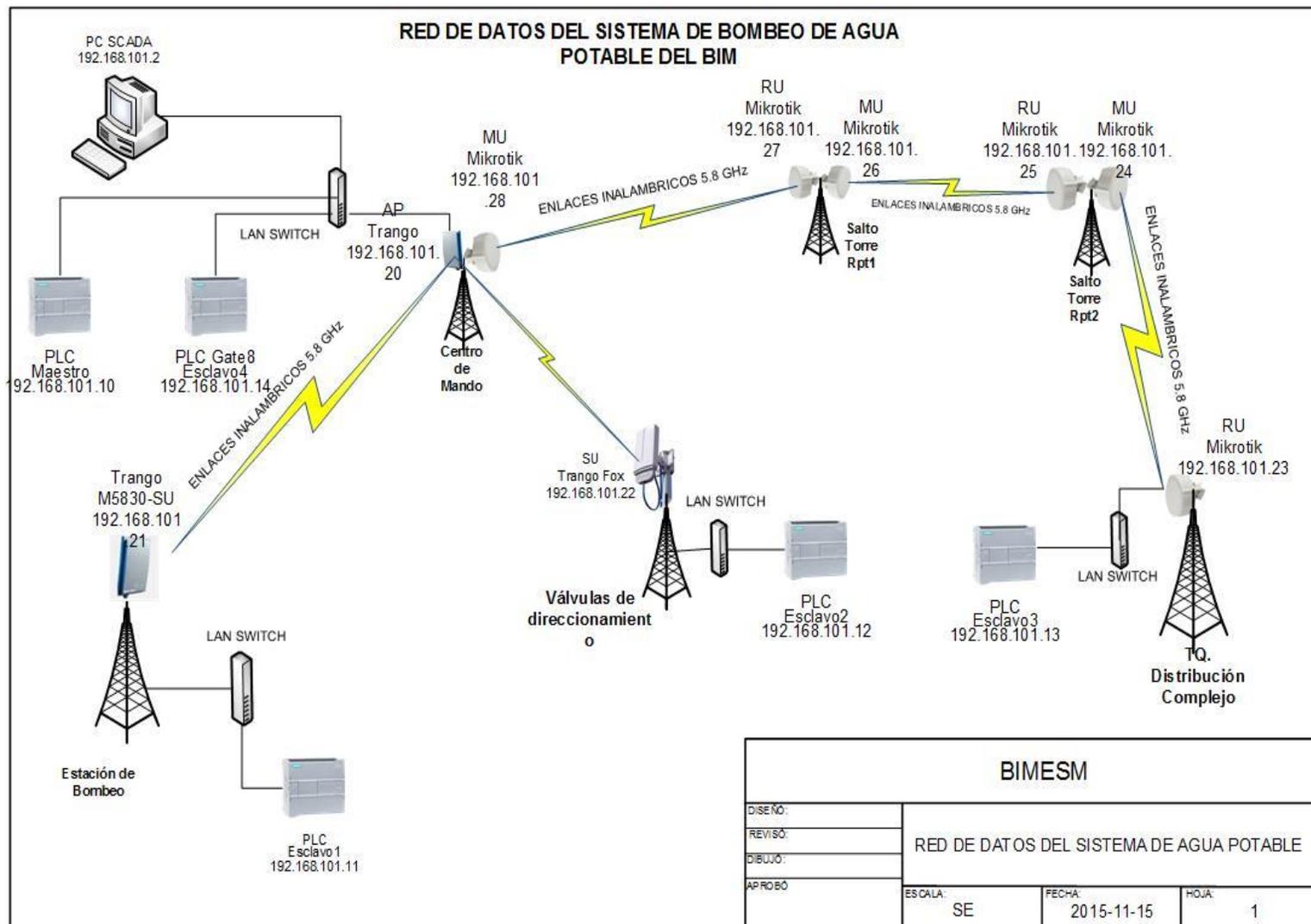


Figura 32. Diagrama de conexión de red de datos BIMESM

CAPÍTULO 4

DESARROLLO DE SOFTWARE

4.1 Lógica de Control

4.1.1 Modo de Operación

Es importante resaltar la lógica de control que define las condiciones para impedir el arranque de la bomba, independientemente del modo de operación; esto es: ausencia de nivel suficiente de agua en la cisterna de la estación de bombeo, existencia de agua suficiente en las cisternas remotas; baja de presión en las líneas por rotura, o deficiencia en el rendimiento (caudal bombeado bajo).

4.1.1.1 Operación Local

Se realiza en la estación de bombeo, habilitando el selector “local/remoto” del tablero de control, el sistema funciona dependiendo exclusivamente del operario presente. Si se desea que la bomba entre en funcionamiento, el operario debe presionar el botón verde de “ARRANQUE”; y si desea apagarla debe pulsar el botón rojo de “PARO”.

4.1.1.2 Operación Remota

Se habilita seleccionando a través del botón “local/remoto” en la estación de bombeo. En este tipo de operación existen dos sub modos de operación: manual y automático, ambos se seleccionan desde la consola de operación del interfaz HMI del SCADA ubicado en el centro de mando. Para ambas opciones el selector “local/remoto” debe estar fijado en “remoto”.

Mediante el diagrama de flujo de la **Figura 33**, se pretende facilitar el entendimiento de la programación de la lógica de control a diseñar en la estación principal.

En primer lugar se realiza la comunicación entre el PLC maestro y los esclavos. El diagrama que se muestra en la **Figura 33**, es el proceso utilizado para establecer comunicación.

Este esquema describe el comportamiento que deben realizar cada uno de los PLC tanto para transmitir datos, como para recibir datos.

El PLC Maestro envía un pulso de reloj, este pulso es recuperado por todos los PLC esclavos con periodo de $T=1$ s, este bit es añadido a la trama que va a transmitirse.

Este pulso de reloj necesariamente varía, algunas veces será cero y otras uno, esta variación es la que detecta la subrutina en el PLC, al no encontrar variación en el bit del buffer de comunicaciones, se activa localmente un bit de pérdida de comunicaciones.

Este proceso sirve para priorizar los datos y dar a cada esclavo un tiempo de envío y otro de recepción.

La operación en modo automático se lo realiza como se muestra en **Figura 39**. Se describe el proceso de verificación de status correspondientes a niveles locales y remotos, con el cual se consigue sincronizar y poder activar las bombas desde la estación de bombeo hasta los puntos de reserva.

4.1.1.3 Diagramas de estados de niveles

En UML, un diagrama de estados, es utilizado para identificar cada una de las rutas o caminos que puede tomar un flujo de información luego de ejecutarse cada proceso. Permite identificar bajo qué argumentos se ejecuta cada uno de los procesos y en qué momento podrían tener una variación.

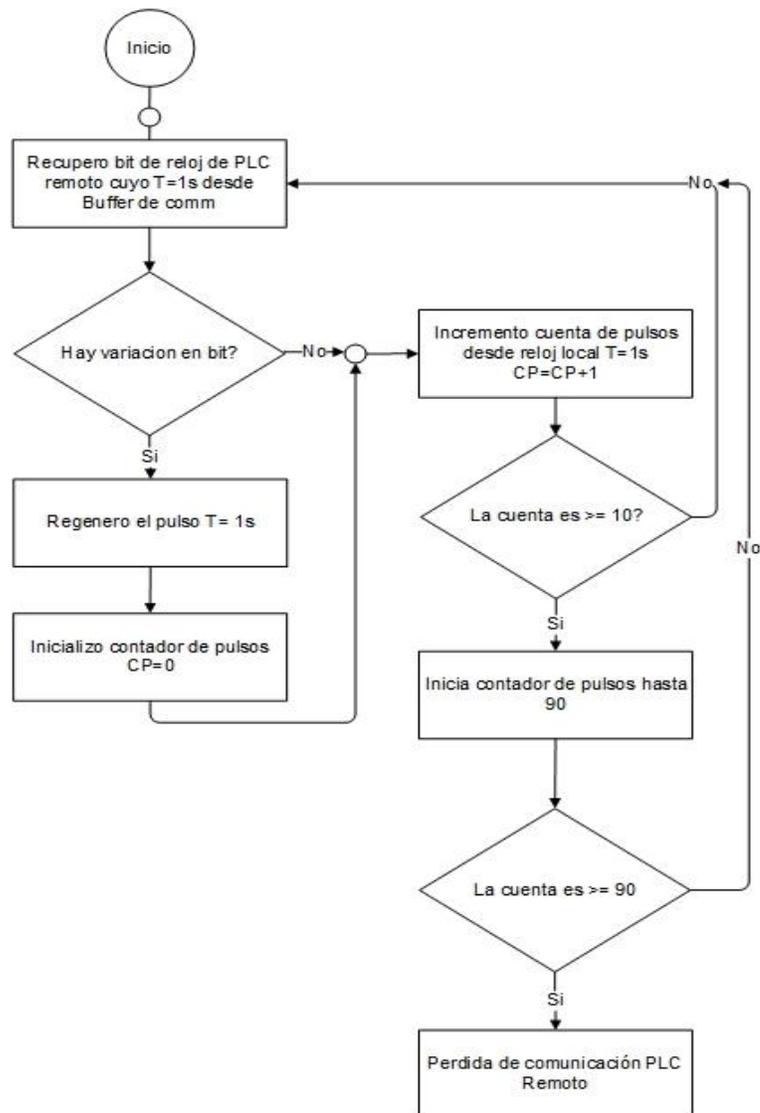


Figura 33. Lógica de control del status de comunicación

El diagrama de estados del bombeo respecto a niveles de cisterna (tanque local), como los reservorios en calime y batallón (tanques remotos).

La lógica de control actuará según los niveles recibidos de los senores y actuadores, el primer analisis con respecto al encendido de la bomba se remitirá a la **Figura 34**. La bomba se activara para este caso solo si: El nivel de agua es superior al 70% del nivel total manteniendo este estado hasta que el nivel este por debajo del 40%. Este proceso garantizará el correcto funcionamiento de la bomba precautelando la eficiencia y optimizando el proceso del sistema.

Con respecto a los niveles de los reservorios: calime y batallon, estos se registrarán a los estados de nivel de la **Figura 35**, en el cual se recalca que la prioridad primordial es la seguridad de la bomba y sus niveles adecuados.

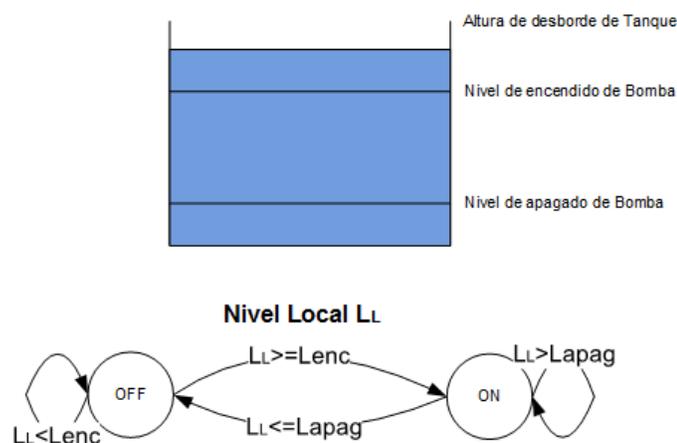


Figura 34. Diagrama de Estados de Bombeo respecto a Niveles en Tanque Local

Cuando el nivel en el tanque remoto L_L es menor o igual al 40 % del nivel total se decidirá en encender la bomba, manteniendo la petición de bombeo hasta que el nivel llegue a un valor mayor o igual al 80%. La lógica será igual para los otros dos reservorios: batallón y gate 8.

4.1.1.4 Diagramas de estados de válvulas respecto al bombeo.

En la cisterna (tanque local) se posee un actuador para la válvula de llenado, el cual se abrirá ó cerrará la válvula con respecto a niveles en el tanque como se muestra en la **Figura 36**.

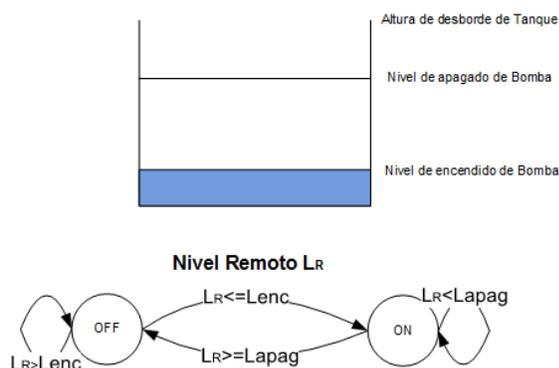


Figura 35. Diagrama de Bombeo respecto a Niveles en Tanque Remoto

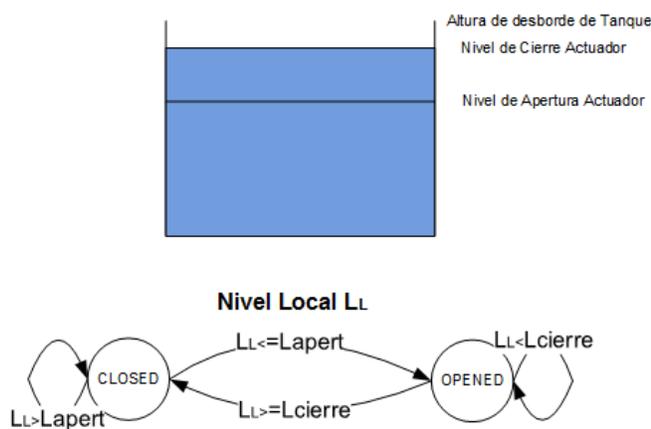


Figura 36. Diagrama de estados del actuador con respecto a niveles de la cisterna

El estado de los actuadores de las valvulas de bifurcación con respecto a los nives de las reservas del batallón de calime seran las condiciones para que se pueda abrir/cerrar el paso de agua para una de las dos reservas.

4.1.1.5 Diagramas de estados de corrientes y tensión en cuarto de bombas

Con referencia a la activación de la bomba respecto a los estados de tensión mostrados en la **Figura 38**, los valores de tensión y corriente deben estar dentro del rango permitido y recomendados por el fabricante para el correcto funcionamiento de la bomba. Y con ellos garantizar un permanente servicio.

La corriente debe estar dentro de los valores adecuado para el arranque y su funcionamiento continuo.

El diagrama de flujo representado en la **Figura 39**. Muestra el procedimiento que deberá realizar la lógica de control actuando en modo automático. Basando su principio en la actualización de los niveles de agua locales como remotos, con los cuales activará o desactivará el bombeo para los reservorios.

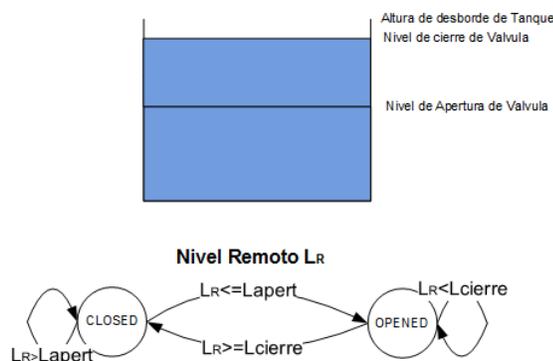


Figura 37. Diagrama de estados del actuador de la válvula de bifurcación con respecto a niveles de reserva.

La herramienta para programar a los controladores lógicos es TIA PORTAL Versión 10.5 (SIEMENS AG, 2010). Este software incluye un paquete totalmente completo con el cual se realiza la conexión, simulación y descarga de la lógica de

programación al controlador como se muestra en la **Figura 40**. La programación de cada controlador se detalla en el **Anexo: PROGRAMACIÓN DE PLC'S**.

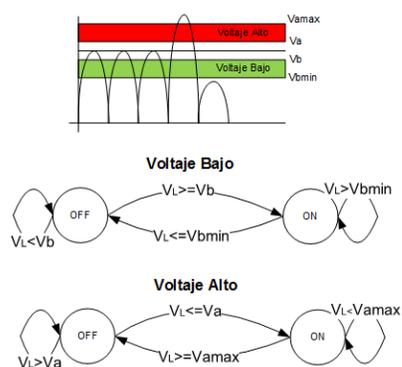


Figura 38. Diagrama de estados de activación respecto a tensión

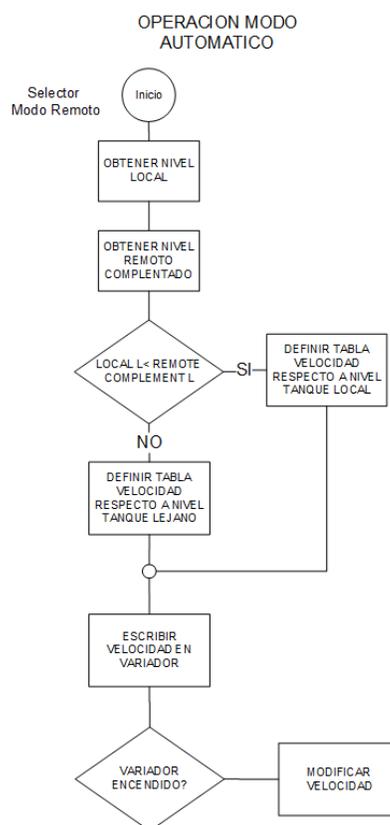


Figura 39. Lógica de control Remota Automático

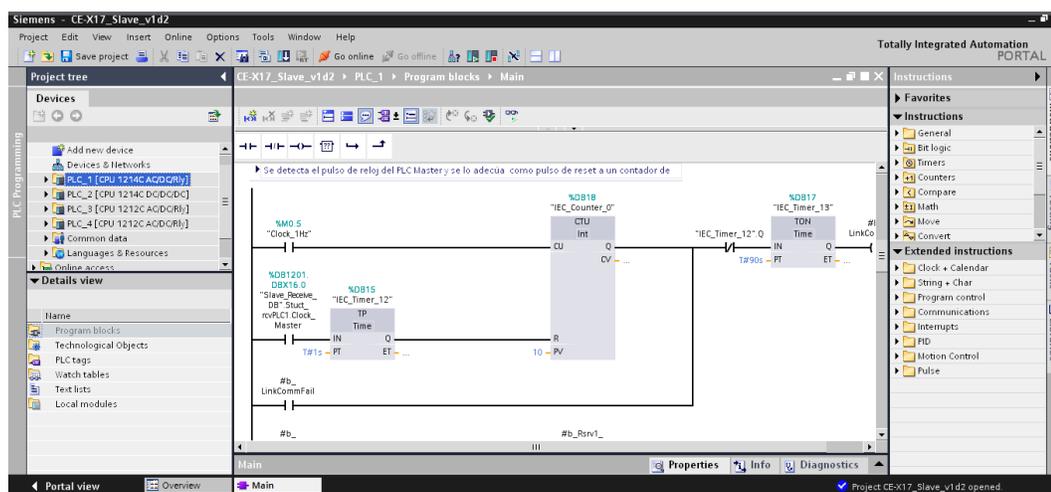


Figura 40. Interfaz de TIA PORTAL v10.5

4.2 Interfaz Humano Máquina/SCADA.

El sistema de supervisión y monitoreo se desarrolla sobre el software VTS SCADA que corre bajo la plataforma Windows 7 e instalado en el computador de escritorio HP del departamento de Operaciones del batallón. Este computador se enlaza directamente con el PLC SIEMENS 1212C AC/DC/Relay Modelo 6ES7 212-1BD30-0XB0 que actúa como maestro del sistema, a través de su módulo Ethernet Industrial CSM 1277, permitiendo de este modo controlar y supervisar el estado de cada uno de los elementos y variables que intervienen en el proceso del VTScada. Las características principales del software SCADA se detallan en la **Tabla 12**. Las funciones a detalle se observan en el **Anexo K**

Tabla 12.

Características del VTS SCADA instalado en el centro de mando

Ord	Características	Información
1	Versión	10.2.05 (32 bits)
2	Máximo número de tags permitidos	200

Continua



3	Web Services	No habilitado
4	OPC Server	No habilitado
5	Configuración Remota	Habilitado
6	Capacidad de redundancia	Habilitado

4.2.1 Convenciones usadas en el sistema

Los colores que están asociadas con las variables medidas y con el estado de operación de los equipos empleados en el proyecto se tomó como referencia la guía GEDIS para el diseño de pantallas en base a colores de para indicar las alertas y diferenciar las alarmas. Además en el tablero eléctrico se encuentra instalada una luz piloto que traduce el estado de falla presente en el sistema.

El color  rojo se usa en este caso para indicar:

- Niveles incorrectos
- Bomba OFF
- Error de comunicación
- Sentido de las válvulas de la derivación incorrecto
- Tensión incorrecto

El color verde  para indicar:

- Niveles correctos
- Bomba ON
- Comunicación OK
- Módulo de entradas o módulo de salidas OK

- Sentido de las válvulas de la derivación correcto
- Tensión correcto

4.2.2 Área de trabajo en la aplicación VTScada

El entorno de trabajo presentada por esta aplicación es direccionada a los procesos de bombeo, de fluidos y su estructura enfocada a este tipo de procesos, facilitar el diseño.

El primer paso en la creación de una aplicación con la herramienta VTScada es crear o abrir la ventana con la que se va trabajar como se muestra en la **Figura 41**. En este caso la aplicación ya estaba creada y con ello se realizó el diseño de las ventanas.



Figura 41. Menú Principal VTscada 10.2

Una vez abierta la aplicación se observará la ventana principal ver **Figura 42**, en la cual se observa la herramienta para crear y editar desde simbología hasta enlazar tags con los controladores.

El proceso de crear una HMI en el VTScada es igual a cualquier sistema SCADA en el cual se crea la interfaz, asignar los tags y la simbología a los procesos. Con la cualidad de monitorizar las variables y sus tendencias para tener control sobre ellas. Todo esto bajo el proceso que presenta la guía GEDIS para una interfaz adecuada al proceso como al usuario. Mediante las pautas presentes en la guía y bajo pedidos del personal de operaciones del batallón y con respaldo de la comandancia se decide realizar la interfaz.

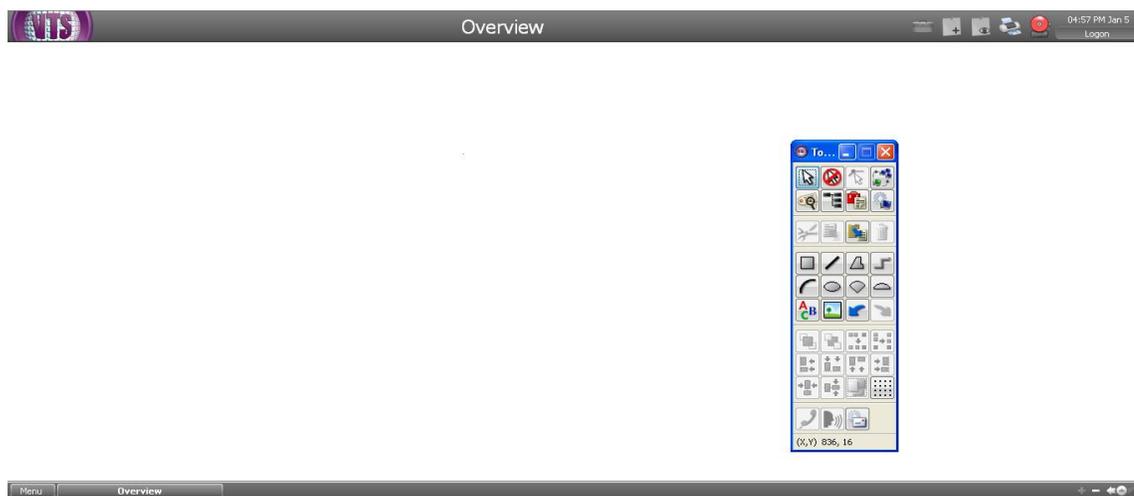


Figura 42. Pantalla principal de creación

El diseño se lo presenta en una sola pantalla capaz de mostrar todo el funcionamiento desde el cuarto de bombas hasta los reservorios ver **Figura 44**.

La pantalla presenta las siguientes características:

- Estado de sensores de nivel, presión y switch de nivel.
- Pantalla de Actuadores de las válvulas de bifurcación.
- Pantalla de control de encendido de la bomba

- Estado de la bomba en el cuartos de bomba.
- Dirección de agua a los reservorios.
- Estado de comunicación de los PLC.
- tendencias de los reservorios.

Al momento se han empleado 107 tags correspondientes a las variables del proceso, las cuales se muestran en el **Anexo L**. SCADA no considera el uso de usuario y contraseña por consideraciones propias del operario.

El uso de una sola pantalla para mostrar el proceso principal y simplificado es por motivo del operador, ya que el personal quien estará a cargo de monitorear las alarmas y tendencias, serán soldados con un mínimo de conocimiento en el área de sistema SCADA

La pantalla de bifurcación se encuentra en la intersección entre las los válvulas de distribución hacia calime o batallón. Como se muestra en la **Figura 43**.

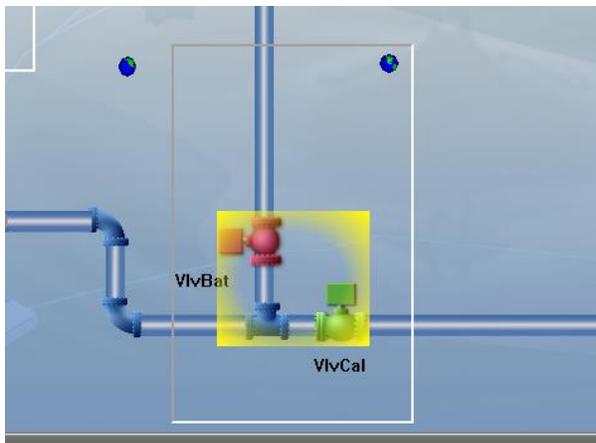


Figura 43. Válvulas de Bifurcación.

La pantalla que se abre muestra la forma de operar de las válvulas.

En las cuales presenta las siguientes características:

Automática: esta opción permite operar a las válvulas de forma programada, en las cuales el controlador decide a que reservorios bombear ver **Figura 45** . Este modo de operación se base a niveles tanto de la cisterna como de los reservorios para tomar una decisión.

Manual: esta opción permite realizar el cambio de dirección manualmente hacia el punto al que se quiera avastecer como se muestra en la **Figura 46**

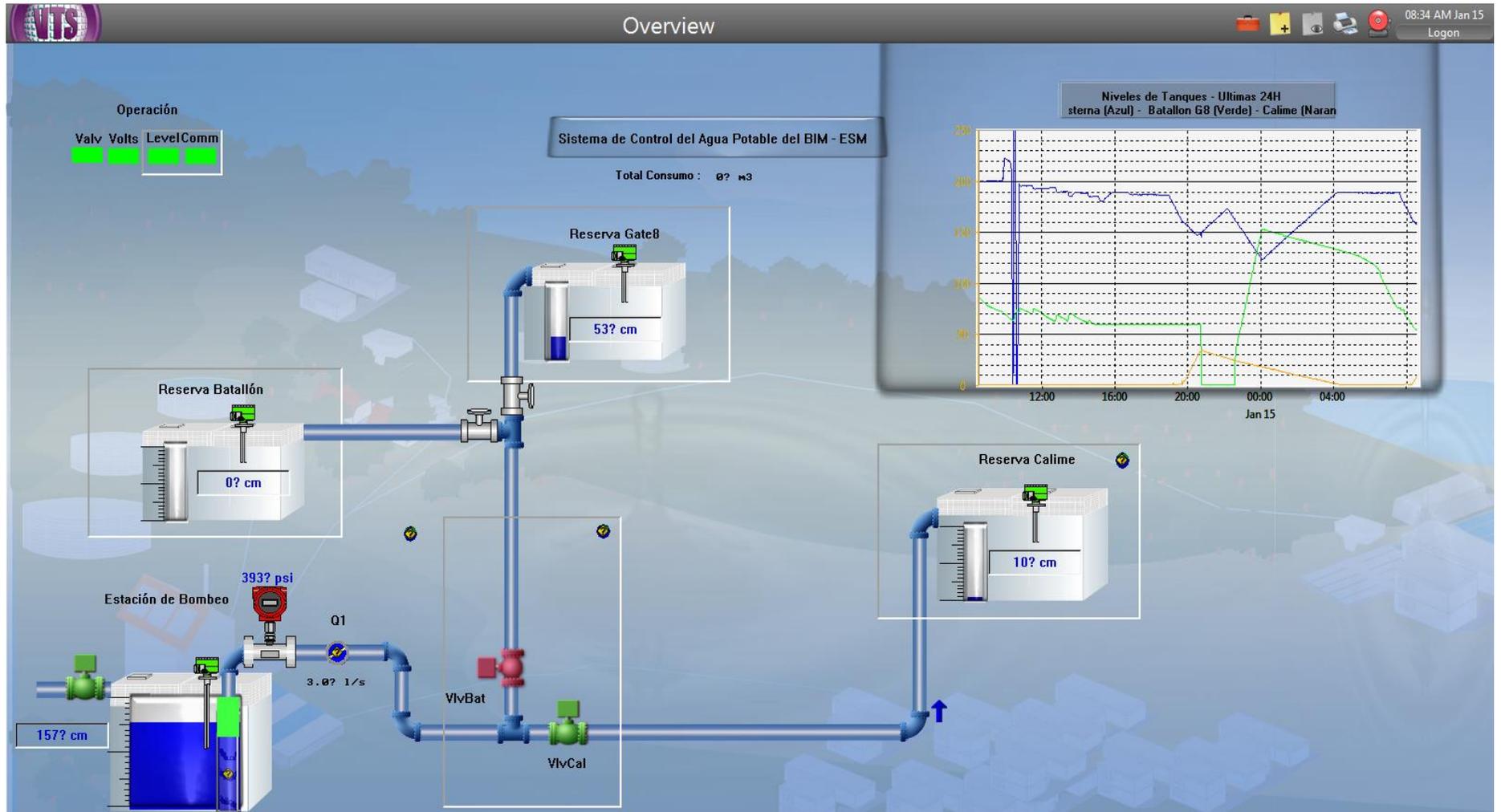


Figura 44. Pantalla principal Sistema de agua BIMES

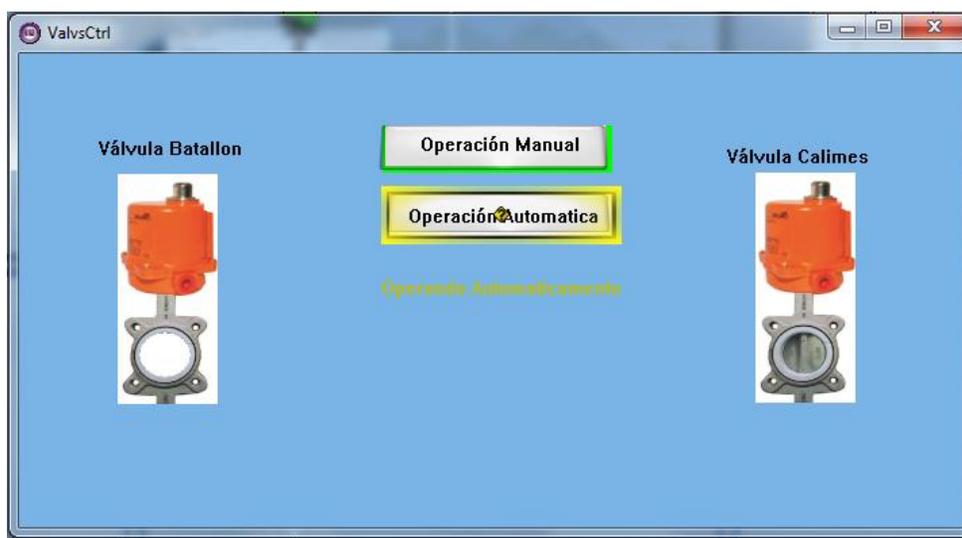


Figura 45. Operación Automática válvulas de Bifurcación

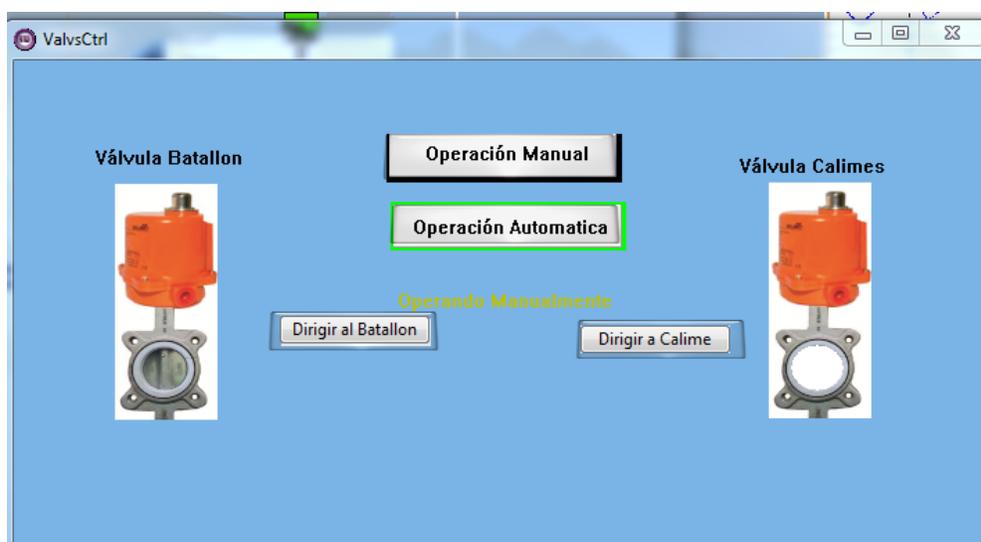


Figura 46. Operación Manual válvulas de bifurcación

En la pantalla de activación de la bomba en la forma manual se presenta en la siguiente **Figura 47**, en la cual se indican las características principales para el arranque y estado de la bomba. De igual manera se puede operar el arranque de la bomba y su funcionamiento de forma manual como automática.

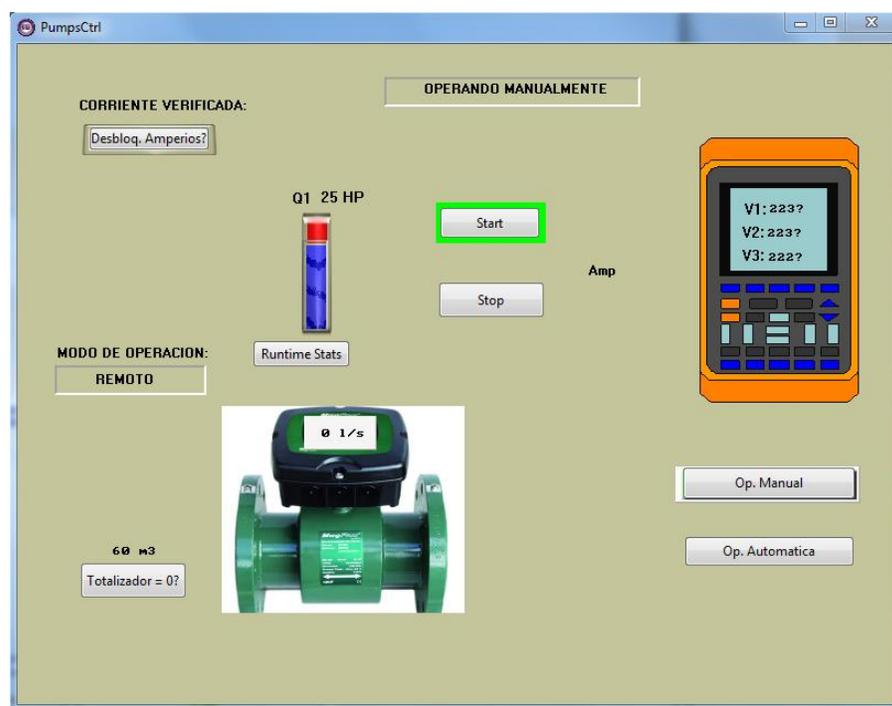
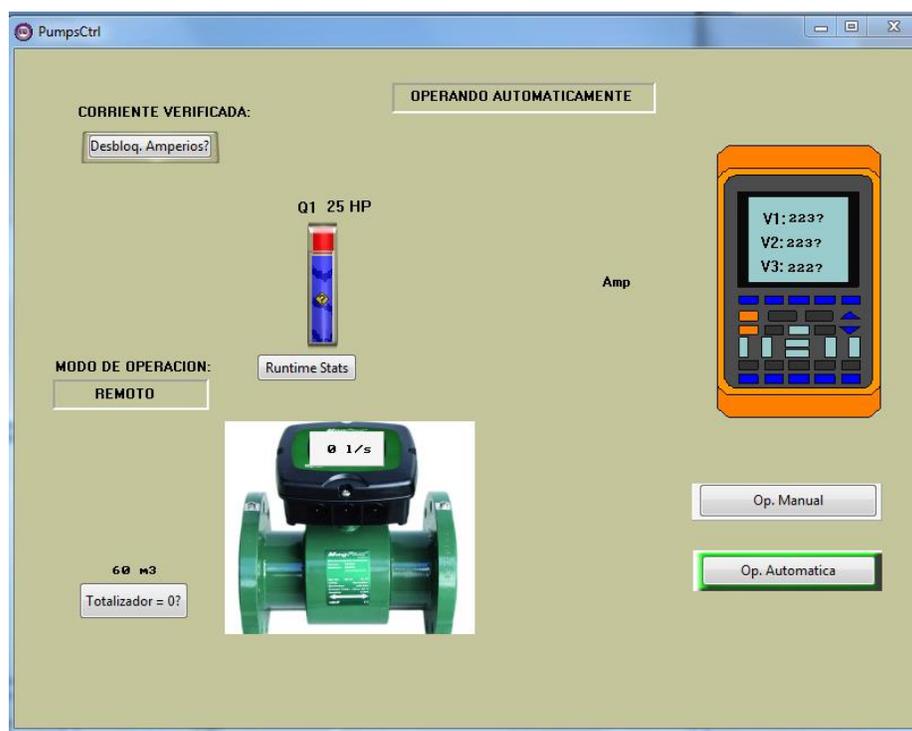


Figura 47. Operación de la bomba

4.2.3 Tendencias

Los históricos y tendencias programados en el SCADA son: niveles en la cisterna y en los 3 tanques remotos (*Figura 48*), enlaces de comunicaciones con Calime, estación de bombeo y bifurcación, y operación de la bomba.

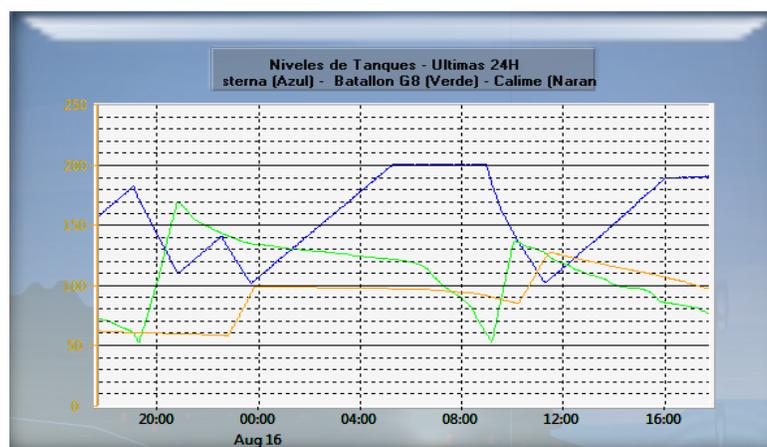


Figura 48. Histórico y tendencias de los niveles de los reservorios de agua

4.2.4 Comunicación

La comunicación entre el SCADA y el PLC maestro, ambos ubicados en el centro de mando del batallón, se realiza a través del protocolo TCP/IP e ISO-on-TCP, según se observa en la Figura 49; para lo cual es necesario apuntar únicamente a la dirección IP del PLC maestro y designar el puerto 102 que está configurado para ISO-on-TCP. El estado de los enlaces se puede visualizar en la pantalla principal.

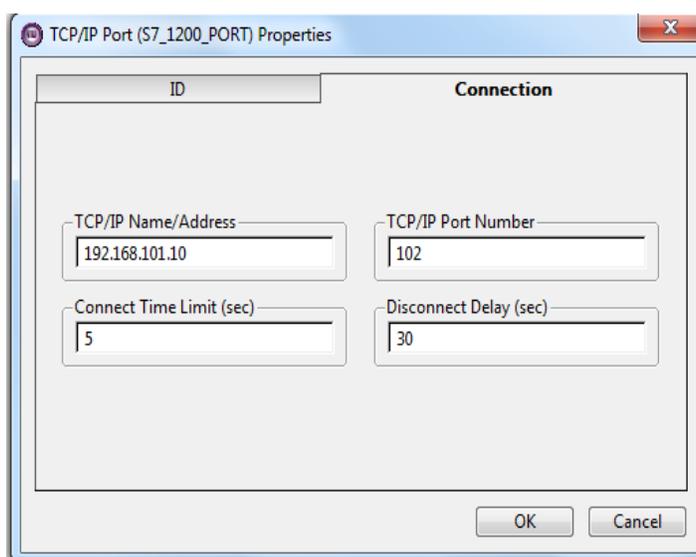


Figura 49. Comunicación del PLC maestro con el VTS SCADA

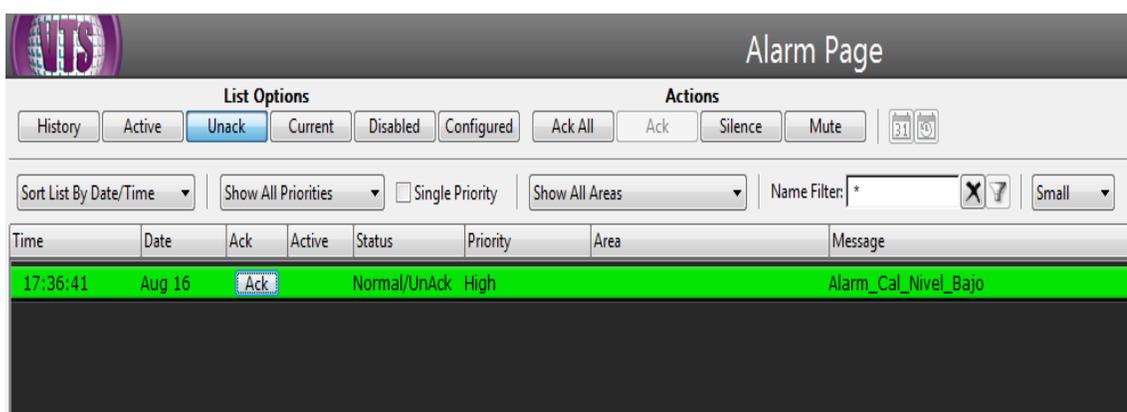
4.2.5 Gestión de Alarmas

Se han configurado únicamente 5 alarmas para alertar al operador sobre el estado del sistema, según se observa en la Tabla 13. Cada vez que salta una alarma, el operador puede hacer clic en el ícono destellante de las alarmas y atenderla según corresponda, lo cual se muestra en la Figura 50

Tabla 13.

Alarmas configuradas en el SCADA

Ord	Nombre	Nivel	Descripción
1	Alarm_Cisterna_ParoEmerg	Crítico	Paro de emergencia
2	Alarm_Cisterna_Bloqueo_Corriente	Crítico	Corriente fuera de rango
3	Alarm_Cisterna_Actuador_Cerrado	Bajo	Actuador cerrado en estación de bombeo
4	Alarm_Cisterna Nivel Bajo	Alto	Nivel de cisterna bajo en estación de bombeo
5	Alarm_Cal_Nivel_Bajo	Medio	Nivel de cisterna de Calime bajo



The screenshot displays the 'Alarm Page' interface. At the top left is a logo with the letters 'SIS'. The page title 'Alarm Page' is centered at the top. Below the title are two sections: 'List Options' and 'Actions'. The 'List Options' section contains buttons for 'History', 'Active', 'Unack', 'Current', 'Disabled', and 'Configured'. The 'Actions' section contains buttons for 'Ack All', 'Ack', 'Silence', and 'Mute', along with a calendar icon. Below these sections are several filters: 'Sort List By Date/Time', 'Show All Priorities', a checkbox for 'Single Priority', 'Show All Areas', a 'Name Filter' with an asterisk and a search icon, and a 'Small' dropdown menu. A table with the following columns is shown: Time, Date, Ack, Active, Status, Priority, Area, and Message. The first row of the table is highlighted in green and contains the following data: Time: 17:36:41, Date: Aug 16, Ack: Ack, Active: (empty), Status: Normal/UnAck, Priority: High, Area: Alarm_Cal_Nivel_Bajo, and Message: (empty).

Time	Date	Ack	Active	Status	Priority	Area	Message
17:36:41	Aug 16	Ack		Normal/UnAck	High	Alarm_Cal_Nivel_Bajo	

Figura 50. Pantalla de las Alarmas

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN

5.1 Selección de Componentes

La selección de componentes se lo realizo en base al diseño y análisis de necesidades y equipos que el BIMESM, ostentaba en sus bodegas.

5.1.1 Medidor de flujo

De acuerdo a las especificaciones de los componentes que se necesita en el proceso de optimización al sistema actual, la medición de flujo en la línea de suministro desde el cuarto de bombas hacia los tanques remotos se realizara mediante el sensor electromecánico marca MJK, modelo MagFlux 7200 que se muestra en la **Figura 51**, utilizado para caudales promedios de 18 l/s, y un diámetro de tubería 2 1/2". El sensor consta específicamente de un interfaz de comunicaciones Modbus RTU / RS485 a través del cual se dispone de localidades de memoria donde se pueden recuperar datos del flujo directo del líquido, flujo reverso, flujo bidireccional o flujo absoluto, totalizadores de volúmenes despachados, etc.

Este elemento fue seleccionado bajo las necesidades del diseño cumpliendo con los parámetros necesarios y bajo orden de bodega, ya que el medidor de flujo mencionado se encontraba en sus listas de suministros.

El dispositivo MagFlux mide la velocidad de fluido a través del sensor de flujo, y debido a que el sensor está construido como un tubo, es sencillo calcular el flujo cuando se conoce sus dimensiones (MagFlux, s.f.).



Figura 51. Medidor de flujo marca MJK, modelo MagFlux 7200

Fuente: (MagFlux, s.f.)

El medidor de flujo dispone de una salida aislada galvánicamente de 4 – 20 mA (carga máxima de 800 Ohms), la cual puede ser fijada para indicar flujo directo de líquido, reverso, bidireccional o absoluto. Tiene dos salidas digitales, una óptica y una segunda provista de un relé electromecánico, pueden programarse para indicar alarmas de flujo deficiente o alto, pulso de salida para contadores totalizadores, alarma de error de sistema, alarma de tubería vacía o para indicar la dirección de flujo. Para la integración del sensor a un sistema de control mediante bus RS-485 se debe desconectar el display ya que el mismo funciona como un maestro, sino produciría un conflicto con un segundo maestro (PLC). El diagrama de conexiones se muestra en la **Figura 52**.

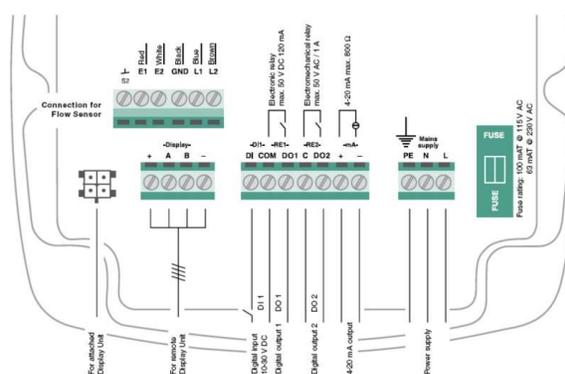


Figura 52. Distribución de Conexiones del Medidor de Flujo MagFlux

Fuente: (MagFlux, s.f.)

5.1.2 Medidor Ultrasónico de nivel

De acuerdo las especificaciones es necesario cambiar los medidores de nivel ya que se encuentran obsoletos, por daños generados por la falta de mantenimiento. Para el diseño actual se pretende utilizar sensores ® Modelo TS-30S2-IV de SENIX, según se observa en la **Figura 53**.



Figura 53. Sensor de nivel Toughsonic modelo TS-30S2-IV

Fuente: (Senix Corporation, 2010)

Dispone de dos salidas, una de 4-20 mA y otra de 0-10 VDC, siendo la primera configuración la utilizada en el presente proyecto, cuyo diagrama de conexión se muestra en la **Figura 54**. El sensor se alimenta con una fuente de tensión externa de 10 – 30 VDC y garantiza mediciones confiables desde los 0.3 a 3 mts, rango adecuado para el sistema de distribución del agua. Dispone de un botón TEACH que permite ajustar los parámetros de empleo, tanque lleno (20 mA) y tanque vacío (4 mA), esta configuración afecta ambas salidas (tensión y corriente) las cuales no son configurables de manera independiente.

5.1.3 Switch de nivel

El sistema actual cuenta con transductores utilizados para medir el desborde mediante un switch de nivel OMRON modelo 61F-GP-V50, el cual se usa junto con los electrodos PS-31, según se observa en la **Figura 55**. Este sensor es biestable, cuando los electrodos entran en contacto con el agua, una corriente débil de aproximadamente 3 mA fluye por los conductores, luego de lo cual es amplificada para operar un relay; según se muestra en la **Figura 56** (OMRON , 2015).

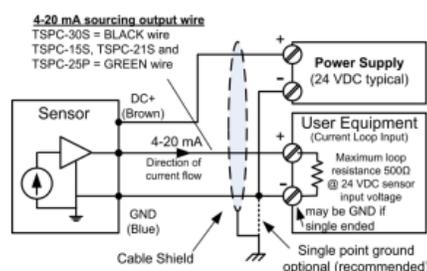


Figura 54. Diagrama de conexiones modelo TS-30S2-IV 4-20 mA

Fuente: (Senix Corporation, 2010)



Figura 55. Switch de desborde OMRON 61F-GP-V50 con los electrodos PS-31

Fuente: (OMRON , 2015)

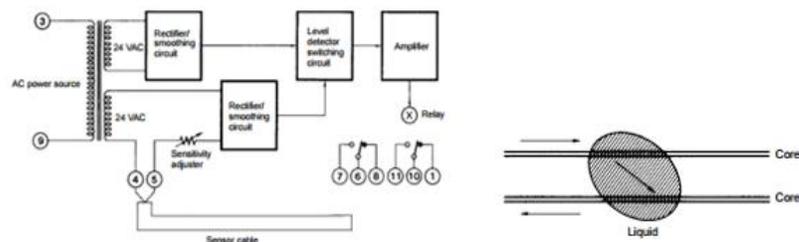


Figura 56. Principio de operación del switch OMRON 61F-GP-V50

Fuente: (OMRON , 2015)

5.1.4 Transmisor de presión

Se utilizan transmisores SIEMENS SITRANS P Series Z Type 7MF1564, según se muestra en la **Figura 57**, el cual es usado en la industria para medir presiones absolutas y manométricas de líquidos y gases (Beckwith, Marangoni, & Lienhard, 1993). Consta de una carcasa de acero inoxidable que en su interior contiene una celda de silicón piezoresistivo (SIEMENS SITRANS, 2015).



Figura 57. Transmisor de presión SIEMENS SITRANS P Series Z

Fuente: (SIEMENS SITRANS, 2015)

Para presiones mayores a 14.5 PSI el sensor opera según se ilustra en la **Figura 58**. La celda de medición tiene un puente de resistencia sobre el cual la presión de operación p se transmite a través de un diafragma de cerámica. La tensión de salida de la celda de medición se alimenta a un amplificador y se convierte en una corriente de salida de 4 – 20 mA o un tensión de salida DC de 0 – 10 V, ambas salidas son linealmente proporcionales a la presión de entrada (SIEMENS SITRANS, 2015).

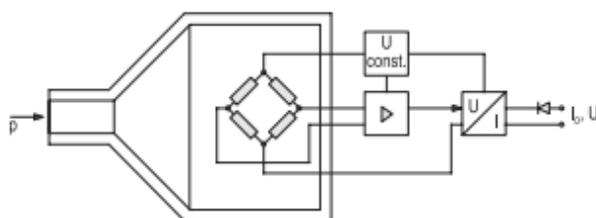


Figura 58. Principio de Operación del Sensor de Presión SIEMENS SITRANS P

5.1.5 Medidor de parámetros eléctricos

El sistema actual cuenta con un medidor de parámetros eléctricos M2M de ABB, el cual se muestra en la **Figura 59**. Este instrumento dispone de funciones avanzadas de análisis para la medición eficiente de parámetros eléctricos monofásicos y/o trifásicos: tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa y reactiva, energía activa y reactiva, los cuales se almacenan en el mapa de memoria mostrado en el **Anexo M** (ABB). Toda la información obtenida por el analizador puede ser transmitida rápidamente hacia localidades remotas a través de una interfaz RS-485 que soporta varios protocolos tales como: Modbus RTU, Modbus TCP/IP y Profibus DP (ABB SACE).



Figura 59. Medidor de parámetros eléctricos M2M de ABB

Fuente: (ABB)

5.1.6 Actuador Rotatorio para válvulas mariposa

Para el accionamiento de las válvulas mariposa, existentes en la acometida de agua potable se utilizó el actuador manufacturado por BELIMO modelo SY1-24-3-T, el cual se muestra en la **Figura 60** y su ficha técnica se detalla en el **Anexo N**. El actuador dispone de un control ON-OFF para apertura y cerrado de las válvulas.



Figura 60. Actuador Rotatorio BELIMO SY1-24-3-T

Fuente: (BELIMO, 2015)

5.1.7 Controladores Lógicos Programables

Los autómatas utilizados en el proyecto actual son los PLC SIEMENS SIMATIC S7-1200 adquiridos desde un comienzo por parte del BIMESM, catalogados como micro PLC's, son modulares, compactos y diseñados versátilmente para una amplia gama de aplicaciones. Su diseño escalable y flexible le permite conectar a la CPU hasta 8 módulos de señales, además tienen la posibilidad de incorporar Signal Boards (SB), que son micro módulos de entradas y salidas que pueden ser enchufados directamente en la parte frontal de la CPU, ocupando el mínimo de espacio posible.

Hasta 3 módulos de comunicación (CM) pueden ser integrados en la configuración de cualquiera de los PLC's S7-1200. Los protocolos de comunicación posibles son:

- Industrial Ethernet / Profinet (puerto integrado)
- Profibus Maestro / Esclavo
- MODBUS RTU
- MODBUS TCP (puerto integrado)
- USS

- GSM / GPRS
- AS-Interface
- DNP3

La interfaz Profinet o Industrial Ethernet permite implementar redes de control en arquitecturas descentralizadas, también es utilizada para la programación del PLC, comunicación PLC-HMI y PLC-PLC. Soporta además comunicación con equipos terceros bajo el protocolo TCP/IP. La transmisión de datos se la realiza a una velocidad de 10/100 Mbps, y soporta hasta 8 dispositivos PROFINET.

La funcionalidad maestro Profibus DP se obtiene por medio del módulo CM 1243-5 y soporta hasta 16 esclavos Profibus DP. Cada CPU SIMATIC S7-1200 soporta hasta un módulo CM 1243-5, y se pueden combinar con los módulos de comunicación RS232 y RS485. La funcionalidad esclavo Profibus DP se obtiene por medio del módulo CM 1242-5, cada CPU SIMATIC S7-1200 soporta hasta 3 módulos CM 1242-5, y se pueden combinar con los módulos de comunicación RS232 y RS485.

Las diferentes CPU's disponibles dependen principalmente del tipo de alimentación, tipo de salidas, cantidad de I/O, etc. Las principales características de estos PLC's se detallan en el **Anexo O** y **Figura 61**.



Figura 61. PLC's SIEMENS SIMATIC S7-1200 con módulos adicionales

Fuente: (SIEMENS AG, 2010).

5.2 Integración

El producto del diseño y la selección de cada dispositivo con el fin de la integración y formar un solo sistema, para lo cual se diseñó en forma de diagramas cada proceso. Divididos por secciones. En las **Tabla 14** y **Tabla 15** se muestra la asignación de IP para cada controlador y radios. De esta forma se garantiza una arquitectura eficaz y ordenada, para un uso sencillo y que los operadores se guíen en la adaptación y aprendizaje.

Tabla 14.
Asignación de IP a PLC's

	Tipo PLC	Ubicación	IP
1	Maestro	Centro de mando	192.168.101.10
2	Esclavo 1	Estación de bombeo	192.168.101.11
3	Esclavo 2	Derivación	192.168.101.12
4	Esclavo 3	Calime	192.168.101.13
5	Esclavo 4	Gate 8	192.168.101.14

Tabla 15.
Asignación de IP a Radios

Ord	Radio	Enlace	Observaciones	IP
1	Punto – Punto	Centro de mando – Torre del tanque 10 (1er salto)	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.28 192.168.101.27
2	Punto – Punto	Torre del tanque 10 – tanque 1 (2do salto)	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.26 192.168.101.25
3	Punto – Punto	Torre del tanque 1 – CALIME	MU Mikrotik RU Mikrotik	192.168.101.24 192.168.101.23
4	Punto– Multipunto	Centro de mando (maestro) – Derivación (esclavo)	M5830S-AP 60 (maestro) – M5830S-FSU (esclavo)	192.168.101.20 192.168.101.22
5	Punto– Multipunto	Centro de mando (maestro)– estación de bombeo (esclavo)	M5830S-AP 60 (maestro) – M5830S-SU (esclavo)	192.168.101.20 192.168.101.21

5.2.1 Estación de bombeo

La arquitectura de control en esta localidad dispone de un PLC 1214C AC/DC/Relay Modelo 6ES7 214-1BE30-0XB0 con módulo CM1241 (RS-485) modelo 6ES7 241-1CH30-0XB0 para comunicación con el medidor de parámetros eléctricos. Entre los sensores disponibles tenemos un sensor de presión SIEMENS SITRANS P Series Z Type 7MF1564 y un sensor ultrasónico de nivel ToughSonic modelo TS-30S2-IV de SENIX, cuyas salidas 4-20 mA están conectadas a las dos entradas análogas del PLC. Existe además un sensor de flujo marca MJK, modelo MagFlux 7200.

El transmisor de presión mide la presión de la línea por donde circula el fluido para censar la rotura en la tubería, parámetro que permitirá al sistema de control parar el bombeo correspondiente. La función principal del medidor de flujo es de censar un mínimo de caudal para precautelar la seguridad de las bombas en cuanto a disminución de su rendimiento, además de registrar el consumo de agua del batallón, dicho registro se almacena en una base de datos el cual ayuda a determinar el porcentaje de consumo y ayudara a reducir o proporcionar información para el uso correcto del suministro. Otro dispositivo encontrado en esta ubicación es un actuador BELIMO modelo SY1-24-3-T que apertura o cierra la válvula de ingreso a la cisterna en base a niveles previamente configurados. A través del módulo Ethernet Industrial CSM 1277, el PLC se comunica con el radio del enlace punto – multipunto y una pantalla HMI para tareas de mantenimiento.

En la actualidad se dispone únicamente de una bomba centrífuga sumergible integrada al sistema de control y dos bombas de pistón defectuosas, diseñadas para trabajar con petróleo y no con agua que son operadas manualmente.

Entre las principales entradas digitales tenemos: paro de emergencia, selector local/remoto, selector bomba, status encendido, status apagado, y reset. Las principales salidas digitales incluyen lámparas de marcha y falla y el botón de arranque de las dos bombas, lámparas de nivel alto de la cisterna y nivel bajo de los tanques remotos, y la

apertura/cierre del actuador de la válvula de ingreso a la cisterna. El diagrama de señales y comunicaciones y la disposición de equipos en la estación de bombeo se muestran en la Figura 62, Figura 63 y Figura 64 respectivamente, el detalle de entradas y salidas se describe literalmente en la **Tabla 16**.

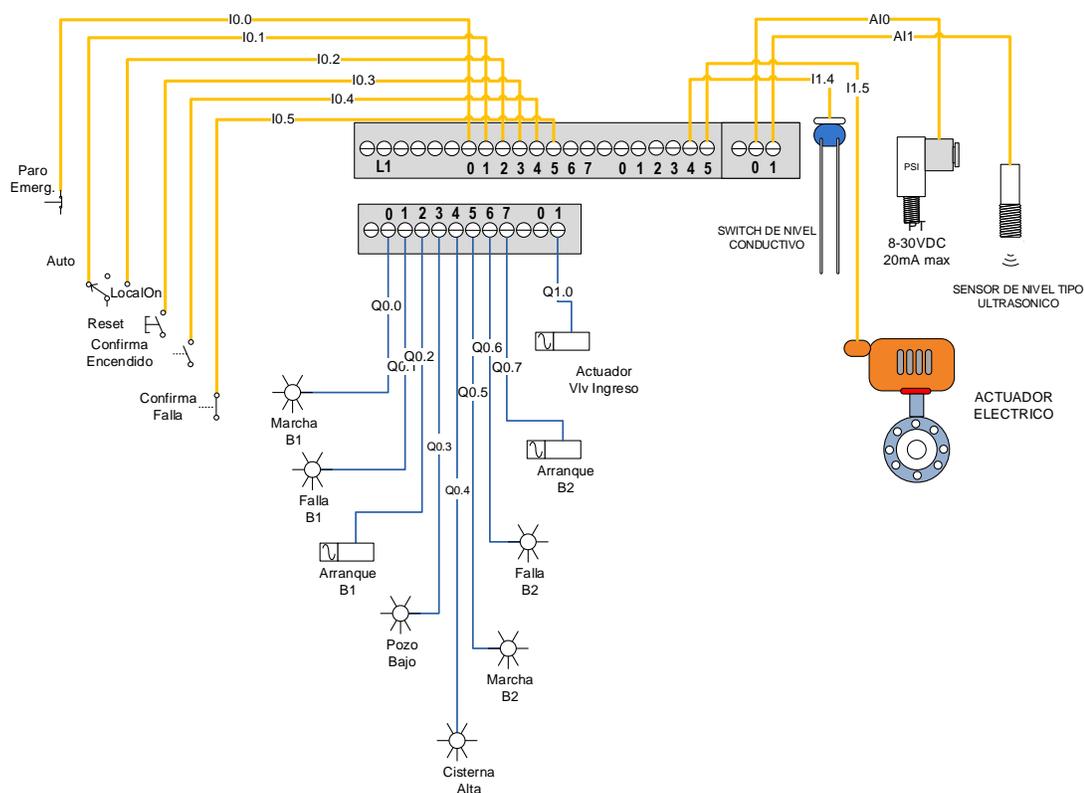


Figura 62. Diagrama de señales de la estación de bombeo

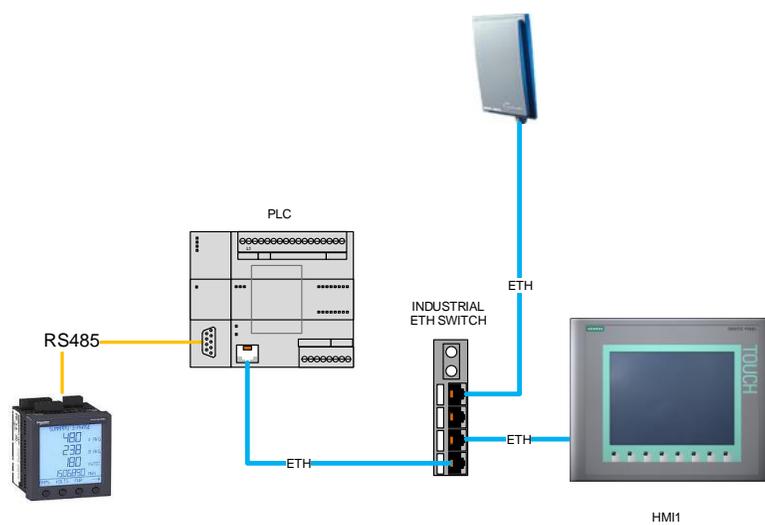


Figura 63. Diagrama de comunicaciones en la estación de bombeo

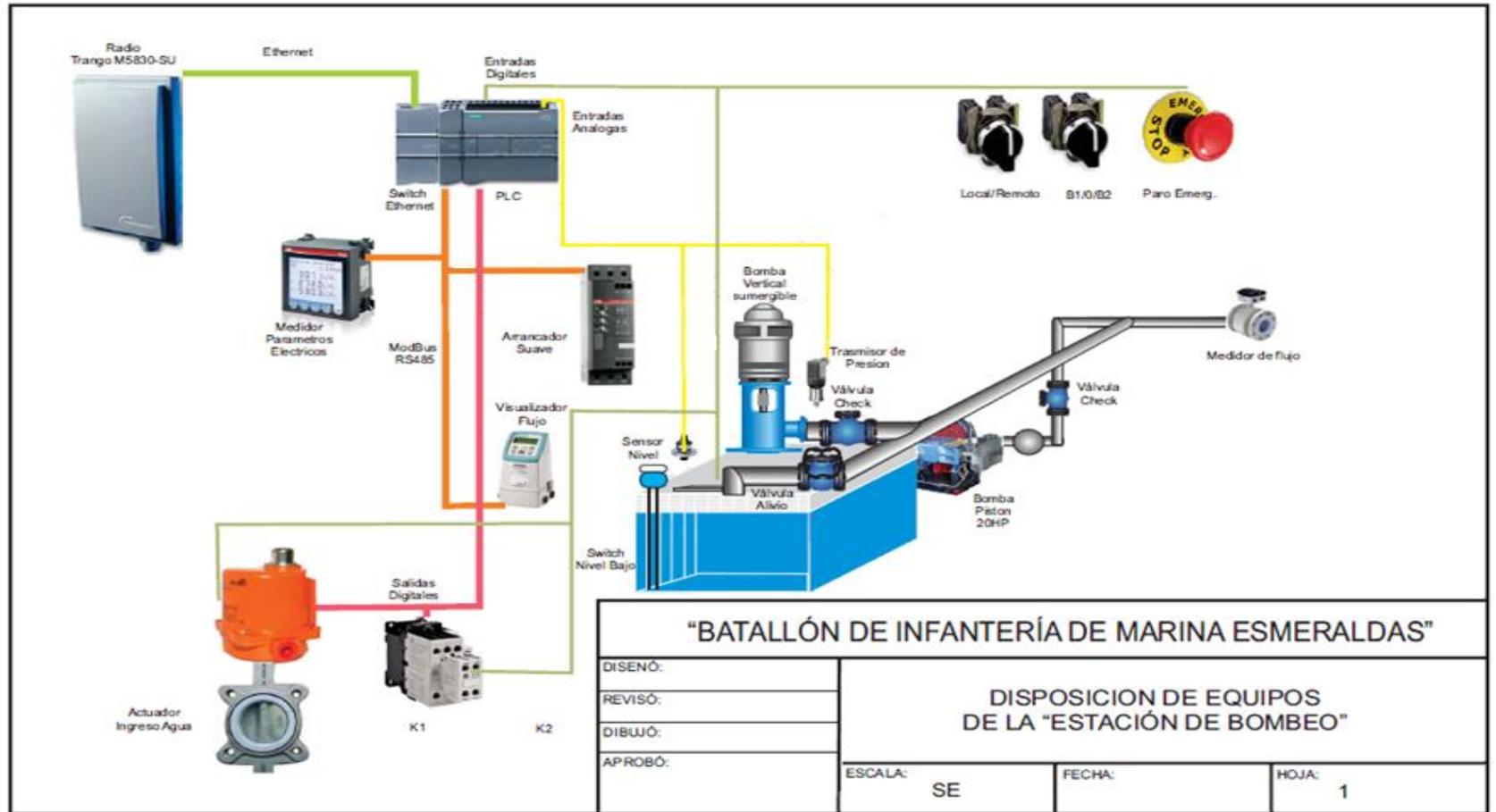


Figura 64. Disposición de equipos en la estación de bombeo

Tabla 16.

Detalle de entradas y salidas del PLC de la estación de bombeo

No	I/O	Nombre	Tipo	Dir	Observaciones
1	Entrada Digital	b_B1ParoEmg_Cmd	Boolean	%I0.0	Botón paro emergencia B1
2	Entrada Digital	b_B1Remote_Cmd	Boolean	%I0.1	Selector remoto B1
3	Entrada Digital	b_B1LocStart_Cmd	Boolean	%I0.2	Arranque local B1
4	Entrada Digital	b_B1LocReset_Cmd	Boolean	%I0.3	Reset local B1
5	Entrada Digital	b_B1Started_Ack	Boolean	%I0.4	Status arranque local B1
6	Entrada Digital	b_B1Fail_Ack	Boolean	%I0.5	Status falla B1
7	Entrada Digital	b_B2ParoEmg_Cmd	Boolean	%I0.6	Botón paro emergencia B2
8	Entrada Digital	b_B2Remote_Cmd	Boolean	%I0.7	Selector remoto B2
9	Entrada Digital	b_B2LocStart_Cmd	Boolean	%I1.0	Arranque local B2
10	Entrada Digital	b_B2LocReset_Cmd	Boolean	%I1.1	Reset local B2
11	Entrada Digital	b_B2Started_Ack	Boolean	%I1.2	Status arranque local B2
12	Entrada Digital	b_B2Fail_Ack	Boolean	%I1.3	Status falla B2
13	Entrada Digital	b_SwNivelOK_Ack	Boolean	%I1.4	Status switch nivel
14	Entrada Digital	b_VlvClosed-Ack	Boolean	%I1.5	Status actuador
15	Entrada Analógica	w_B1PSIV	Word	%IW64	Sensor presión
16	Entrada Analógica	w_LVLV	Word	%IW66	Sensor nivel ultrasónico
17	Entrada Analógica	w_FlowReal	Word	%IW96	Medidor de Flujo
18	Entrada Analógica	w_FlowFt	Word	%IW97	Flujo total
19	Entrada RS-485	w_B1AMPS	Word	%IW96	Medidor parámetros eléctricos
20	Entrada RS-485	w_B2AMPS	Word	%IW98	
21	Entrada RS-485	w_B1Volts	Word	%IW100	
22	Entrada RS-485	w_B2Volts	Word	%IW102	
23	Salida Digital	ToB1OnLamp	Boolean	%Q0.0	Lámpara encendido B1
24	Salida Digital	ToB1FailLamp	Boolean	%Q0.1	Lámpara falla B1
25	Salida Digital	ToB1StartRly	Boolean	%Q0.2	Encendido B1
26	Salida Digital	ToCistBajaLamp	Boolean	%Q0.3	Lámpara nivel bajo cisterna
27	Salida Digital	ToRsrvAltoLamp	Boolean	%Q0.4	Lámpara nivel alto
28	Salida Digital	ToB2OnLamp	Boolean	%Q0.5	Lámpara encendido B2
29	Salida Digital	ToB2FailLamp	Boolean	%Q0.6	Lámpara falla B2

5.2.2 Centro de mando y monitoreo

La arquitectura de control en esta localidad dispone de un PLC 1212C AC/DC/Relay Modelo 6ES7 212-1BD30-0XB0 que actúa como maestro del sistema y a la vez controla el nivel en el tanque de reserva ubicado en la planchada 1; además cuenta con un módulo Ethernet Industrial CSM 1277, un sensor ultrasónico de nivel ToughSonic modelo TS-30S2-IV de SENIX con salida 4-20 mA conectado a la entrada analógica del PLC y un switch de nivel OMRON modelo 61F-GP-V50 conectado a la entrada digital del PLC. El PLC se conecta a los enlaces inalámbricos punto – punto y punto – multipunto y al SCADA mediante el switch Ethernet industrial según se observa en el diagrama de señales de la **Figura 65**. El detalle de las entradas y salidas se muestra en la **Tabla 17**.

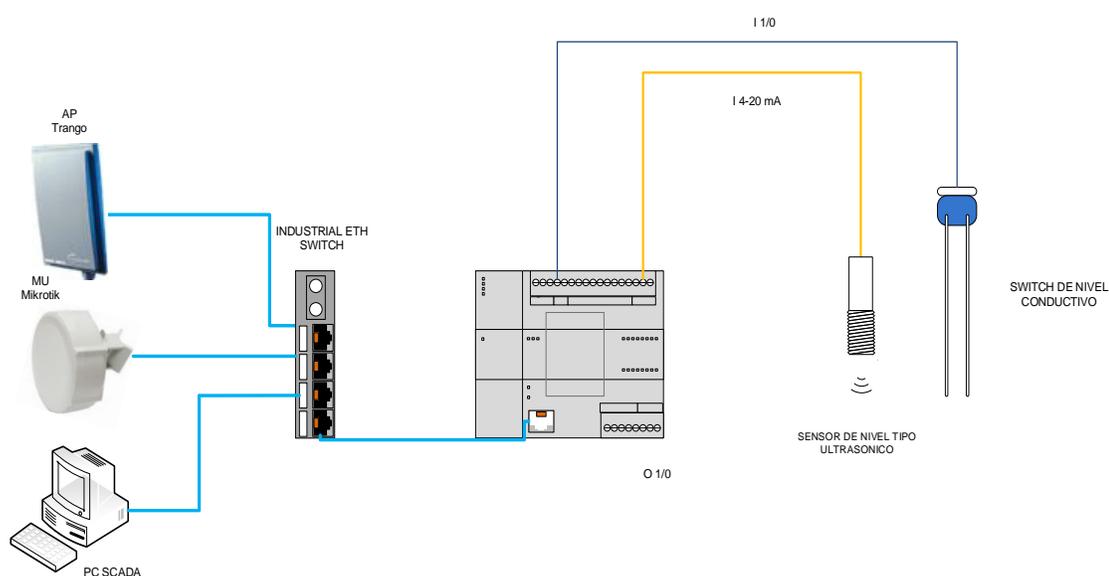


Figura 65. Diagrama de señales del centro de mando

Tabla 17.

Detalle de Entradas y Salidas del PLC maestro en el centro de mando

Ord	I/O	Nombre	Tipo	Dirección	Observaciones
1	Entrada Digital	b_Rsrv1OverLvl	Boolean	%I0.1	Switch de nivel
2	Entrada Analógica	W_Rsrv1Lvl	Word	%IW64	Sensor ultrasónico

5.2.3 Derivación

La arquitectura de control en esta localidad dispone de un PLC 1214C DC/DC/Relay Modelo Específico 6ES7 214-1AE30-0XB0 que controla los dos actuadores BELIMO modelo SY1-24-3-T que accionan las válvulas mariposa hacia el Gate 8 y CALIME. Este PLC está ubicado en un lugar donde no se dispone de energía eléctrica, por lo tanto se instalaron dos paneles solares para proveer alimentación DC al dispositivo y los actuadores. El módulo Ethernet Industrial CSM 1277 le permite al PLC conectarse al radio TRANGO BROADBAND. Las salidas de cada actuador se conectan a las entradas digitales del PLC para determinar su status, y las salidas digitales del PLC controlan la apertura y cierre de ambos actuadores a través de dos relays. El diagrama en la **Figura 66**. El detalle de las entradas y salidas se muestra en la **Tabla 18**.

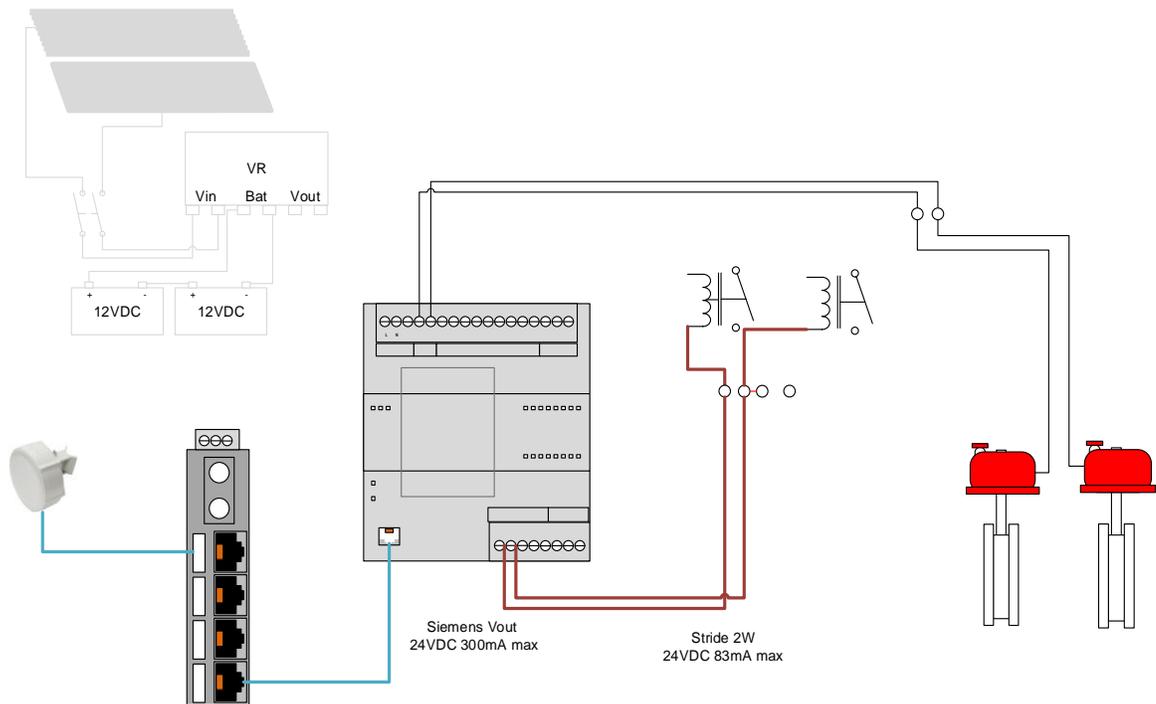


Figura 66. Diagrama de señales de la Derivación

Tabla 18.

Detalle de entradas y salidas del PLC en la derivación

Ord	I/O	Nombre	Tipo	Dir	Observaciones
1	Entrada Digital	b_Vlv1Cerrada	Boolean	%I0.1	Status válvula 1
2	Entrada Digital	b_Vlv2Cerrada	Boolean	%I0.2	Status válvula 1
3	Salida Digital	ToVlv1	Boolean	%Q0.0	Accionamiento válvula 1
4	Salida Digital	ToVlv2	Boolean	%Q0.1	Accionamiento válvula 2

5.2.4 Tanque de distribución del Gate 8 y CALIME

La arquitectura de control en ambas localidades es casi idéntica, con la excepción que el Gate 8 no se comunica con el PLC maestro mediante un enlace inalámbrico sino alámbrico por Ethernet. Estas localidades controlan únicamente los niveles en los tanques de reserva mediante un PLC 1212C AC/DC/Relay Modelo 6ES7 212-1BD30-0XB0, señales que permitirán al sistema determinar la secuencia de encendido de la bomba. Otros dispositivos instalados en estos lugares son: un módulo Ethernet Industrial CSM 1277, un sensor ultrasónico de nivel ToughSonic modelo TS-30S2-IV de SENIX con salida 4-20 mA conectado a la entrada analógica del PLC, un switch de nivel OMRON modelo 61F-GP-V50 conectado a la entrada digital del PLC, según se observa en el diagrama de señales de la Figura 67. El detalle de las entradas y salidas se muestra en la **Tabla 19**. Se adjunta registro fotográfico de la instrumentación y equipo de bombeo en el **Anexo P**.

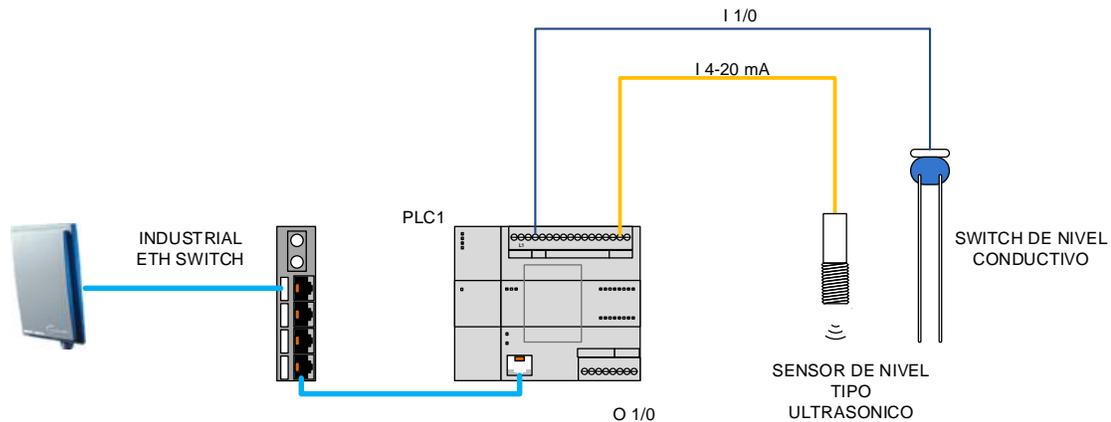


Figura 67. Diagrama de señales del tanque remoto en el Gate 8 y CALIME

Tabla 19.

Detalle de Entradas y Salidas del PLC en CALIME y Gate 8

Ord	I/O	Nombre	Tipo	Dirección	Observaciones
1	Entrada Digital	b_OverLvl2Good	Boolean	%I0.1	Switch de nivel
2	Entrada Analógica	W_Rsrv2Level	Word	%IW64	Sensor ultrasónico

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas Preliminares

Las Pruebas Preliminares se realizaron a los equipos e instrumentos a instalar y los existentes en el sistema de bombeo de agua potable de BIM-ESM, cada instrumento fue testeado con el propósito de conocer su funcionamiento y estado, este diagnóstico se lo realizó de forma individual.

6.1.1 Equipos en el Sistema de Distribución

El Sistema de Distribución se cuenta con equipo ya instalado, el equipo existente es de funcionamiento manual y eléctrico. El chequeo de estos elementos que forman parte del sistema de distribución se detalla en la **Tabla 20**. El equipo que conforma el sistema de distribución está conformado por el equipo de bombeo, válvulas de aire, actuadores y válvulas manuales, válvulas check y tubería. El análisis realizado al equipo del sistema de distribución, presenta como resultados desgastes en ciertos equipos sin daños importantes en el proceso de automatización y optimización, se realizó el cambio de las válvulas manuales y se sugirió el mantenimiento preventivo al conjunto Bomba-Motor.

Tabla 20.

Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Distribución

Elemento	Estado	Observación
Motor de Bomba sumergible 25 Hp	Correcto	El Motor fue reparado, Falta mantenimiento preventivo periódico.

Continúa 

Bomba sumergible 90 GPM	Correcto	No presenta observación. Se sugiere mantenimiento preventivo.
Actuadores BELIMO	Correcto- Observación	La energía suministrada por la Red Eléctrica es variante en sus niveles, producen fallas repentinas a los actuadores.
Válvulas Manuales	Incorrecto	Realizar Cambio de 2 válvulas de paso, daño por corrosión.
Válvulas Check	Correcto	Sin observación alguna.
Válvulas de Aire	Correcto- Observación	Una valvular ventosa se encuentra con fisuras no afecta a su función, a futuro cambiar.
Tubería	Correcto- Observación	Se encontraron daños en sector a Calime por maquinarias de OCP. Reparaciones, se realizaron cambios y adaptaron válvulas para disminuir presión.

Tabla 21.

Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Instrumentación

Elemento	Estado	Observación
Medidor de Flujo MJK	Correcto	Sin Observación, sugiere mantenimiento preventivo.
Sensor Ultrasónico de Nivel	Incorrecto	Daños por golpes al sensor en el sector Gate 8, el sensor debe ser cambiado.
Switch de Nivel	Correcto- Observación	Cambiar el elemento en el secto Planchada, su vida útil está por cumplirse.
Sensor de Presión	Correcto	Sensor nuevo sin novedad.

A cada instrumento nuevo se realizó una prueba de funcionamiento individual, las pruebas se realizaron sin conectar al sistema de instrumentación, cada prueba consistía en energizar al instrumento y comprobar mediciones de señales. Ningún instrumentó presento fallas.

- Equipos en el sistema de Control.

Los dispositivos principales en el sistema de control son los controladores lógicos programables. Elementos ya existentes en el sistema de control, para conocer el estado de cada dispositivo se realizan pruebas tanto hardware como software. Las pruebas preliminares de Hardware a cada PLC no presento ningún inconveniente cada salida y entrada se activaron sin novedad y con el tensión adecuado. Las pruebas preliminares de Software a cada PLC no presento ninguna variación los procesos implementados se ejecutaron de forma correcta en tiempo y ciclo.

6.1.2 Equipos en el sistema de Comunicación.

Los equipos de comunicación **Tabla 22**, son de gran prioridad en el proceso de automatización y son los más frecuentes en presentar conflictos, el principal inconveniente resultado del análisis fue la pérdida de comunicación por parte del radio en el sector Calime, se prosedió al cambio de forma inmediata.

Tabla 22.

Pruebas Preliminares a elementos del Sistema de Comunicación

Elemento	Estado	Observación
Switch Industrial	Correcto- Observación	El elemento pierde comunicación con los equipos conectados, por corte de energía repentino, se sugiere cambio de UPS.
Rádío Mikrotik	Correcto- Observación	El estado del radio en posición Calime, presenta itinerancia de datos, se desconoce el daño, se sugiere cambiar de radio.

Continúa 

Módulos de comucación PLC	Coreccto- Observación	Los modulos de los PLC's Derivación y Calime, presentan prerdida de información, se sugiere volver a cablear alimentación y una prueba
---------------------------	-----------------------	--

6.2 Pruebas en tiempo real

Las pruebas se las realizó en conjunto, todos los sistemas interactuando en un solo proceso. Estas pruebas se las realizo en el sistema de monitoreo SCADA, mediante el monitoreo de cada sistema se realizó un análisis a los sistemas de: distribución, instrumentación, control y comunicación. Para ellos se contaba con personal en cada estación y puesto de mando, para conocer el estado de cada equipo.

6.2.1 Pruebas al Sistema de Distribución.

La tubería y el equipo de bombeo son la parte principal del sistema por lo cual se realizaron pruebas, a la tubería que distribuye en agua desde la estación de control hasta los reservorios Batallón y Calime se realizó pruebas manuales de inspección el cual consta de una prueba con bomba encendida.

La tubería reacciona de forma diferente al cambio de presión al que se somete, para lo cual se inspeccionó si la tubería sufría desperfectos o variaciones de su forma al momento bombear agua.

Para el equipo de bombeo se tuvo en consideración aspectos de control y condiciones para el arranque del conjunto bomba-motor. Las pruebas se realizaron de formar manual, el arranque local se realizó desde el cuarto de bombas, el arranque posee un temporizador de 15 segundos en iniciar. Cumpliendo con lo esperado el arranque se

dio en un tiempo de 15 segundos, previsto por la programación seteado en el arrancador suave.

6.2.2 Pruebas al Sistema de Control

Las pruebas de control se las realizó desde el propio software de programación, TIA PORTAL, en él se puede observar el estado de los bloques, variables y procesos que se encuentran en la lógica del controlador.

Mediante la lectura de los valores de las variables de los sensores de nivel en el controlador y la comparación con los datos reales observados y medidos por el operador se daba por culminado el correcto estado del controlador y su lógica para actuar de acuerdo a los niveles.

La activación de la bomba cumpliendo con ciertos parámetros, demuestra que la lógica de control cumple o no su función.

Dentro del modo de operación existen dos formas de control: Manual y Automática

El modo Manual: cumpliendo con condiciones de lógica de contacto en el cuarto de bombas.

El modo Automático: cumpliendo condiciones de lógica de control en el PLC.

Bajo estos parámetros y condiciones se ha comprobado el funcionamiento el sistema de control, tanto en modo manual como automático. Dando como resultado la activación o desactivación del bombeo de agua respecto a los niveles críticos. Cumpliendo con los estimado y con el proceso de automatización.

Dentro del sistema de control se incluye al sistema de monitoreo el cual es apoyo para controlar los procesos y verificar el funcionamiento de cada elemento, en el

transcurso de la implementación el sistema Scada ha sufrido modificación con el propósito de mejorar su entorno y sencillez hacia el operador.

6.2.3 Pruebas al Sistema de Comunicación

Las primeras pruebas en realizar a este sistema fueron mediante testeos desde un nodo a otro mediante el comando Ping de cmd. Esta prueba sirve para conocer si existe o no comunicación entre los puestos de control.

Las pruebas siguientes se realizaron desde el SCADA, se mandó activar señales y leer estados de los diferentes equipos del sistema.

6.2.4 Pruebas al Sistema de Instrumentación

Las pruebas del sistema de instrumentación se lo realizaron de forma individual y en conjunto. Para cual se realizaron pruebas a los sensores de nivel, caudal y presión.

Las pruebas realizadas a la instrumentación se las realizó de forma remota. Mediante la lectura de instrumentos se demostró su funcionamiento. El funcionamiento individual de cada sensor se lo realizó en las pruebas preliminares, demostrando que los sensores funcionan de manera adecuada.

Validando el rango en el que tienen que operar, un ejemplo de prueba en el sensor ultrasónico de nivel. El cual emite una luz si el rango se encuentra por encima o debajo del nivel crítico, esos valores en la estación de bombeo son: 100 cm nivel crítico bajo y 240 cm nivel crítico alto.

De la misma manera el Switch de nivel, presión y caudal manda una alarma al Scada si el nivel de agua no corresponde al deseado o si está en valores críticos.

6.2.5 Pruebas al Sistema en Conjunto de Bombeo de Agua.

Las pruebas en conjunto se las realizó en modo automático, observando las decisiones que tomaba la lógica de control, respecto a los niveles tanto en la estación de bombeo y los reservorios, con esos datos adquiridos gracias al sistema de comunicación se decide a qué reservorio debería dirigir el flujo de agua, activando los actuadores del sector de derivada y por ultimo activar la bomba si se cumplen las condiciones requeridas y este proceso.

Si todo este proceso se cumple a cabalidad se demuestra que cada uno de los sistemas trabaja adecuadamente tanto en su forma individual como en conjunto con los demás sistemas, cumpliendo así un proceso automatizado y encaminado a la optimización de sus sistemas.

Las pruebas se las realizaron desde un principio, pensando en las peores condiciones y fallas de cada uno de los elementos que conforman al proceso de control y automatización, buscando siempre la optimización cada proceso.

6.3 Análisis de resultados

Las pruebas realizadas están orientadas a los diseños del capítulo 3 y capítulo 4, considerando eso se tiene como resultado:

- Sistema de distribución.

Los elementos que conforman este sistema desde el equipo de bombeo hasta la tubería para la distribución funcionan correctamente.

- Sistema de Instrumentación

Los resultados obtenidos en este sistema se empezaron a obtener desde las pruebas preliminares, observando el comportamiento a lo largo de transcurso de la automatización de todo el sistema de agua potable. Los inconvenientes se llegaron a resolver y al final de las pruebas se demostró el correcto funcionamiento de cada instrumento y en conjunto con el sistema.

- Sistema de Control

La lógica de control implementada en cada PLC, en los puntos: Estación de Bombeo, Derivada, Calime, Batallón- Gate 8, Batallón- Puesto de Mando, fue comprobada mediante pruebas de Hardware y Software las cuales cumplen con el diseño y los objetivos planteados.

El monitoreo mediante el SCADA funciona correctamente, demostrando sus resultados en los datos que se adquieren y los procesos que se realizan desde el puesto de control principal.

- Sistema de Comunicación.

La comunicación entre puestos de control sufría inconvenientes ajenos al diseño o propios de los instrumentos, la Red de distribución de energía eléctrica es variante en sus niveles de tensión y los equipos de comunicación sufrían las consecuencias. Se implementó reguladores y solucionó temporalmente y con ello el sistema de comunicación funciona correctamente.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Mediante el análisis de las necesidades que el sistema requería para el proceso de optimización, se identificaron los puntos en los cuales se debía actuar mediante el diseño e implementación de equipos para el proceso de automatización.
- El desarrollo de la ingeniería básica y de detalle fueron de gran importancia para el proceso de análisis, diseño y selección de los instrumentos como de la lógica de control implementada, cumpliendo con el propósito principal garantizar un sistema de control automático confiable.
- El diseño de la lógica de control se ajusta hacia la mejora de la eficiencia en el consumo de agua, mediante el control del suministro del líquido a los reservorios y evitando procesos manuales que entorpecían el llenado de los tanques, creando desbordamiento y con ello desperdiciando el agua. La lógica implementada cumple las expectativas deseadas.
- El diseño del interfaz humano-Maquina (HMI) se desarrolló bajo la guía GEDIS y con ayuda del personal a cargo de operar el sistema, habiéndose obtenido un entorno amigable, fácil, normalizado y organizado para su operación.
- Durante todo el proceso de automatización y optimización del sistema de agua potable se realizaron pruebas a cada instrumento, equipo y proceso, con el afán de brindar seguridad y garantizar el correcto funcionamiento.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar mantenimiento preventivo a todos elementos que conforman el sistema de bombeo de agua potable, ya que en el transcurso de la implementación se observó descuido en instrumentos y tubería.
- Las válvulas de aire o ventosas son las más vulnerables a daños por el ambiente o por la falta de señalización, se recomienda poner señaléticas que identifiquen la tubería y los elementos que conforman, para prevenir daños por personal que desconocen de equipos de bombeo y tubería.
- Si en un futuro el proyecto es ampliado se recomienda analizar el tráfico de datos y su impacto al sistema de comunicación, y sus efectos en la adquisición de datos.
- Se recomienda actualizar el firmware de cada PLC ya que se encuentran con una versión antigua y a futuro podría acarrear conflictos en comunicación.
- La provincia de Esmeraldas sufre de muchos cortes eléctricos en temporadas de invierno para lo cual se recomienda al batallón adquirir nuevos Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (UPS), ya que los actuales están por cumplir su vida útil y su tiempo de respaldo eléctrico es muy corto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Prieto, P. (08 de Octubre de 2007). *Principios Básicos de los PLC*. Obtenido de <http://recursostic.educacion.es/>
- ABB. (s.f.). *ABB Group - Automation*. Recuperado el 9 de Agosto de 2015, de M2M: <https://library.e.abb.com/public/635fd2b8ca9d770ac12578cb0023448f/2CSG445011D0201.pdf>
- ABB SACE. (s.f.). *ABB Group - Automation*. Recuperado el 10 de Agosto de 2015, de <https://library.e.abb.com/public/0ce6b6a4fa7cde78c1257bad004b3c83/2CSC445021B0202.pdf>
- Afonso, I. (2015). <http://slideplayer.com.br/slide/3128997/>.
- Automacion, i. y. (2010). Obtenido de <http://www.nikron.com.ar>
- Barrios Napurí, C., Torres Ruiz, R., Cristina Lampoglia, T., & Agüero Pittman, R. (2009). *Principales sistemas rurales de abastecimiento de agua*. Obtenido de Guía de orientación en Saneamiento Básico: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm#arriba>
- Beckwith, T. G., Marangoni, R. D., & Lienhard, J. H. (1993). *Mechanical Measurements, Fifth Edition*. New York, United States: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- BELIMO. (Noviembre de 2015). *BELIMO*. Obtenido de http://www.belimo.ch/pdf/e/SY1-24-3-T_datasheet_en-gb.pdf
- Clarke , G., & Reynders, D. (2004). *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. Great Britain: IDC Technologies.
- Commission, I. E. (Octubre de 2006). *Introducción al Estándar IEC-61131*. Obtenido de <http://www.iec.ch/>

- Corcho , F., & Duque , J. (2005). *ACUADUCTOS, TEORIA Y DISEÑO*. Medellin: Sello Editorial, Universidad de Medellin.
- Demócrito, L. Á. (Junio de 2009). *La Potabilización del Agua*. Recuperado el 3 de febrero de 2016, de <http://democrito.info/2009/06/24/la-potabilizacion-del-agua/>
- Departamento de física aplicada . (2010). *Tubo de Venturi*. Obtenido de <http://laplace.us.es>
- Electromatica. (2012). Obtenido de ELETROMATICA: <http://www.electromatica.cl/flujometros.html>
- Eugen Gassmann, A. G. (2009). *Elektronische Druckmesstechnik*. Verlag Moderne Industrie, ISBN 978-3-937889-95-5.
- Gassmann, E., & Gries, A. (2009). *Elektronische Druckmesstechnik*. Abbildungen: Verlag Moderne Industrie ISBN 978-3-937889-95-5.
- Mackay, S., Wright, E., Reynders, D., & Park, J. (2004). *Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting*. Gran Bretaña: IDC Technologies.
- MagFlux. (s.f.). *MJK Automation*. Recuperado el 15 de Agosto de 2015, de <http://www.mjk.com/mjk-product-line/flow/magflux-com/#c344>
- Moromenacho Oña, E. (2008). Diseño e Implementación del Sistema de Control Automatico de la estacion de bombeo de agua potable colina alto de la EMAAAP-Q. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Obregón , Á. (2014). *Centro virtual de informacion del agua*. Obtenido de Agua.org.mx: <http://www.agua.org.mx/>
- OMRON . (13 de Agosto de 2015). *OMRON CORPORATION*. Obtenido de http://www.proenergo.ru/doc_pdf/sensor/level/61F-GP.pdf

- Organizacion Panamericana de la Salud. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE ESTACIONES DE BOMBEO*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/>: http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/023_Disenostaciones_bombeo/Dise%C3%B1o%20estaciones%20de%20bombeo.pdf
- Riobo G, Y. G. (Junio de 2015). *Instrumentacion*. Obtenido de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/INST_Flujo/medidoresflujovolumetrico/toberadeflujo.htm
- Rose, M., & Cass, D. (Mayo de 1987). *The Internet Engineering Task Force*. Recuperado el 2 de Agosto de 2015, de IETF: <https://tools.ietf.org/html/rfc1006>
- Senix Corporation. (2010). *ToughSonic*. Obtenido de <https://senix.com/general-purpose-ultrasonic-sensors/>
- SIEMENS AG. (Septiembre de 2010). *SIEMENS*. Recuperado el 31 de Julio de 2015, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/038/39040038/att_7923/v1/39040038_ce-x17_v1d2_en.pdf
- SIEMENS SITRANS. (1 de Agosto de 2015). *SIEMENS Automation*. Obtenido de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/483/22253483/att_47079/v1/A5E00683892-02en_Z_7MF1564.pdf
- SNAP 7. (s.f.). *SNAP 7 SOURCEFORGE*. Recuperado el 3 de Agosto de 2015, de http://snap7.sourceforge.net/siemens_comm.html
- Stallings, W. (1997). *Data and Computer Communications, Fifth Edition*. Upper Saddle River, New Jersey, United States: Prentice-Hall, Inc.
- TRANGOBROADBAND. (s.f.). *TRANGOBROADBAND WIRELESS*. Recuperado el 2 de Agosto de 2015, de http://www.palosverdes.com/pvarc/files/Wifi/Trango%20M_Access5830%20UserManual.pdf

ANEXOS