



**Integración de las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico” al sistema SCADA
sector “Las Chozas” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado
Lago Agrio**

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electrónica. Automatización y Control.

Aguirre Aguilar, José Daniel y Núñez Toro, Victor Alfonso

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro, Mgs

Sangolquí

Octubre, 2020

Document Information

Analyzed document	TITULACION_DANIEL_AGUIRRE_VICTOR_NUNEZ.docx (D80361273)
Submitted	10/1/2020 4:30:00 AM
Submitted by	Ortiz Tulcán Hugo Ramiro
Submitter email	hrtiz@espe.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	hrtiz.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	DocFinal CIP.pdf Document DocFinal CIP.pdf (D79520797)		1
W	URL: https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualization-control ... Fetched: 10/1/2020 4:30:00 AM		2
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS JOE SANTIAGO CABEZAS.pdf Document TESIS JOE SANTIAGO CABEZAS.pdf (D47255973) Submitted by: hrtiz@espe.edu.ec Receiver: hrtiz.espe@analysis.arkund.com		1
W	URL: https://www.academia.edu/5166745/Dise%C3%B1o_Industrial_DISE%C3%91O_DE_PANTALLA_MI ... Fetched: 10/1/2020 4:30:00 AM		1



ING. HUGO ORTIZ T. MGS

CC. 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Integración de las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico” al sistema SCADA sector “Las Chozas” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio” fue realizado por los señores **Aguirre Aguilar, José Daniel y Núñez Toro, Victor Alfonso**, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, septiembre de 2020

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro, Mgs
C. C. 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Aguirre Aguilar, José Daniel** y **Núñez Toro, Victor Alfonso**, con cédulas de ciudadanía n°1724017759 y n°2100981980, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Integración de las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico” al sistema SCADA sector “Las Chozas” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, septiembre de 2020

.....
Aguirre Aguilar José Daniel

C.C.:1724017759

.....
Núñez Toro Victor Alfonso

C.C.: 2100981980



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros, **Aguirre Aguilar, José Daniel** y **Núñez Toro, Victor Alfonso**, con cédulas de ciudadanía n°1724017759 y n°2100981980, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Integración de las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico” al sistema SCADA sector “Las Chozas” de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, septiembre de 2020



.....

Aguirre Aguilar José Daniel

C.C.:1724017759



.....

Núñez Toro Victor Alfonso

C.C.: 2100981980

Dedicatoria

A mi madre Ruth, quien con su esfuerzo y sabiduría supo guiarme por el camino del éxito.

A mi padre Ángel, quien me ha dado enseñanzas desde muy pequeño.

A mis hermanos: Andrés, Darío y Maritza, quienes han sido fuente de inspiración para continuar mejorando día a día.

A mis amigos quienes han formado parte de esta gran experiencia en la universidad y que he llegado a considerar como la familia que escogí y me escogió.

Y por último lo dedico a mi hermano mayor Leonardo quien ha sido fuente de inspiración para continuar con mis estudios.

Victor Nuñez

Dedicatoria

*Esta tesis va dedicada a toda mi familia en general
a mis tíos y primos, su sabiduría y su bendición,
que siempre me han apoyado y han sabido guiar
y que gracias a todos ellos he logrado llegar
hasta este punto de mi vida.*

*Especialmente agradezco a mi madre María Elena
que con sus sabias palabras y su apoyo incondicional
ha hecho que yo pueda superarme en cada paso
y que siempre tenga una meta más por cumplir
para así progresar como profesional y como persona.*

*A mi hermana que, a pesar de todo,
Siempre ha sabido como apoyarme
Y entenderme.*

*A mi padre que, a pesar de la distancia, está atento de mi
Y los problemas que podría tener, y me ha dado la mano
Para poder superarlos juntos.*

*Y por último dedico a todos los amigos que he adquirido
a lo largo de esta gran experiencia,
ya que sin ayuda de muchos de ellos no habría podido
llegar hasta aquí.*

A todos los llevo en mi corazón.

Daniel Aguirre

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud, a mis hermanos que han sido pilar fundamental en mi formación profesional y personal, a mi madre, el ser más maravilloso que el destino me ha dado, y a mi padre, por guiarme siempre en el buen camino.

Mi más sincero agradecimiento a mi primo y amigo Miguel Ríos, con quien compartí momentos únicos y que siempre me daba alientos para seguir adelante.

También agradezco al ingeniero Paul Cueva por sus consejos y experiencias compartidas cuando me desenvolvía como pasante y posterior como tesista de EMAPALA EP. A todo el personal técnico y de operación de la estación Las Chozas que permitieron llevar a cabo este proyecto de titulación.

Agradezco a mi amigo y compañero incondicional Daniel Aguirre, con quien compartimos momentos de todo tipo, en donde las risas nunca faltaron, un agradecimiento enorme a mis amigos que me acogieron en su hogar como si fuese uno de más de la familia. A Francisco Palacios junto a sus padres y como no mencionar a la familia que escogí y que me escogió, todos los chicos de “La Frate”.

Agradezco a nuestro tutor, el ingeniero Hugo Ortiz, por el apoyo brindado en desarrollo de este proyecto.

Finalmente, expreso mi gratitud a la Universidad de las Fuerzas Armadas -ESPE a sus docentes por el conocimiento impartido, por lo que hoy puedo decir que, a pesar de un largo y duro camino, se ha cumplido una gran meta en mi vida

Victor Nuñez

Agradecimiento

*Agradezco en primer lugar a mi universidad, Docentes y tutores
Por todo el conocimiento que me han brindado
y cada prueba que me han puesto
Gracias a ello he podido mejorar y crecer tanto laboral como espiritualmente,
Agradezco también a la empresa que supo ayudarnos en todos los conflictos y
Supo acogernos para así poder concluir con esta etapa.
Agradezco directamente a mi compañero y amigo Victor Núñez y toda su familia
ya que sé que, aunque el camino fue extenso y difícil, supieron comprender
Y resolver cada adversidad que se presentó
de la mejor manera y con su gran carisma.
Agradezco a mi familia y amigos por apoyarme en todo, tanto con sus ánimos
Como en resolución de problemas, incluso económicos.
Nuevamente gracias a mi madre y mi hermana, enserio no podría llegar
A ningún lado sin ustedes apoyándome y soportándome.
Gracias infinitas a todos los que contribuyeron,
aunque sea con un grano de arena,
en este proyecto, que es un sueño hecho realidad.
A todos los llevo en mi corazón.*

Daniel Aguirre

Tabla de contenido

Resumen	24
Abstract	25
Capítulo I	26
Generalidades	26
Antecedentes	26
Justificación e Importancia	27
Alcance	28
Objetivos	31
Objetivo General	31
Objetivos Específicos	32
Capítulo II	33
Fundamentación Teórica	33
Sistema de Agua Potable	33
Captación	34
Tratamiento	34

Red de Distribución.....	34
Reservorio	35
Abastecimiento de agua potable por gravedad	35
Sensores.....	35
Sensores de Presión.....	36
Sensores de Nivel.....	36
Aparatos de Maniobra.....	37
Pulsadores	37
Luces Piloto	39
Contactor	40
Relé Electromagnético de Mando.....	40
Variador de frecuencia	40
Controladores Lógicos Programables	41
Estructura Básica de un PLC	41
Lógica programable.....	42
Aplicaciones.....	42

Sistemas de Control.....	43
Control en lazo abierto	44
Control en lazo cerrado	44
Control de tipo ON/OFF	45
Control On/Off con Histéresis.....	46
Redes Industriales	47
Clasificación de las redes industriales.....	48
Protocolos de Comunicación de las Redes Industriales	49
Topologías de Red.....	50
Sistemas de Telemetría	51
Funcionamiento.....	52
Tipos de Telemetría	52
Interfaz Humano Máquina (HMI)	53
Funciones del HMI	53
Norma ANSI/ISA 101.01: Interfaces Humano – Máquina para Sistema de Automatización y Procesos.....	54

Sistemas de Control en Tratamiento de Agua Potable.....	58
Tableros Eléctricos.....	60
Ubicación	60
Equipos.....	60
Clasificación.....	61
Capítulo III	63
Ingeniería Básica	63
Descripción de la Planta	63
Requerimientos y Parámetros Preestablecidos del Sistema	65
Análisis y Revisión del Sistema Previo al Trabajo de Titulación.	68
Subestación Amor y Paz.....	68
Subestación Puerto Rico.....	69
Viabilidad y Disponibilidad Técnica	71
Viabilidad Técnica.....	71
Disponibilidad Técnica	72
Localización de los Elementos del Sistema.....	73

Variables y Señales del Proceso.....	75
Especificaciones de elementos	77
Sistema de Comunicación.....	78
Sistema de Control.....	78
Sistema de Instrumentación	80
Sistema de Supervisión.....	82
Diseño del Sistema de Comunicación	83
Simulaciones.....	85
Esquema de Arquitectura y Topología de Red	88
Diseño del Sistema de Control.....	89
Diseño del Sistema Supervisión.....	95
Análisis de Variables a Monitorear	96
Arquitectura.....	96
Plantilla de la Interfaz	98
Diseño Pantallas HMI.....	99
Diseño de tableros de control.....	103

NEC-SB-IE	104
NEC-15	104
IEC-61439-1	106
Capítulo IV	108
Ingeniería a Detalle	108
Arquitectura	108
Sistema de Control	110
Sistema de Telemetría y Comunicaciones	120
Sistema de Instrumentación	122
Sistema de Supervisión	126
Diseño de Tablero Industrial	135
Dimensionamiento del Conductor	136
Implementación	142
Normas de implementación	142
Sistema de Instrumentación	143
Sistema de Comunicación	148

Sistema de Control.....	150
Capítulo V.....	152
Puesta en Marcha.....	152
Generalidades.....	152
Configuración de Equipos	153
Sistema de Control.....	153
Sistema de Comunicación.....	158
Sistema de Supervisión.....	160
Capítulo VI.....	164
Pruebas y Resultados.....	164
Generalidades.....	164
Pruebas	164
Sistema de Control.....	164
Sistema de Comunicación.....	167
Sistema de Supervisión.....	167
Resultados.....	168

Sistema de Control.....	168
Sistema de Comunicación.....	171
Sistema de Supervisión.....	171
Capítulo VII.....	173
Conclusiones y Recomendaciones	173
Conclusiones	173
Recomendaciones	174
Referencias.....	176
ANEXOS.....	181

Índice de Tablas

TABLA 1 LISTA DE ELEMENTOS EN LA SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.	68
TABLA 2 LISTA DE ELEMENTOS EXISTENTES EN LA SUBESTACIÓN PUERTO RICO.	70
TABLA 3 VARIABLES Y SEÑALES DEL PROCESO EN LA SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.....	76
TABLA 4 VARIABLES Y SEÑALES DEL PROCESO EN LA SUBESTACIÓN PUERTO RICO.....	77
TABLA 5 CONFIGURACIÓN DE ANTENAS AMOR Y PAZ - PUERTO RICO.	84
TABLA 6 CONFIGURACIÓN DE LAS ANTENAS AMOR Y PAZ - LAS CHOZAS.	85
TABLA 7 CARACTERÍSTICAS DEL LOGO! SIEMENS 230RCE.	110
TABLA 8 CARACTERÍSTICAS DEL CONVERTIDOR DE FRECUENCIA ASC150.	111
TABLA 9 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DEL MÓDULO SIEMENS LOGO! AM2.....	112
TABLA 10 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOGO! POWER 24V.	112
TABLA 11 PULSADOR CAMSCO.....	113
TABLA 12 CARACTERÍSTICAS DEL LOGO! 12/24 RCE.....	114
TABLA 13 SELECTOR DE 3 POSICIONES SKOS ED33.	114
TABLA 14 LUZ INDICADORA CAMSCO.....	115
TABLA 15 RELÉ AUXILIAR SIEMENS.....	115
TABLA 16 CARACTERÍSTICAS DE 5SL3204-7MB.....	116

TABLA 17 CARACTERÍSTICAS DE ABB S803HV-K8.....	117
TABLA 18 CARACTERÍSTICAS DE SIEMENS 5SL3204-7MB.....	118
TABLA 19 CARACTERÍSTICAS DE SIEMENS 3VT1710.....	119
TABLA 20 CARACTERÍSTICAS DE LA ANTENA ROCKET M5.....	121
TABLA 21 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR AMETEK SSTSB0060PLSV.....	122
TABLA 22 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR CS PT 1200 1.....	123
TABLA 23 CARACTERÍSTICAS DEL SENSOR SIRIUS 3UG4501-1AW30.....	123
TABLA 24 CARACTERÍSTICAS DE HMIGTO5310 TOUCH PANEL.....	127
TABLA 25 CARACTERÍSTICAS DE SIEMENS LOGO! TD.....	127
TABLA 26 CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE LOS ELEMENTOS EN PUERTO RICO.....	137
TABLA 27 CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE LOS ELEMENTOS EN AMOR Y PAZ.....	138
TABLA 28 CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE MOTOR GRUNDFOS.....	140
TABLA 29 CARACTERÍSTICAS DE CONSUMO DE LA BOMBA MOPHORN.....	141
TABLA 30 SOFTWARE PARA CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.....	152
TABLA 31 CONFIGURACIÓN DE RED PARA LOS CONTROLADORES DEL SISTEMA.....	153

Índice de Figuras

FIGURA 1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES DEL PROYECTO.	29
FIGURA 2 MAPA DE CONEXIONES.	31
FIGURA 3 SIMBOLOGÍA DE PULSADORES.	38
FIGURA 4 CÓDIGO DE COLORES PARA PULSADORES Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN.	38
FIGURA 5 SIMBOLOGÍA DE UNA LÁMPARA.	39
FIGURA 6 CÓDIGO DE COLORES PARA LÁMPARAS Y EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN.	39
FIGURA 7 GRAFICA DE CONTROL DE SISTEMA ON/OFF.	46
FIGURA 8 PLANTA INTEGRAL CON CONTROLADOR CON HISTÉRESIS.	46
FIGURA 9 CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INDUSTRIALES.	49
FIGURA 10 TOPOLOGÍAS BÁSICAS DE RED.	51
FIGURA 11 MODELO GRÁFICO DE LA NORMA ISA 101, CICLO DE VIDA DE LA HMI.	56
FIGURA 12 ARQUITECTURA BÁSICA DEL SISTEMA.	64
FIGURA 13 ELEMENTOS PREVIOS AL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.	69
FIGURA 14 ELEMENTOS PREVIOS AL TRABAJO DE TITULACIÓN DE LA SUBESTACIÓN PUERTO RICO.	70
FIGURA 15 ESQUEMA DE UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE INSTRUMENTACIÓN.	74
FIGURA 16 ESQUEMA DE UBICACIÓN DEL SISTEMA DE TELEMETRÍA.	75

FIGURA 17 MAPA DE RELIEVE DE LA ZONA DE LA CIUDAD NUEVA LOJA.....	86
FIGURA 18 SIMULACIÓN DEL RADIO ENLACE ENTRE LAS SUBESTACIONES.	87
FIGURA 19 VISTA DE ENLACES DE ANTENAS ENTRE LAS SUBESTACIONES.	87
FIGURA 20 ARQUITECTURA PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	88
FIGURA 21 DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA SUBESTACIÓN PUERTO RICO.....	91
FIGURA 22 DIAGRAMA DE FLUJOS DE LA SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.	94
FIGURA 23 TABLA DE VARIABLES DEL DIAGRAMA DE FLUJOS AMOR Y PAZ.....	95
FIGURA 24 ARQUITECTURA DE PANTALLAS EN HMI.	97
FIGURA 25 DISTRIBUCIÓN DE PANTALLAS EN HMI.	98
FIGURA 26 BORRADOR DE INTERFAZ PROPUESTA.	101
FIGURA 27 DISEÑO FINAL DE LA HMI PARA PANELES PRINCIPALES.	102
FIGURA 28 DISEÑO DE VENTANAS EMERGENTES DE INFORMACIÓN E INGRESO DE PARÁMETROS.	103
FIGURA 29 ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA.	109
FIGURA 30 LINEALIZACIÓN DE LA VARIABLE DE NIVEL.....	125
FIGURA 31 LINEALIZACIÓN DE LA VARIABLE DE NIVEL.....	126
FIGURA 32 ARQUITECTURA FINAL DEL SISTEMA.....	128
FIGURA 33 PANTALLA DE INICIO DEL SISTEMA.	129

FIGURA 34 PANEL DE PROCESO EN SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.....	131
FIGURA 35 VENTANAS EMERGENTES PARA MODIFICACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO.	132
FIGURA 36 VENTANAS EMERGENTES DE INFORMACIÓN SISTEMA DE SUPERVISIÓN.....	132
FIGURA 37 PANEL DE TENDENCIAS DEL PROCESO EN SUBESTACIÓN AMOR Y PAZ.	133
FIGURA 38 PANEL DE PROCESO EN SUBESTACIÓN PUERTO RICO.....	134
FIGURA 39 PANEL DE TENDENCIAS DEL PROCESO EN SUBESTACIÓN PUERTO RICO.....	134
FIGURA 40 VISTA EXTERNA E INTERNA DEL TABLERO IMPLEMENTADO EN PUERTO RICO.....	135
FIGURA 41 VISTA EXTERNA E INTERNA DEL TABLERO IMPLEMENTADO EN AMOR Y PAZ.	136
FIGURA 42 TABLA DE DIMENSIONAMIENTO Y SELECCIÓN DEL CONDUCTOR.....	140
FIGURA 43 IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR DE NIVEL ANÁLOGO.	144
FIGURA 44 IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR DIGITAL DE NIVEL.....	145
FIGURA 45 IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR DE PRESIÓN.....	147
FIGURA 46 IMPLEMENTACIÓN DEL SENSOR DIGITAL DE NIVEL.	148
FIGURA 47 IMPLEMENTACIÓN DE ANTENA EN SUBESTACIÓN PUERTO RICO.	150
FIGURA 48 SISTEMA EN RED.	153
FIGURA 49 LISTA DE INSTRUCCIONES DE LOGO!SOFT COMFORT V8.2.....	154
FIGURA 50 GRUPOS DE PARÁMETROS DEL ACS550.	155

FIGURA 51 EJEMPLO DE CONEXIÓN DE E/S ACS550.	156
FIGURA 52 GRUPOS DE PARÁMETROS DEL ACS150.	157
FIGURA 53 GRUPOS DE PARÁMETROS DEL ACS150.	157
FIGURA 54 INICIO DE AIROS ROCKET M5.	158
FIGURA 55 MENÚ PRINCIPAL DE AIROS ROCKET M5.	158
FIGURA 56 CONFIGURACIÓN INALÁMBRICA MEDIANTE AIROS ROCKET M5.	159
FIGURA 57 CONFIGURACIÓN DE RED MEDIANTE AIROS ROCKET M5.	159
FIGURA 58 AIRVIEW, HERRAMIENTA DE AIROS ROCKET M5.	160
FIGURA 59 HERRAMIENTAS DE TRABAJO Y PANEL DE NAVEGACIÓN DEL SOFTWARE VIJEO DESIGNER. .	161
FIGURA 60 PASOS PARA AGREGAR EL CONTROLADOR LOGO! AL SISTEMA DE SUPERVISIÓN.	162
FIGURA 61 PASOS PARA AGREGAR LAS VARIABLES INTERNAS DESDE HMI AL CONTROLADOR LOGO. .	163
FIGURA 62 PRUEBAS DE CONTROLADORES.	165
FIGURA 63 PRUEBAS DEL SENSOR DE NIVEL.	165
FIGURA 64 CONTROLADOR LOGO! EN FUNCIONAMIENTO.	168
FIGURA 65 SENSOR DE PRESIÓN EN FUNCIONAMIENTO.	170
FIGURA 66 ANTENA ROCKET M5 EN FUNCIONAMIENTO.	171
FIGURA 67 IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DEL SISTEMA SCADA.	172

Resumen

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio EMAPALA EP, realiza la distribución de agua potable a través de subestaciones que se encuentran ubicadas en puntos estratégicos del cantón, en la línea de conducción de agua hacia el sector Puerto Rico interviene la subestación Amor y Paz que realiza el bombeo, de manera temporizada, hacia el tanque elevado de la subestación Puerto Rico, para que la misma se distribuya hacia los habitantes del sector mediante efecto de gravedad, dicho sistema desconoce las variables del proceso y opera de forma manual. Para el diseño del sistema automático se realizará el monitoreo constante de las variables de nivel de agua en el tanque elevado y presión de la bomba en la subestación Amor y Paz, con la finalidad de realizar una lógica de programación capaz de determinar los momentos exactos donde se requiera activar o desactivar dicha bomba, tomando en consideración las medidas de seguridad correspondientes para evitar posibles averías. Las subestaciones al encontrarse distantes entre sí, requieren una comunicación inalámbrica en la transferencia de información y además recolectar datos para que los mismo sean transmitidos y supervisados desde el sistema SCADA ubicado en la estación Las Chozas.

Palabras Clave:

- **DISTRIBUCIÓN**
- **VARIABLES DEL PROCESO**
- **BOMBEO**
- **SCADA**
- **LÓGICA DE PROGRAMACIÓN**

Abstract

The Municipal Public Company of Potable Water and Sewerage of Lago Agrio EMAPALA EP, carries out the distribution of potable water through substations that are located in strategic points of the place, on the conduction line of water to the Puerto Rico sector, the Amor y Paz substation intervenes, which pumps, on a timed basis, towards the elevated tank of the Puerto Rico substation, so that is distributed to the inhabitants of the sector through the effect of gravity, said system does not know the variables of the process therefore operates manually. For the design of the automatic system, current monitoring of the variables of the water level in the elevated tank and the pump pressure in the Amor y Paz substation will be carried out, in order to carry out a programming logic, capable of determining the exact moments where it is required to activate or deactivate said pump, taking into consideration the corresponding security measures to avoid possible breakdowns. Substations, have certain distance from each other, require wireless communication in the transfer of information and also collect data so that they are transmitted and supervised from the SCADA system located at the Las Chozas station.

Keywords:

- **DISTRIBUTION**
- **PROCESS VARIABLES**
- **PUMPING**
- **SCADA**
- **PROGRAMMING LOGIC**

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes

La Constitución establece que el Estado será el responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable; los mismo que deberán responder a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.

EL artículo 55 del Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización, COOTAD, determina que es competencia exclusiva del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal, prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental, entre otros (EMAPALA, 2014).

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio (EMAPALA) cuenta con una estación central de monitoreo denominada planta de agua potable sector Las Chozas, la cual se encarga de supervisar a distancia las demás subestaciones distribuidas en la ciudad.

Actualmente existen algunas subestaciones que no se encuentran intercomunicadas a la estación central, en consecuencia, no posee un monitoreo eficiente del sistema distribuido, algunas ciudades de grandes países poseen sistemas intercomunicados entre sí para el monitoreo y control de todas las variables que se

pueden presentar para el proceso del agua potable, como son: presión, nivel, volumen, clarificación, etc. (lyonnaise-des-eaux, 2006).

Existen varias empresas que se dedican exclusivamente al tratamiento de agua potable y a su correcto procesamiento, como es el caso de la empresa Lacroix Sofrel, la cual establece que, la comunicación de todas las variables y el monitoreo de las mismas es esencial para llevar a cabo este proceso de vital importancia para la vida cotidiana, entre las características importantes que debería tener este procedimiento se encuentran: comunicación entre la estación de bombeo y las estaciones de almacenamiento y distribución, controlar y monitorear el proceso de bombeo, optimizar el bombeo en base a los términos de facturación de energía, comprobar el caudal de las bombas y su rendimiento, calcular los volúmenes tomados del medio natural, controlar los parámetros físico-químicos del agua, controlar y gestionar el acceso a las instalaciones, detectar las intrusiones, visualización de la información in situ y a distancia, recibir un aviso inmediato si se produce una incidencia (Lacroix, 2016).

Justificación e Importancia

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio, posee la estación central de monitoreo denominada planta de agua potable sector Las Chozas, donde se encuentra el sistema SCADA que realiza el control y supervisión de las múltiples variables que se encuentran en las subestaciones distribuidas en el cantón Lago Agrio, algunas de ellas no están vinculadas al sistema SCADA y dependen netamente de un operador, por lo cual existe la necesidad de integrarlas al sistema de monitoreo y control. Debido a que los subsistemas se encuentran al manejo discrecional

del operador surgen distintas falencias del sistema, como las que se mencionan a continuación:

- Desperdicio del líquido vital, debido a que el operador no cuenta con un indicador confiable de nivel y al no conocerlo corre el riesgo de rebosar la capacidad del tanque.
- Desconocimiento del estado de las variables del proceso como el nivel y la presión en tiempo real.
- Incapacidad para identificar los fallos del proceso.
- Mal servicio a la comunidad cuando el tanque elevado de la subestación Puerto Rico se encuentra con nivel bajo del líquido.

Los puntos detallados son las razones por las que es necesario implementar un sistema automatizado e integrarlo al sistema SCADA destinado al control y supervisión del proceso con el fin dar solución a los inconvenientes expuestos, de tal manera que exista un correcto manejo de líquido y como consecuencia de esto se mejore la calidad del servicio, eliminación de tiempos muertos por error humano, acceso a información de variables e históricos, etc.

Alcance

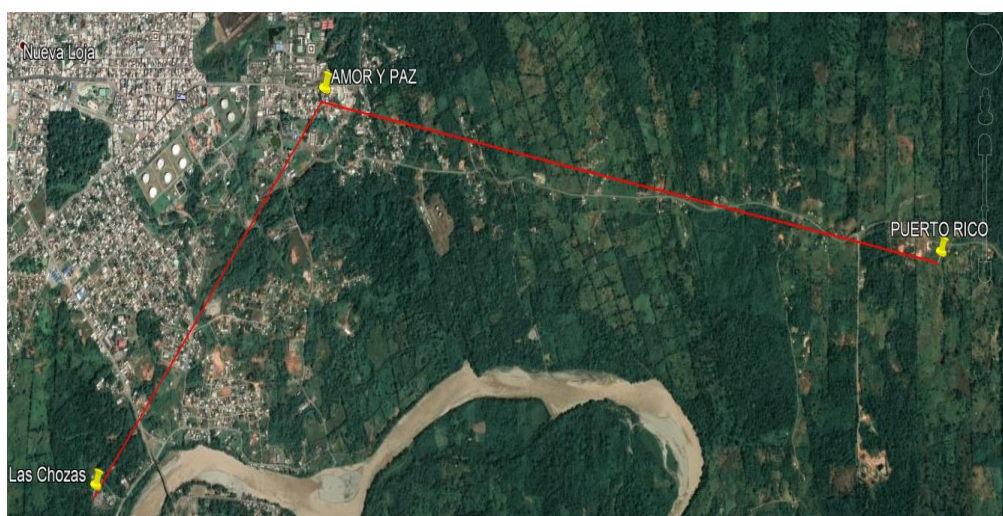
La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Lago Agrio busca realizar la integración de la subestación Amor y Paz y la subestación Puerto Rico mediante una intercomunicación al sistema SCADA que se encuentra en la planta de agua potable del sector Las Chozas, para realizar operaciones de control y supervisión

de las variables de interés en dichas subestaciones como son: nivel de tanques, presión de la bomba principal, estado de operación de los actuadores y elementos del proceso, etc. Para esto se implementará un sensor de presión en la salida de la bomba de Amor y Paz y de esta forma poder monitorear desde la interfaz si existe algún tipo de fallo inherente a la misma, y un sensor de nivel para verificar la variable en el tanque elevado en Puerto Rico.

Para realizar la comunicación de las dos subestaciones al sistema SCADA de la planta principal ubicada en el sector Las Chozas, se utilizará un sistema de telemetría basado en radio frecuencia mediante la implementación de cuatro antenas enlazadas de punto a punto. La distancia entre las dos subestaciones es de 5.59 km aproximadamente, la distancia que hay entre la subestación Amor y Paz y a planta de control en el sector Las Chozas es de 3.17 km aproximadamente, estas dimensiones se muestran en la **Figura 1**.

Figura 1

Localización geográfica de las estaciones del proyecto.



Nota: Obtenido de (Google Earth, 2020).

El control del proceso y comunicación de datos será realizado por Controladores Lógicos Programables (PLC), que serán receptores de las señales generadas por los sensores, a su vez, enviarán los datos para ser visualizados y controlados de manera remota desde un Interfaz Humano – Máquina. El sistema busca reducir las pérdidas de agua potable generadas por la falta de supervisión del nivel de líquido en el tanque de la subestación Puerto Rico como consecuencia del excesivo tiempo de activación de la bomba que se encuentra en la subestación Amor y Paz, ya que, existe dependencia entre ambas subestaciones.

Una vez establecidos los puntos expuestos con anterioridad se busca realizar la implementación de los elementos de la siguiente manera:

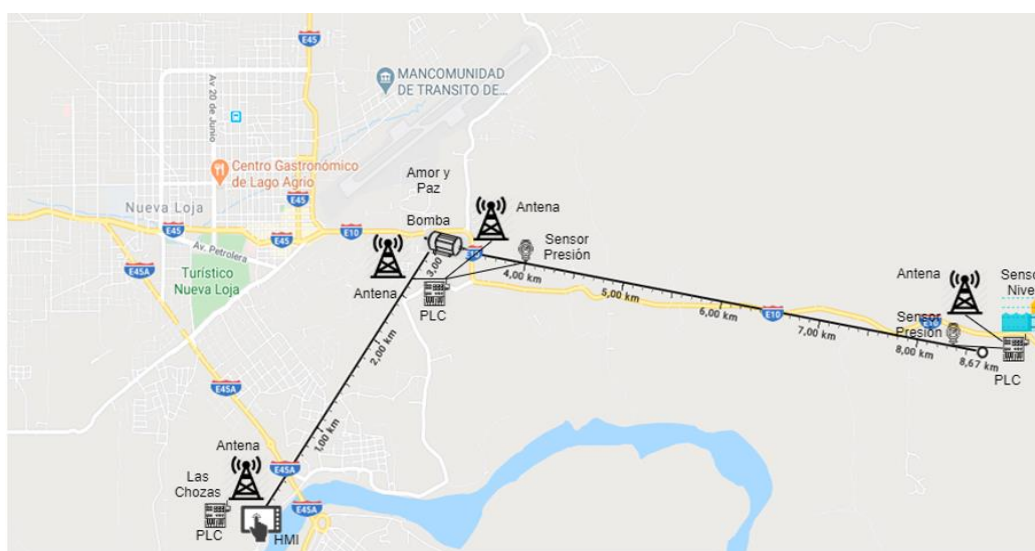
Sector Las Chozas: En esta, la estación principal, se implementará pantallas HMI donde se podrá visualizar el nivel del tanque que se encuentra en la subestación Puerto Rico y la variable de presión que existe en la tubería entre las subestaciones mencionadas, estos datos serán procesados en un controlador programable, también se instalará una antena para la comunicación con línea de vista directa con la subestación Amor y Paz.

Subestación Amor y Paz: Se implementará un PLC el cual se encargará de procesar las señales provenientes de los sensores, se realizará el montaje de dos antenas que, estarán interconectadas mediante radio enlace tanto en la subestación Puerto Rico como en la estación principal en el sector Las Chozas, también se instalará un sensor de presión en la salida de la bomba de agua.

Subestación Puerto Rico: Se implementará un controlador programable el cual se encargará de procesar los datos de las variables para así poder enviarlos mediante la antena que se comunicará de manera directa con la subestación Amor y Paz. Se colocará un sensor de nivel en el tanque de almacenamiento de agua para así poderlo visualizar en las pantallas HMI y un sensor de presión al inicio de la tubería que conecta a las subestaciones, todos estos datos se pueden visualizar en la **Figura 2**.

Figura 2

Mapa de conexiones.



Nota: Obtenido de (Google Earth, 2020).

Objetivos

Objetivo General

Optimizar la operación de bombeo de agua potable entre la subestación Amor y Paz y la subestación Puerto Rico, mediante su integración al sistema SCADA ubicado en la planta de agua potable del sector Las Chozas.

Objetivos Específicos

- Reducir las pérdidas de agua potable mediante el diseño de un sistema automático capaz de supervisar el rebombeo de la subestación Amor y Paz hacia la subestación Puerto Rico desde la planta de agua potable sector Las Chozas.
- Detectar de manera inmediata el posible fallo de la bomba de Amor y Paz, ya que la misma cumple la función principal del sistema, y es la que mayor potencia maneja.
- Mejorar la supervisión de variables de interés como son nivel y presión, mediante el diseño de pantallas HMI.
- Garantizar la comunicación de las variables de interés implementando telemetría desde las subestaciones mencionadas.
- Aumentar la confiabilidad del sistema mediante mensajes en las pantallas HMI.

Capítulo II

Fundamentación Teórica

Sistema de Agua Potable

Un sistema de agua potable está formado por un conjunto de construcciones necesarias para captar, conducir, procesar, almacenar y distribuir agua con la mejor calidad a los habitantes de una localidad, se debe distribuir la cantidad necesaria para satisfacer las necesidades de dichos habitantes. El agua potable es aquella que cumple, según la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual dictamina la cantidad necesaria de sales minerales disueltas que el agua debe contener para ser de calidad potable. Comúnmente conocemos el agua potable como aquella que es “apta para el consumo humano”, es decir, es posible beberla sin que cause algún efecto contra la salud (OMS, 2020).

El agua es el líquido más importante de la naturaleza sin el cual no se podría vivir, beber agua nos ayuda a estar sanos, a hacer la digestión, mantiene la musculatura en buen estado, trabaja enfriando o calentando el cuerpo y ayuda a transportar el oxígeno entre las células de nuestro cuerpo. El planeta Tierra está compuesto en un 70% por agua, pero casi todo es agua salada lo cual, no es bueno para el consumo del hombre ni de los animales, así como para la agricultura o las industrias, el agua dulce es apta para el consumo, pero es bastante escasa, solo el 3% del agua de la tierra es potable y la mayor parte aparece como hielo en los polos de la Tierra, más de dos mil millones de personas en todo el mundo carecen de acceso a agua potable y aproximadamente 780 mil personas mueren al año debido a esto (Unidas, 2020).

Captación

El sistema de agua potable requiere una fuente donde se pueda obtener la cantidad de agua necesaria para abastecer la población, siendo parte inicial del sistema hídrico donde se obtiene agua, dependiendo del requisito pueden ser varios lugares, donde es necesario conocer el tipo de disponibilidad de agua en la tierra, basándose en el ciclo hidrológico, del cual se consideran los tipos de agua dependiendo de su ubicación en el planeta, estos son: aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas meteóricas o atmosféricas y por último el agua de mar (Terán, 2013).

Tratamiento

Son todos los procesos físicos, mecánicos y químicos que tiene como finalidad proporcionar en el agua las características necesarias para que esta sea apta para el consumo (Terán, 2013).

Red de Distribución

Es un sistema de tuberías encargado de conducir agua potable a cada uno de los usuarios en su correspondiente domicilio, deberá brindar un servicio constante por 24 horas los 7 días de la semana con la calidad y cantidad adecuada requerida para cada sector socio-económico (comerciales, residenciales, industrias, etc.). En el sistema de distribución se incluye todos los elementos que hacen posible la distribución de agua potable ya sean estos medidores, equipos de bombeo, válvulas, tuberías, etc (Terán, 2013).

Reservorio

Es todo aquel deposito capaz de almacenar grandes cantidades de agua la cual se distribuye a la población, está diseñado como soporte para garantizar la disponibilidad continua del servicio de agua potable el mayor tiempo posible con el fin de obtener un flujo constante de agua potable hacia las diferentes zonas o sectores de la población (Itaca, 2014).

Abastecimiento de agua potable por gravedad

Un sistema de abastecimiento de agua potable por gravedad es un conjunto de estructuras que trabajan simultáneamente para abastecer de agua potable a la ciudadanía gracias al efecto de la gravedad que actúa sobre el agua desde el reservorio hacia las conexiones domiciliarias (Itaca, 2014).

Sensores

El sensor es un elemento capaz de percibir la magnitud de una variable física, frecuentemente los sensores aprovechan las propiedades de ciertos materiales que, en presencia de ciertas excitaciones, generan una señal comúnmente eléctrica. El término transductor a menudo se utiliza de forma intercambiable con el término sensor, de acuerdo a la definición de la Sociedad de Instrumentación Americana (ISA), en el estándar S5 emitido en el año de 2009, un transductor se define en forma general como un dispositivo que recibe información de una o más formas de cantidades físicas, modificando esta información y/o su forma produciendo una señal de salida. Dependiendo de su aplicación en el proceso puede ser un elemento primario, transmisor, relé, convertidor u otro dispositivo (Carballo Sierra & Diego, 2011).

Sensores de Presión

Uno de los dispositivos más comunes en la industria son los sensores de presión, los cuales transforman la magnitud física de presión o fuerza por unidad de superficie en otra magnitud comúnmente eléctrica los cuales son empleados en los equipos de automatización, poseen amplios rangos de medida que van desde las milésimas de bar hasta los miles de bar. Existen diferentes tipos de sensores de presión, que se diferencian no solo por su rango de medida si no por la presión de referencia que utilizan, de las cuales se tiene:

- **Presión Absoluta.** La presión absoluta es la presión que se mide por encima del cero absoluto.
- **Presión Positiva.** La presión positiva es la presión que se mide por encima de la presión atmosférica, considerándose está con un valor de cero, los transductores que miden esta presión se llaman sensores de presión relativa.
- **Presión Negativa o de vacío.** La presión negativa es la presión que se mide por debajo de la presión atmosférica.
- **Presión Diferencial.** La presión diferencial es la presión medida ya sea superior o inferior de cualquier presión de referencia (*Goncalves, 2016*).

Sensores de Nivel

Dentro del campo industrial la medición de nivel de un fluido es imprescindible para llevar a cabo ciertos procesos automáticos, un sensor de nivel es un dispositivo

electrónico que mide la altura de un fluido dentro de un tanque o recipiente, se dividen en dos grupos principales los cuales son:

Sensor de Nivel de punto. Los sensores de nivel de punto son muy utilizados para marcar la altura de un líquido para un nivel determinado, este tipo de sensor de forma cotidiana funciona como alarma, este indica un sobre llenado cuando se ha adquirido el nivel de referencia o a su vez en el caso contrario una alarma de nivel bajo (TM, 2020).

Sensor de Nivel Continuo. Estos sensores son más sofisticados ya que estos pueden hacer un seguimiento del nivel de un líquido de todo un sistema, miden el nivel del fluido dentro de un rango determinado produciendo una salida análoga, la cual es relacionada de manera directa con el nivel del recipiente que lo contenga (TM, 2020).

Aparatos de Maniobra

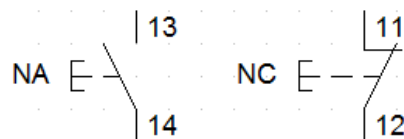
Son los dispositivos que actúan para unir, interrumpir, conmutar o seccionar uno o más circuitos eléctricos.

Pulsadores

Son aparatos de maniobra clasificados como interruptores con retroceso accionados manualmente empleados para mandos de pequeñas potencias, se los considera de esta forma debido a que envían señales para que se inicie o finalice diversas tareas (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014). Existen de dos clases siendo estas normalmente abierto (NA) y normalmente cerrado (NC) y su simbología es la que podemos observar a continuación en la **Figura 3**.

Figura 3

Simbología de pulsadores.










Nota: Obtenido de (Garcia, 2020).

Los pulsadores comúnmente los encontramos en el mercado de diferentes colores y cada uno de ellos corresponde a un determinado código para un determinado uso tal como vemos a continuación en la **Figura 4**.

Figura 4

Código de colores para pulsadores y ejemplos de aplicación.

Color	Significado	Explicación	Ejemplos de aplicación
ROJO 	Emergencia	Accionar en el caso de condiciones peligrosas o de emergencia.	Parada de emergencia. Iniciación de la función de emergencia.
AMARILLO 	Anomalía	Accionar en caso de condiciones anormales.	Intervención para suprimir condiciones anormales. Intervención para restablecer un ciclo automático interrumpido.
AZUL 	Obligatorio	Accionar en caso de condiciones que requieran una acción obligatoria.	Función de rearme.
VERDE 	Normal	Accionar para iniciar las condiciones normales.	Puesta en marcha/Puesta en tensión.
BLANCO 	Sin significado específico asignado	Para un inicio general de las funciones excepto la parada de emergencia (véase nota).	Puesta en marcha/Puesta en tensión (preferente). Parada/ Puesta fuera de tensión.
GRIS 			Puesta en marcha/Puesta en tensión. Parada/ Puesta fuera de tensión.
NEGRO 			Puesta en marcha/Puesta en tensión. Parada/ Puesta fuera de tensión (preferente).

Nota: Obtenido de (Garcia, 2020).

Luces Piloto

Tienen el propósito principal de mostrar de manera visible los estados del proceso y su simbología, esto se puede apreciar en la **Figura 5**. Al igual que los interruptores, a las luces piloto se las puede encontrar en el mercado de distintos colores los cuales corresponden a un código para un uso determinado tal como muestra en la **Figura 6**.

Figura 5

Simbología de una lámpara.



Nota: Obtenido de (García, 2020).

Figura 6

Código de colores para lámparas y ejemplos de utilización.

COLOR	FUNCIÓN	EJEMPLO DE UTILIZACION
ROJO	Condiciones anormales que precisan de una acción inmediata del operario [Ver nota 1 y 2]	Orden de parar la máquina inmediatamente (p.e., en caso de una sobrecarga). o Indicación de una parada de la máquina provocada por un aparato de protección (p.e. por sobrecarga, por exceso de recorrido, etc.).
AMARILLO (AMBAR)	Atención o advertencia [Ver nota 1]	Alguna magnitud (corriente, temperatura) se aproxima al valor límite permitido. o Máquina en ciclo automático.
VERDE	Máquina dispuesta	Máquina dispuesta para funcionar: todas las funciones auxiliares en marcha, unidades en posición de partida y presión hidráulica o tensión de salida de un grupo motor-generator en los límites especificados, etc. Fin del ciclo y máquina lista para volver a ser puesta en marcha.
BLANCO (CLARO)	Circuito en tensión Condiciones normales	Interruptor principal en posición CERRADO [Ver nota 2]. Elección de la velocidad o del sentido de giro. Los órganos auxiliares no relacionados con el ciclo de trabajo están funcionando.
AZUL	Cualquier significado no previsto por los colores anteriores	Selector en posición "Ajuste". Una unidad adelantada de su posición de partida. Avance lento de un carro o una unidad.

Nota: Obtenido de (García, 2020).

Contactador

Es un dispositivo designado a cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos, normalmente funciona con un mando a distancia en lugar de ser operado de forma manual, está diseñado para maniobras frecuentes bajo condiciones de carga o no puesto que está formado de dos partes principales, la parte de señal o control y la parte de potencia. El contactador está formado por una serie de elementos como son bobina, circuito magnético, contactos ya sean normalmente abiertos o normalmente cerrados y contactos principales los cuales están en contacto directo con la carga que van activar o desactivar (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

Relé Electromagnético de Mando

Al ser un dispositivo auxiliar de control su estructura es muy similar a la de un contactador con la única diferencia de no poseer contactos principales, teniendo básicamente un electroimán, un juego de contactos normalmente abiertos, normalmente cerrados y elementos mecánicos que permiten la movilidad (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

Variador de frecuencia

Un variador de velocidad también es conocido como un convertidor de frecuencia o driver, ya que este elemento utiliza electrónica de potencia con la finalidad de realizar el arranque, frenado y/o variación de la característica de movimiento (velocidad) de un motor. El principio de funcionamiento de la mayoría de estos variadores para motores de corriente alterna, se basa en la modulación por ancho de

pulso (PWM), para modificar la frecuencia de entrada al motor (Rodríguez Fernández, Cerdá Filiu, & Sánchez Horneros, 2014).

Controladores Lógicos Programables

Desde el inicio de los sistemas de automatización, la humanidad ha buscado generar sistemas con características de confiabilidad, gran eficiencia, flexibilidad, y han ido mejorando día a día. Con el paso del tiempo se creó un dispositivo base el cual ha sido la cúspide de toda automatización, el mismo actualmente se le llama Controlador Lógico Programable (PLC), este fue utilizado inicialmente en 1970, y con cada demanda y exigencia de la industria este ha ido mejorando y actualizando sus dispositivos de acople tales como microprocesadores, funciones especiales y comunicación con otros dispositivos.

En la actualidad estos dispositivos se actualizan con la mayor tecnología para diseño de sistemas de control, tienen microprocesadores de muy alto rendimiento para ejercer diferentes tipos de trabajos con aplicaciones industriales donde existen varios peligros debido a: medio ambiente, alta repetibilidad, altas temperaturas, ruido de ambiente o electrónico, suministros de potencia eléctrica no confiables, vibraciones mecánicas, etc.

Estructura Básica de un PLC

Para la estructura de un PLC se utiliza un conjunto de placas de circuitos impresos con dispositivos electrónicos esenciales e indispensables, y aunque su estructura es típica de los sistemas programables, contienen un mayor rendimiento y

accionamiento con dispositivos más robustos, esta estructura es similar a la de una computadora la cual está constituida por:

- Fuente de alimentación
- Unidad de procesamiento central (CPU)
- Módulos de interfases de entradas y salidas (E/S)
- Módulos de memorias
- Unidad de programación (Villarreal, 2007).

Lógica programable

Se encuentra constituida por un conjunto de componentes lógicos como las tan conocidas compuertas: AND, OR, LATCH, FLIPFLOPS, etc. Estas mismas se utilizan en conjunto y configuran para ejecutar una función lógica específica que el usuario desee y que el sistema soporte.

Aplicaciones

Actualmente el uso de PLC's es común, ya que, sus características de diseño completan un campo muy extenso y gracias al avance de la tecnología moderna es tan rápido evoluciona constantemente y así poder satisfacer todas las necesidades que la industria exige. Su mayor uso se encuentra en aquellos sistemas que necesitan un mayor control de procesos de maniobra, señalización, precisión y secuencia con elementos de potencia, con lo cual, el campo de aplicación del PLC abarca procesos de fabricación industrial de toda índole, transformaciones industriales, control de

instalaciones, etc. Aunque el PLC fue diseñado inicialmente como un dispositivo de reemplazo de control industrial, hoy se emplea como dispositivo principal de control de la mayoría de sistemas industriales con innumerables y diversos tipos de aplicación que cumplen las necesidades del usuario.

EL PLC es un dispositivo que actualmente se diseña de forma modular y gracias a esto es posible que el mismo se expanda y así cumpla con las necesidades de cualquier sistema de control tomando en cuenta las exigencias de la industria (Vallejo, 2006).

Sistemas de Control

Utilizar sistemas de control en la actualidad es un recurso muy común en la industria gracias a que el mismo nos ayuda de gran manera a controlar procesos liderados en la ingeniería, este sistema es el que ayuda en la regulación y gestión de la forma de comportamiento de otro sistema con la finalidad de evitar fallos y pérdidas del mismo.

Para el diseño y funcionalidad de un sistema de control de procesos electrónico se utilizan diversos dispositivos que cumplen una función en específico, dichos dispositivos no son solo electrónicos, pueden también ser de tipo eléctrico, neumático, mecánico, hidráulico, entre otros. Cualquiera de estos depende del tipo de sistema que se desea diseñar.

Para diseñar un sistema de control no es suficiente con tener este tipo de dispositivos, el mismo debe tener una lógica de control basada en los siguientes requisitos: una variable a la que se busca controlar, un actuador, un punto de referencia.

Como ejemplo se puede decir que, la variable por controlar puede ser un conjunto de elementos a depositarse en contenedores, el punto de referencia o set-point podría ser el que se encarga de determinar un límite, el actuador, debe ser el que ejecuta la acción de llenado, que podría ser una bomba mecánica o eléctrica.

Control en lazo abierto

En el sistema de lazo abierto, no se tiene conocimiento o retroalimentación alguna de la variable a controlar, por lo tanto, la salida no depende de ninguna forma de la entrada del sistema, gracias a esto, este tipo de sistemas se utilizan por lo general con variables predecibles y su margen de error puede ser amplio.

Como ejemplo se tiene un semáforo de control de tráfico común, el cual, se activa y desactiva según el tiempo programado en cada luz sin tomar en cuenta el volumen del tráfico.

Control en lazo cerrado

A diferencia del caso expuesto en el anterior apartado, en este sistema de control se toma en cuenta la información de la variable de control, en la actualidad incluso existe retroalimentación en cada estado de avance de la variable y su transformación en el sistema. Para leer el cambio de la variable el sistema utiliza sensores ubicados de forma estratégica y gracias a esto puede ser completamente autónomo.

Un ejemplo común se toma en cuenta un dispositivo de aire acondicionado, el cual trata la temperatura ambiental como variable de control. Los sensores se encargan

de determinar constantemente la localidad en la que se usa este dispositivo debe calentarse o enfriarse, para esto se regulan los actuadores y se mantiene un punto de referencia estable.

Realizar un proceso controlado electrónicamente en teoría parece fácil, con tan solo 3 elementos base, sin embargo, no es así, la lógica de programación para funciones y procesos del diario vivir contiene su grado de dificultad por cada dispositivo empleado (Gandhi, Autycom, 2020).

Control de tipo ON/OFF

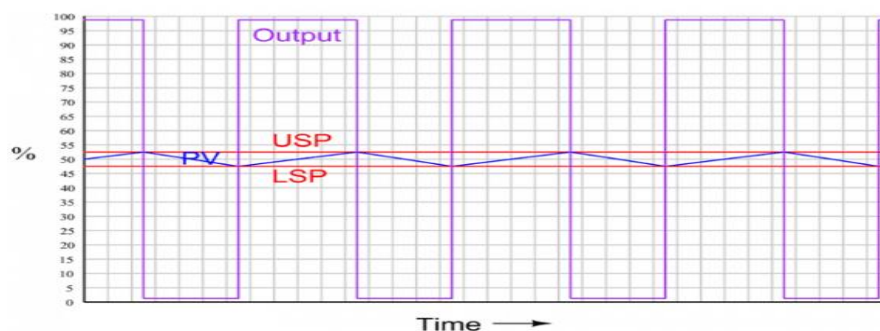
Este tipo de sistemas también se los conoce como todo o nada, el mismo consiste en un algoritmo simple que constantemente se informa si la variable de control se encuentra por encima o por debajo del punto de referencia del proceso, es decir, dicha variable de control puede pasar de totalmente activada a totalmente desactivada, sin tener que pasar por términos medios. Un ejemplo común para accionar termostatos en el control de la temperatura, de esta forma se tiene un control impreciso pero viable de la variable, el controlador activa una válvula de vapor (actuador) cuando la temperatura desciende del punto de referencia, y lo desactiva cuando la temperatura es mayor al mismo (Villajulca, 2019).

A continuación, en la **Figura 7** se puede apreciar un esquema de respuesta del sistema propuesto como ejemplo, donde el rango de oscilación del de la variable del proceso (temperatura, PV) oscilaría entre los valores de los puntos de referencia (Upper signal point USP, Lower signal point LSP) dependiendo de la salida del controlador,

cuando este realiza el accionamiento completo del actuador ya sea para abrir o cerrar, la variable del proceso no se estabilizará en ningún instante (Villajulca, 2019).

Figura 7

Grafica de control de sistema ON/OFF.



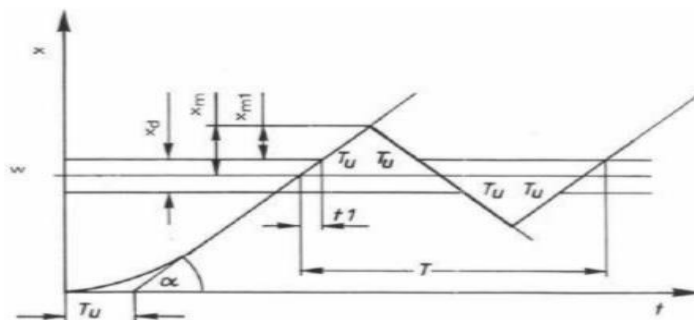
Nota: Obtenido de (Villajulca, 2019).

Control On/Off con Histéresis

La histéresis se define como diferencia entre los tiempos de encendido y apagado del controlador, el uso de un controlador de acción de dos posiciones da como resultado una oscilación de la variable controlada, x , como se puede observar en la **Figura 8**. Los controladores mecánicos de dos posiciones suelen tener cierta histéresis, a diferencia de los controladores electrónicos, normalmente funcionan sin histéresis.

Figura 8

Planta integral con controlador con histéresis.



Nota: Obtenido de (Villajulca, 2019).

Redes Industriales

Una red industrial es un conjunto de estaciones o nodos que deben comunicarse entre sí para compartir información con cada dispositivo de la red, estos dispositivos son equipos de control, los cuales pueden ser:

- PC's Industriales.
- Controladores.
- Sistemas de Control Distribuido.
- Transductores y Actuadores.
- Módulos Inteligentes.
- Interfaces de Operador

En este tipo de sistemas toda la comunicación empieza desde las redes de campo donde el objetivo principal es que todos los instrumentos como sensores y actuadores envíen la información hacia los controladores y así reunirlos en un solo dispositivo de control, a esto se le llama FieldBus, el cual es un protocolo de comunicación que permite el procesamiento y envío de la información de instrumentos y procesos. Siendo así un medio que tiene como objetivo lograr que todos los dispositivos involucrados en un proceso industrial puedan comunicarse dentro de un sistema o plataforma, estos tipos de comunicaciones han ido evolucionando a lo largo del tiempo, gracias a su increíble demanda han pasado de transmitir datos en varias horas hasta hacerlo en tiempo real (Cauca, 2005).

Las comunicaciones industriales son de particular importancia en la era automatizada y para ello existen varias soluciones en el mercado. Un sistema de redes industriales representa reducción y simplificación en cableado, flexibilidad y manufactura para la optimización de procesos. (Gandhi, Autycom, 2020).

Clasificación de las redes industriales

De acuerdo a la **Figura 9**, las redes industriales se pueden dividir en 3 niveles básicos como son:

- Nivel de Entradas y Salidas.
- Nivel de Control.
- Nivel de Gestión.

Nivel de Entradas y Salidas. Este nivel va conectado a los equipos de campo tales como: sensores, interfaces de operador, electroválvulas, controladores, etc.

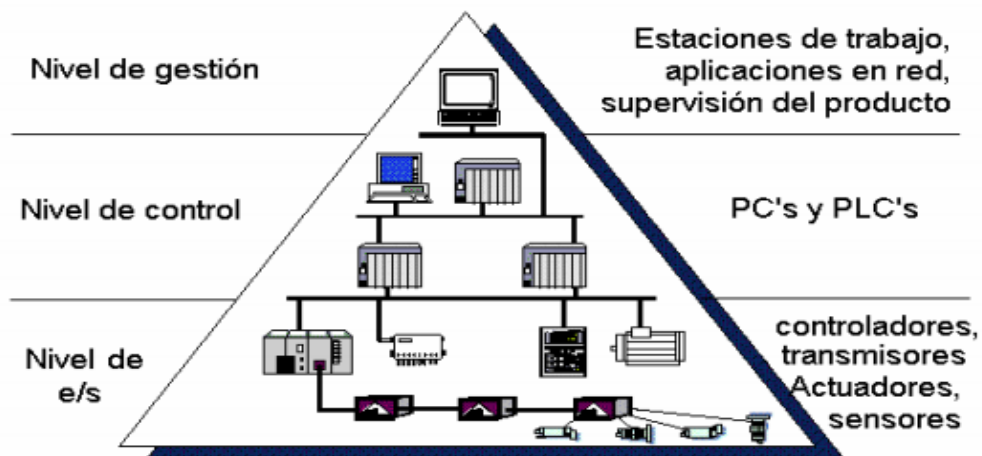
Nivel de Control. Utiliza algunos protocolos que interconectan los elementos que realizan el control, ya sean: PLC's, Sistemas de control distribuidos básicos (DCS's) o PC's industriales.

Nivel de Gestión. Este nivel también se conoce como el nivel de la información donde se gestiona toda la información proveniente de los controladores conectados de forma directa y así armar estaciones de trabajo común es para realizar operaciones de control y supervisión en todo el sistema. Usualmente se utiliza protocolos de

comunicación como Ethernet a diferencia de los anteriores niveles donde usualmente se utilizan sistemas análogos de envío y recepción de información (Cauca, 2005).

Figura 9

Clasificación de las Redes Industriales.



Nota: Obtenido de (Cauca, 2005).

Protocolos de Comunicación de las Redes Industriales

Con el paso del tiempo, los diferentes tipos de red han ido creciendo gracias a la gran demanda que existe de los mismo, esto ha llevado a que las empresas generen sus propios protocolos de comunicación para la interconexión de sus dispositivos propios, a pesar de esto, algunos protocolos se han estandarizado en la industria porque son de libre acceso, entre los protocolos más utilizados se pueden observar:

Profinet. Este protocolo fue estandarizado gracias a que sirve de manera libre para la comunicación de procesos, establecer redes en todos los niveles de automatización, su gran flexibilidad y capacidad de enviar y recibir datos con el campo, usualmente su comunicación se hace a través de ethernet.

Ethernet Industrial. Siendo uno de los más utilizados en la industria, este protocolo ofrece comunicaciones altamente eficientes, pero no tan rápidas, la velocidad de transferencia de datos usualmente es de 10 Mbps hasta 100 Mbps. Además, este mismo se utiliza en entornos industriales gracias a su seguridad.

Profibus. Esencialmente, este protocolo se encarga de la comunicación análoga o digital de los diferentes dispositivos de campo (fieldbus), siendo así los sensores y dispositivos de control (Gandhi, Autycom, 2020).

Modbus. Este protocolo es uno de los más utilizados en la industria gracias a su gran flexibilidad y eficiencia, fue creado en 1979, su función básica es la de comunicar dispositivos de automatización. Aunque en su inicio se utilizaba como un protocolo de la capa de aplicación, el mismo se ha expandido y evolucionado para incluir comunicaciones con protocolos seriales, TCP/IP, y datagramas de usuario (UDP). (Instruments, 2019).

Topologías de Red

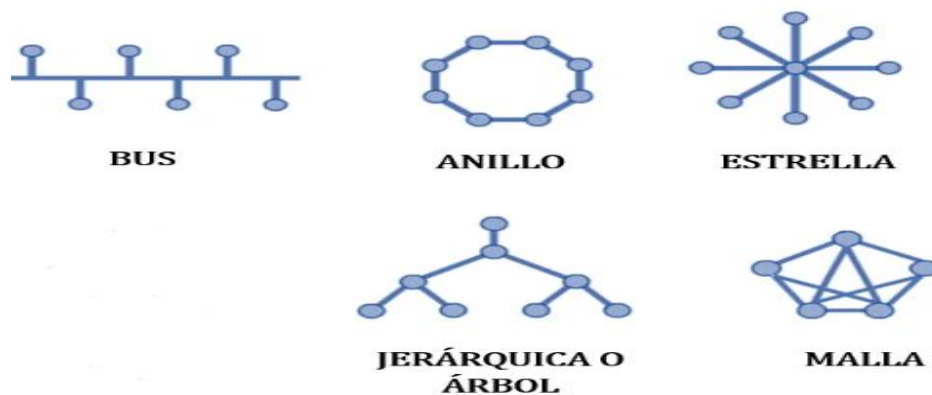
Una topología de red no es más que un arreglo lógico de los elementos (enlaces, nodos, etc.) que conforman dicha red, de esta manera se pueden definir algunos modelos de topologías básicas que se han venido utilizando a través de los años desde el surgimiento de estas tecnologías, en la **Figura 10** se puede observar una representación gráfica de cada una de ellas.

- **Bus:** Todos los nodos están conectados por un único canal de comunicación comúnmente llamado bus.

- **Anillo:** Todos los elementos o nodos se encuentran unidos en cadena, uno seguido de otro cerrándose de manera circular.
- **Estrella:** Los diferentes elementos o nodos se juntan por un único nodo o elemento central.
- **Jerárquica o árbol:** Los diferentes nodos o elementos se encuentran distribuidos en forma de árbol, esta puede verse como la combinación de varias topologías en estrella.
- **Malla:** Cada uno de los nodos se encuentra conectado a todos los nodos, lo cual hace posible la comunicación de un nodo a otro por distintos caminos.

Figura 10

Topologías básicas de red.



Nota: Obtenido de (Instruments, 2019).

Sistemas de Telemetría

Se entiende como telemetría a la medición de variables o magnitudes físicas para su recopilación y posterior envío hacia un sistema remoto de procesamiento. Este proceso casi siempre tiene un fin de automatización y control y se lo hace de forma

inalámbrica, aunque también existen otros medios de comunicación como: teléfono, redes de computadoras, enlace de fibra óptica, etc.

Gracias al avance tecnológico en la generación actual, es cada vez más necesario visualizar y entender muchas variables físicas desde paneles de control remotos, lo que volvió a la telemetría muy popular. Aunque el término “telemetría” no descarta la comunicación de dichas variables de forma cableada, en grandes distancias esto puede causar muchos problemas de costo y desafío técnico, esto ha hecho que las mayores soluciones para la comunicación de estos datos se vean relacionadas con sistemas de radio frecuencia, redes celulares e internet (Ruesca, 2016).

Funcionamiento

Para el funcionamiento de un sistema de telemetría normalmente se utiliza un transductor, este mismo convierte una señal física en una analógica de forma eléctrica, esta señal se interpreta por un controlador y la misma puede ser enviada en ondas de radio, otro dispositivo debe receptar la señal en las ondas y así procesarla para poder ser visualizada en un registro de datos.

Tipos de Telemetría

Vía Radio Módem. Normalmente este tipo de telemetría garantiza una cobertura de una decena de kilómetros, dependiendo de las características propias de las radios, de que haya línea de vista entre las mismas, y de la ganancia de las antenas empleadas.

Vía Redes GPRS/GSM. Para este sistema, el transductor remoto se puede conectar vía GSM, gracias a esto se puede permitir una comunicación inalámbrica a través de las redes de telefonía. Si se requiere una gran velocidad de comunicación, es necesario que dichas redes tengan una buena cobertura.

Vía Internet. Siendo el internet, la mayor fuente de comunicación e información actual, es muy importante recalcar que en este tiempo también existen tecnologías de control y monitoreo utilizando este medio, para esto se utilizan Reuters industriales.

Esta conexión es permitida siempre y cuando el dispositivo remoto o controlador, tenga un router con acceso a internet ya sea de forma cableada, Wi-Fi o 3G (Iriarte, 2015).

Interfaz Humano Máquina (HMI)

HMI son las siglas de “human-machine interface” lo cual refiere a un panel en el cual un usuario puede comunicarse con un sistema o dispositivo para su posterior control. se puede referir a cualquier pantalla que se use para interactuar con un equipo, pero se utiliza normalmente para los entornos industriales.

En un entorno industrial un HMI puede tener distintas formas, puede ser una pantalla independiente, un panel acoplado a otro equipo o una tablet. Da igual su aspecto; su uso principal es permitir a los usuarios visualizar los datos operativos y controlar las máquinas (Zenon, 2015).

Funciones del HMI

- Permite realizar ajustes y cambios en los procesos.

- Obtiene y muestra los datos de un sistema en tiempo real, mostrándolos de diferentes maneras: cifras, textos o gráficos según se establezca, para facilitar su lectura e interpretación.
- Cuentan con la capacidad para almacenar y mostrar datos, por lo que es posible optimizar y corregir proceso en función de datos concretos y reales.
- Gráfico de Tendencia Histórica.
- Alarmas y avisos. Según preestablezca el usuario, el HMI puede reportar información relativa a incidentes que puedan producirse en la planta de manera excepcional. Si se produce un inconveniente, el usuario podría fácilmente buscar el estado de la máquina y así resolver tanto problemas sencillos, como graves.
- Conexión a múltiples dispositivos y máquinas, con distintos protocolos de comunicaciones, para flexibilizar la solución que el cliente necesita (Electric I. , 2015).

Norma ANSI/ISA 101.01: Interfaces Humano – Máquina para Sistema de Automatización y Procesos

Desde la introducción de los Sistemas de Control Digital basados en microprocesadores, los procesos industriales han sido controlados por computadoras con pantallas diseñadas para ayudar al operador en la gestión y control de la planta y sus condiciones anormales. La Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el vínculo y la herramienta principal entre los operadores y los sistemas automatizados, ya que ofrece información y posibilita el control sobre el proceso físico. Una HMI bien diseñada con pantallas fáciles de entender y opciones claras generará menos errores, aumentará la

productividad, reducirá el estrés de los operadores y evitará pérdidas comerciales significativas. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos, las HMI han contribuido, debido a sus malos diseños, a incrementar las incidencias y accidentes, provocando resultados inesperados (Sánchez, 2019).

El estándar se encarga de la denominación, implementación y mantenimiento de interfaces hombre-máquina (HMI) para la automatización de procesos, proporciona orientación y eficiencia en el diseño, construcción, operación y mantenimiento HMI conduce a un proceso más seguro, eficiente y eficaz tanto en condiciones normales como anormales. Con esta idea generalizada se puede realizar su implementación en cada proceso, por las garantías que ofrece dentro de un proceso, el estándar no establece de manera estricta los pasos a seguir, pero si presenta 3 etapas necesarias para guiar el proceso y obtener buenos resultados, presentadas a continuación:

Etapas 1: El punto de partida es definir la HMI con la que se va a trabajar, tomando en cuenta todas sus características ya sean de funcionalidad como de conectividad, esto permite conocer el tipo de dispositivo con el que se trabajará dentro de un proyecto de HMI.

Etapas 2: Es necesario que el diseñador deba conocer el proceso, donde se realizará un intercambio de información con la interfaz, ya sea para acciones de control o de monitoreo. Con la ayuda del esquema P&ID, se puede tener el conocimiento a detalle de los elementos que conforman el proceso con lo que facilita el flujo de información e identificación de alarmas o defectos dependiendo la variación de la información dentro del proceso.

Etapa 3: El estándar establece la búsqueda de información en documentos desarrollados y estudiados por colaboradores de ISA 101, los cuales entablan un ciclo a seguir, en la **Figura 11** se puede observar el ciclo de vida de una HMI, este ciclo se resume en 4 fases: diseño estándar del sistema, diseño del interfaz, implementación y operación (Edward, A. Prado, & F. Ramirez, 2019).

Fase 1: Estándares del Sistema. Esta fase presenta algunos lineamientos que se deben considerar para un diseño HMI en base a la norma ISA 101, estos son:

- Filosofía: Aquí se considera los aspectos conceptuales para el desarrollo de un proyecto para la integración de un interfaz dentro de un proceso; determinar los usuarios a quienes está dirigido, requerimientos de la interfaz, buenas prácticas de trabajo y modos de operación o de manipulación.

Figura 11

Modelo gráfico de la norma ISA 101, ciclo de vida de la HMI.



Nota: Obtenido de (Edward, A. Prado, & F. Ramirez, 2019).

- **Guía de Estilo:** La norma invita a desarrollar una plantilla de la interfaz tomando en cuenta las consideraciones de la filosofía de la HMI y un esquemático en base a planos P&ID para el entendimiento de la información más relevante que el operador necesita para la operación y supervisión del proceso, de esta manera se orienta el diseño de un interfaz al comportamiento psicológico de los operadores.
- **Kit de Herramientas:** Presenta el software para el desarrollo de la interfaz, implica conocer el entorno de programación y desarrollo como también el proceso completo, alarmas y modos de operación que se debe relacionar.

Fase 2: Diseño. Se analiza toda la información recopilada para el diseño de la HMI como los requerimientos de construcción, modos de operación, con esta base se puede iniciar con el desarrollo en el software, se debe tomar en cuenta el entorno donde estará la interfaz puesto que puede hacer deficiente su funcionalidad por múltiples factores como iluminación, temperatura, sonidos, etc. Con lo antes expuesto ya es posible realizar un borrador de la interfaz.

Fase 3: Implementación. En esta fase se integra la interfaz en el software y el hardware con la finalidad de evaluar la información mostrada en pantalla al usuario y precisar si cumple con los requerimientos preestablecidos, es importante realizar todas las pruebas necesarias ya sea en simulación como en resultados físicos dentro del proceso en tiempo real, con el fin de documentar el producto final que posterior será de utilidad para realizar las capacitaciones necesarias al personal que tendrá relación con dicha interfaz.

Fase 4: Operación. Está última fase incluye todas las actividades ya sea puesta en servicio, mantenimiento y hasta el desmantelamiento, el operador entra en contacto

con la interfaz y dar observaciones del funcionamiento, con el plan de modificaciones para dar una mejora dentro de la compañía, así el equipo técnico genere una copia de respaldo de las configuraciones previas antes de ser modificada (Edward, A. Prado, & F. Ramirez, 2019).

Sistemas de Control en Tratamiento de Agua Potable.

En la actualidad existe un problema en el suministro de agua potable hacia las diferentes localidades de una región y en la disposición de la misma. Con el paso del tiempo el reto de la ingeniería hidráulica ha ido estandarizando la resolución de dichos problemas con normas que han sido dispuestas por organizaciones que se dedican a la operación de agua, estas normas cada vez son más estrictas. Gracias a esto y a la problemática que existe cuando se ocasiona una fuga del líquido vital, además de su costo de extracción y distribución, se han tomado medidas para controlar los sistemas de agua disponibles.

Teniendo en cuenta que el agua es un elemento vital para todos los países, es viable tener un buen manejo, control, gestión y distribución de la misma, esto traerá como beneficio una buena salud y bienestar social, así como la interacción entre la sociedad y el medio ambiente. (Sandoval, 2013).

¿Por qué implementar un sistema de control?

- Supervisión en tiempo real de los niveles del líquido vital para su manejo más efectivo, de esto puede depender los costos de implementación y control.
- Se puede aumentar el tiempo de uso y la vida útil de todos los elementos

controlados por el sistema ya que los mismos son monitoreados constantemente.

- Se ahorra en gran volumen el consumo de energía gracias a la optimización de la operación de los equipos y su tiempo de uso, programando sistemas de bombeo automáticos según las variables a controlar.
- Se reduce sustancialmente el tiempo de respuesta de situaciones emergentes.

Actualmente:

- De los pozos profundos se extrae el 65% de agua urbana.
- Gracias a fugas y sobreproducción, existe un 30% de pérdidas de agua en los sistemas de distribución.
- El costo de energía eléctrica de los sistemas de distribución promedia un 35% de su consumo total.

Variables a monitorear:

- Presión y flujo en la salida de pozos y cisternas.
- Activación o desactivación de los equipos y sus estados.
- Supervisión de variables electrónicas como voltaje, corriente, etc.
- Niveles de tanque de producción o de cisternas.
- Apertura y cierre de válvulas automático (CIATEQ, 2012).

Tableros Eléctricos

Son elementos que concentran dispositivos de protección, maniobra o comando, gracias a estos se puede proteger y operar una instalación o parte de ella, deben proveer un alto nivel de seguridad y confiabilidad en la protección de personas o instalaciones según las normas de seguridad establecidas (NEC-SB-IE) (NEC, 2018).

Ubicación

Los tableros deben ser implementados en lugares seguros y a los que se pueda acceder fácilmente, los mismos no pueden ser utilizados para colocar ningún tipo de artículo de vestuario o depósito, además se debe tener en cuenta que:

- Debe ubicarse en ambientes solo accesibles para el personal de operación y administración.
- Si es necesario la instalación de tableros en lugares peligrosos, éstos deberán ser construidos utilizando métodos y equipos acorde a las normas específicas sobre la materia, es decir, cumpliendo con las normas específicas del medio para asegurar las instalaciones y el personal.

Equipos.

Los equipos o instrumentos que se colocan dentro de un tablero deben cumplir con las normas NTE e INEN correspondientes, deben cumplir todos los requisitos establecidos por las empresas de suministro de energía eléctrica. Los cargadores de baterías no deben instalarse en los tableros principales ni asociarse al área de potencia.

Los tableros deben permitir:

- Se debe cubrir óptimamente los espacios y dimensiones en la parte interior del panel de forma distribuida.
- Se deben poder modificar fácilmente.
- Los componentes y equipos dentro del mismo deben ser estandarizados.

Clasificación

Tableros principales. Se llaman así, los tableros que distribuyen la energía de la red eléctrica proveniente de las fuentes principales de suministro, en estos tableros se colocan los dispositivos de protección y maniobra que protegen los alimentadores y que permiten operar sobre toda la instalación.

Tableros de distribución. Se llama así a los tableros que permiten proteger y operar directamente sobre circuitos donde se encuentra dividida una instalación o parte de ella; pueden ser alimentados desde un tablero principal.

Tableros de control o comando. Estos tableros contienen dispositivos de protección y maniobra o únicamente de maniobra los cuales permiten manejar grupos de dispositivos de accionamiento o de forma individual, esto se realiza en forma programada o manual. En estos dispositivos se incluyen los elementos de arranque de motores o de centro de control del sistema.

Tablero de medición. Estos tableros contienen elementos de medición de parámetros como: corriente, voltaje, potencia. Además, los mismos pueden tener alarmas y otra información dependiendo de la aplicación.

Tableros de transferencia. Son tableros en los cuales se ubican los dispositivos de maniobra para ejecutar una transferencia del sistema de energía principal a sistemas auxiliares o de emergencia, de forma ya sea manual o automática (Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador, 2013).

Capítulo III

Ingeniería Básica

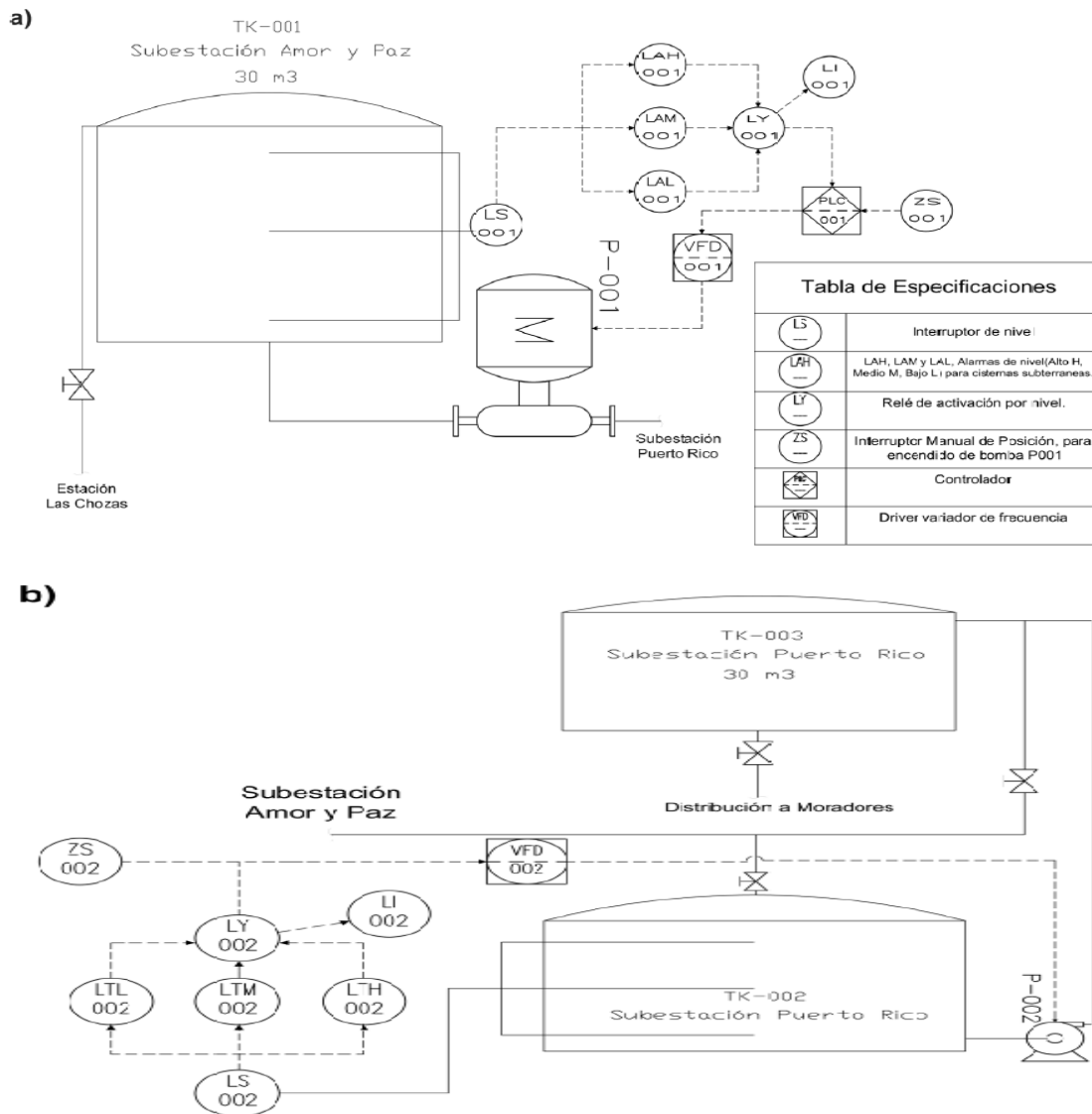
Descripción de la Planta

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EMAPALA EP posee una planta de tratamiento de agua potable denominada “Las Chozas” donde se realiza todo el proceso necesario para hacer que el agua cruda captada del río Aguarico sea apta para el consumo de la población del cantón Lago Agrio. El sistema de distribución de agua potable está diseñado de tal manera que se ubican subestaciones de reserva en determinados puntos estratégicos de la ciudad para abastecer a la población, algunas de estas subestaciones son monitoreadas de forma remota mediante un sistema SCADA ubicado en la estación de “Las Chozas”, a su vez, otras subestaciones se encuentran a dependencia directa de un operador.

Las subestaciones Amor y Paz – Puerto Rico son los sistemas de distribución de la ciudad que no forman parte del sistema SCADA antes mencionado, para estas subestaciones está destinado el proyecto de titulación, dichas subestaciones operan de manera manual y al momento no mantienen ningún intercambio de información como son: nivel, presión, estado de equipos, etc. con el sistema principal de monitoreo. A continuación, en la **Figura 12** se presenta la arquitectura básica de cada subsistema, previo al trabajo de titulación.

Figura 12

Arquitectura básica del sistema.



En la **Figura 12** el esquema **a**, representa la instrumentación encontrada en la subestación Amor y Paz, en donde, el sistema cuenta con los elementos necesarios para el encendido de la bomba P001 como es: un PLC, capaz de activar el bombeo de forma temporizada para ciertos horarios del día, un selector ZS-001, para activar de forma directa la bomba P001, un variador de frecuencia (VFD-001), que controla la velocidad del motor de la bomba P001, y un modo de protección utilizando un sensor de

nivel (LS-001) fijado de tal manera que desactive la bomba cuando la cisterna no cuente con la cantidad suficiente de agua para el funcionamiento óptimo. En el esquema **b**, se puede observar de igual manera, el sistema para el encendido de la bomba P002 presente en el lugar, como también el variador de frecuencia (VFD-002) que la controla la velocidad y un sistema de protección por medio de un sensor de nivel LS-002.

Requerimientos y Parámetros Preestablecidos del Sistema

Algunas subestaciones no son monitoreadas de forma remota y dependen netamente de un operador, EMAPALA EP necesita acoplar dichas subestaciones al sistema SCADA de la estación “Las Chozas”, con el objetivo de centralizar la información en tiempo real de las variables que intervienen en el proceso de distribución de agua potable como son: presión, nivel, estado de operación, etc.

El diseño del sistema automático se realiza de tal forma que, todos los equipos trabajen de manera conjunta para que la información de interés, pueda ser visualizada en un punto de supervisión, con la finalidad de mejorar el proceso de distribución de agua potable. Mediante la ingeniería básica se define un listado de materiales y equipos con sus debidas especificaciones técnicas requeridas para cada subsistema y puedan ser integrados al sistema SCADA de modo que cumplan con los requerimientos solicitados y garantice su funcionamiento.

El sistema automático a realizar debe cumplir con los requerimientos otorgados por el personal técnico de EMAPALA EP, con la finalidad de proponer un sistema que se ajuste a estos parámetros solicitados, los cuales son:

- Conocer en tiempo real la magnitud de las variables que intervienen en el

proceso de distribución: nivel, presión, estado de equipos, para la instalación de los equipos de campo referentes a dichas variables se utilizara la norma NEC-SB-IE para instalaciones electromecánicas.

Nivel. Con referencia al nivel del tanque elevado en la subestación Puerto Rico, y a su vez, los niveles de agua de forma discreta de las cisternas subterráneas en las subestaciones Amor y Paz y Puerto Rico.

Presión. Con referencia la magnitud de presión que sale de la bomba principal en la subestación Amor y Paz, para de esta forma supervisar si la misma se encuentra en fallo o funcionamiento irregular.

Estado de equipos. De esta forma saber si los equipos de maniobra e instrumentos de medida se encuentran activados o desactivados, y a su vez, si cumplen de forma correcta sus funciones.

- Implementar tres modos de operación: manual, temporizado y automático.

Modo Manual. Arranca la bomba de Amor y Paz.

Modo Temporizado. Arranca la bomba de Amor y Paz si hay agua en cisterna y bajo el horario preestablecido:

- De 6:00 a 9:00.
- De 10:30 a 13:30
- De 16:00 a 19:00

Modo Automático: Enciende la bomba de Amor y Paz si el nivel del agua del tanque elevado es inferior al 10% de su totalidad o el límite inferior puesto desde el HMI y la apaga en el 95% del mismo o el límite superior puesto desde el HMI, así se mantiene el tanque siempre lleno. Esto solo funciona si existe agua en la cisterna subterránea de Amor y Paz.

- Generar estados de alerta para el nivel bajo de las cisternas involucradas. Dichos estados de alerta se podrán visualizar de forma local en los tableros de control o de forma remota en el HMI, para el diseño de los tableros se utiliza la norma NEC-SB-IE para instalación de protecciones electromecánicas y para el diseño del HMI se utiliza la norma ISA 101.
- Emplear luces indicadoras para estado de equipos basándose en la norma NEC-SB-IE.
- Realizar un sistema de seguridad en base a la presión que ejerce la bomba sobre la tubería, para protección del sistema de bombeo.
- Supervisión de las variables de cada estación desde una pantalla local ubicada en el tablero de control de la subestación Amor y Paz.
- Supervisión de las variables desde el sistema SCADA de la estación Las Chozas usando la norma ISA 101.
- Conocer el estado de conexión entre las subestaciones.

Análisis y Revisión del Sistema Previo al Trabajo de Titulación.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Lago Agrio EMAPALA EP, al ser auspiciante directo del proyecto de titulación, cuenta con algunos elementos que serán utilizados dentro del diseño e implementación de los subsistemas antes mencionados.

Subestación Amor y Paz

En la subestación “Amor y Paz”, previo al trabajo de titulación, existía la instrumentación necesaria para indicar el estado de funcionamiento de los equipos mediante luces indicadoras y permitirles a los operadores bombear agua potable hacia la subestación “Puerto Rico”, dicha instrumentación se puede visualizar en la **Tabla 1** y en la **Figura 13**.

Tabla 1

Lista de elementos en la subestación Amor y Paz.

Unidades	Elementos
1	Fuente de 24VDC.
1	LOGO! 24CE 8DI-4DO TR DC / V8
1	Variador de frecuencia ABB ACS5550.
1	Bomba de agua GRUNDFOS 11kW.
1	Sensor de nivel Siemens Sirius 3ug4501-1aw30
4	Led's indicadores
3	Multimetro digital KM96-5M
1	Selector de 3 posiciones

Con esta instrumentación, el sistema estaba diseñado para operar de dos modos, el primero, un accionamiento directo para encender la bomba cada vez que el operador deseara, y el segundo de manera temporizada en un cierto horario de forma daría. En ambos casos, la operación se lleva a cabo sin conocimiento alguno del nivel de agua que se encuentra en el tanque elevado de la subestación “Puerto Rico”.

Figura 13

Elementos previos al trabajo de titulación de la subestación Amor y Paz.



Subestación Puerto Rico

En la subestación “Puerto Rico”, previo al trabajo de titulación, existía una instrumentación fuera de servicio, solía ser utilizada para bombear agua desde una cisterna subterránea hacía el tanque elevado, luces indicadoras, que mostraban el estado de operación de una bomba sumergible, a su vez, se indicaba si había agua o

no en la cisterna, en la **Tabla 2** y en la **Figura 14**, se puede apreciar estos elementos disponibles en la subestación.

Tabla 2

Lista de elementos existentes en la subestación Puerto Rico.

Unidades	Elementos
1	Fuente de 24VDC.
1	Siemens LOGO! 230 RCE / V8
1	Variador de frecuencia ABB ACS150-01E-09A8-2
1	Bomba sumergible Mophorn de 2.2 kW.
1	Sensor de nivel Siemens Sirius 3ug4501-1aw30
4	Led's indicadores
1	Multímetro digital KM96-5M
1	Selector de 3 posiciones

Figura 14

Elementos previos al trabajo de titulación de la subestación Puerto Rico.



Viabilidad y Disponibilidad Técnica

Viabilidad Técnica

Como se ha podido constatar mediante el listado de materiales presentes en la empresa auspiciante, además, tomando en consideración las variables a monitorear (nivel y presión, etc.), el sistema de instrumentación es viable debido a que hoy en día existen una extensa gama de fabricantes, con todos los requisitos necesarios y cumpliendo las normativas adecuadas, en el ámbito de la instrumentación y que además en la industria son utilizadas desde hace décadas.

Los equipos o dispositivos de instrumentación, sin importar el fabricante, deben cumplir estándares en relación a la respuesta que presentan los mismo, esta información debe ser interpretada por cualquier tipo de controlador ya que, al momento de realizar la integración de equipos de distintos fabricantes en un mismo sistema de instrumentación, estos deberán compartir información constante entre sí.

Los equipos de instrumentación deben poseer normas de protección certificadas, lo cual es viable, ya que todos los fabricantes deben cumplir este tipo de requisitos porque sus elementos podrían ser utilizados en diversos ambientes industriales, los mismo deben poseer el grado de protección correspondiente al lugar donde serán implementados.

Los equipos de medición de datos deben cumplir requisitos esenciales de confiabilidad y validez, lo cual es viable, ya que cada fabricante debe cumplir con este tipo de certificaciones para que sus dispositivos puedan ser utilizados en el campo

industrial, donde se requiere un alto grado de confiabilidad en los equipos de monitoreo al manejar sistemas altamente complejos.

Como medida de protección para que no existan pérdidas de datos en la transmisión del transductor es importante trabajar con conductores eléctricos que aseguren la transferencia de información, posean sus debidas protecciones, esto hace que se vuelva viable. Concluyendo, la viabilidad técnica se debe enfocar en los siguientes ítems.

- Compatibilidad entre los equipos en su integración.
- Normas y certificaciones de seguridad.
- Confiabilidad y validez de los instrumentos a utilizar.

Disponibilidad Técnica

En esta sección se establece que, todos los instrumentos necesarios para llevar a cabo el sistema de instrumentación se encuentran disponibles en el mercado ya sea nacional o internacional, existen varios fabricantes que cumplen con los ítems previamente tratados en la viabilidad técnica, por lo tanto, la disponibilidad es considerablemente alta. Es de gran ayuda que la empresa auspiciante cuenta con una serie de equipos certificados, los cuales cumplen con los requisitos necesarios previamente mencionados y que además se realizaron pruebas técnicas en los mismos para verificar su correcto funcionamiento, como es el caso de los selectores, luces indicadoras, controlador, etc.

Localización de los Elementos del Sistema

Dentro de la **Figura 15**, en el esquema **a**, se puede apreciar todos los componentes para subestación Amor y Paz, de igual manera en el esquema **b**, perteneciente a la subestación Puerto Rico.

En la subestación Amor y Paz existe una cisterna (TK001) subterránea de $30m^3$ donde hay un sensor de nivel (LS-001) de posiciones (alto – medio - bajo), con dicha cisterna se realiza el proceso de rebombeo de agua mediante un variador de frecuencia (VDF-001) encargado de manipular una bomba (P001) de 11kW de potencia, en la línea de transmisión de agua hacia la subestación Puerto Rico se agregará un sensor de presión (PT-001) para el monitoreo de esta variable. El estado de la bomba, el nivel de agua en la cisterna (alto - bajo) y el nivel de presión de salida de la bomba son las variables de interés dentro del proceso y serán transmitidas hacia el cuarto de monitoreo local y remoto hacia Las Chozas.

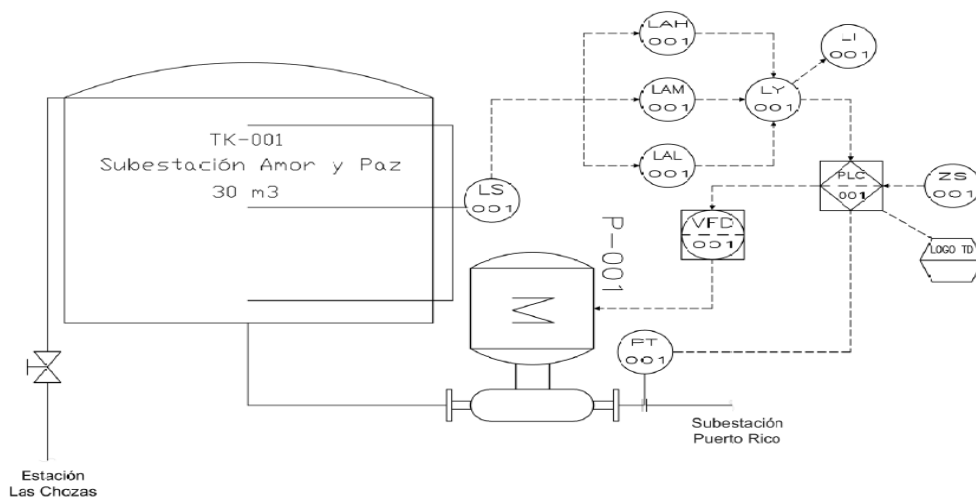
La línea de conducción de agua potable proveniente de la subestación Amor y Paz, tiene como destino final la subestación Puerto Rico donde existe una bifurcación de la misma línea de conducción hacia una cisterna (TK002) subterránea de $27m^3$, en esta se encuentra colocado un sensor de nivel (LS-002) de posiciones (alto – medio - bajo). Desde esta bifurcación existe también una conexión hacia un tanque elevado (TK003) con capacidad de $30m^3$ donde se instalará dentro del mismo un sensor de nivel (LT-003) capaz de monitorear de manera real dicha variable. En la cisterna subterránea se encuentra una bomba (P002) sumergible de 2.2kW, la cual es controlada mediante un variador de frecuencia (VDF-002), dicha bomba administra agua hacia el tanque elevado, siempre y cuando la cisterna subterránea tenga un nivel alto de

agua. Las variables de nivel y el estado de operación de la bomba son las variables de interés dentro del proceso y serán transmitidas hacia el cuarto de monitoreo local y remoto hacia Amor y Paz. Las variables de interés serán receptadas y procesadas en ambas subestaciones por un PLC. La supervisión remota del proceso se llevará a cabo mediante un HMI ubicado en el cuarto de monitorización de la estación Las Chozas.

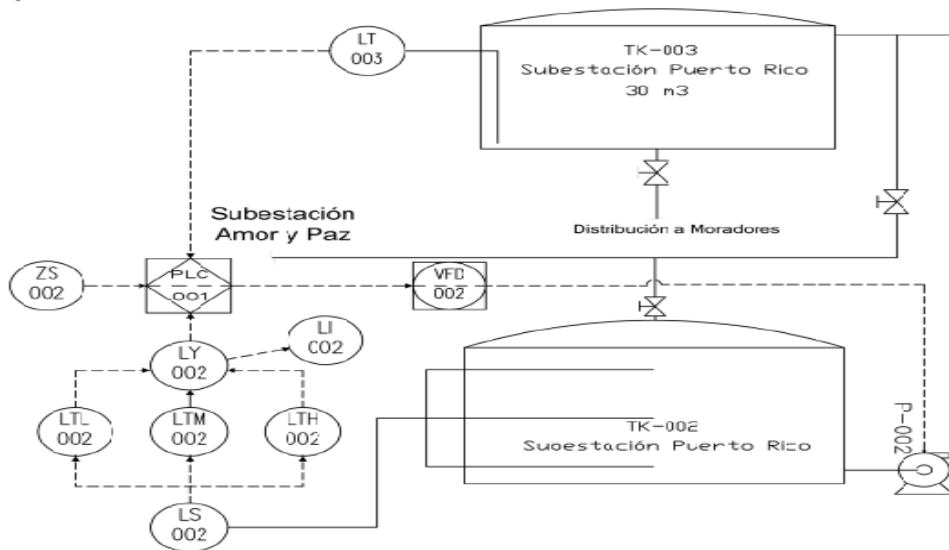
Figura 15

Esquema de ubicación de los elementos de instrumentación.

a) Subestación Amor y Paz



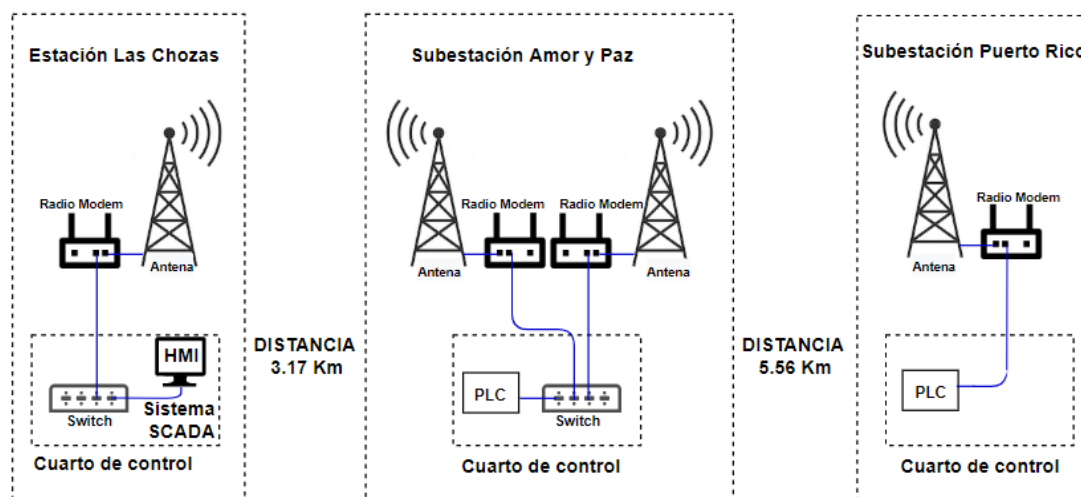
b) Subestación Puerto Rico



Para el intercambio de información entre las subestaciones como también para la supervisión desde el sistema SCADA, es necesario un sistema de comunicación inalámbrico debido a las distancias que separan las subestaciones, las cuales son de 5.56 Km entre Amor y Paz – Puerto Rico y 3.17 Km entre Las Chozas – Amor y Paz, por lo tanto, es necesario utilizar un sistema de telemetría con la finalidad de cubrir dichas distancias y deberán ser ubicadas en los lugares más altos de cada una de las subestaciones involucradas, tal como se puede observar en la **Figura 16**.

Figura 16

Esquema de ubicación del sistema de telemetría.



Variables y Señales del Proceso

Las variables del proceso están divididas en dos secciones de acuerdo a las subestaciones involucradas en el sistema ya que, ambas subestaciones trabajan distantes y llevan a cabo procesos distintos.

Las variables de entrada/salida de la subestación Amor y Paz son señales tanto analógicas (0 – 10 V/4 – 20mA) como discretas (on/off) siendo estas, la señal de

presión como única entrada análoga y el resto de variables de entrada/salida como discretas, ya sean estas: selección del modo de operación, nivel de cisterna, bomba en estado de operación, etc. Para las variables de entrada/salida de la subestación Puerto Rico de igual manera existen señales analógicas como discretas, siendo la señal de nivel en el tanque elevado la única entrada análoga y el resto de variables como señales digitales según las especificaciones antes mencionadas en el apartado **3.2**.

Todas las señales involucradas en el proceso serán transmitidas por medio de comunicación inalámbrica, la red será basada en á tipología de árbol formado por dos controladores remotos y una pantalla HMI. A continuación, en la **Tabla 3** y **Tabla 4** se muestra las variables y señales del proceso en cada una de las subestaciones con el objetivo de seleccionar los dispositivos que deberán cumplir las características mínimas para la obtención de información de las variables involucradas.

Tabla 3

Variables y señales del proceso en la subestación Amor Y Paz.

Variable	Tipo (E/S)	Señal
Local/ Remoto I1	Entrada	Discreta
Modo de Operación Manual I2	Entrada	Discreta
Modo de Operación Automático I3	Entrada	Discreta
Nivel de Cisterna I4	Entrada	Discreta
Variador Operando Bomba I5	Entrada	Discreta
Sensor de Presión AI1	Entrada	Analógica
Encender Bomba Q1	Salida	Discreta

Tabla 4

Variables y señales del proceso en la subestación Puerto Rico.

Variable	Tipo (E/S)	Señal
Nivel de Cisterna I1	Entrada	Discreta
Encender Bomba I2	Entrada	Discreta
Encender Bomba Amor Y Paz I3	Entrada	Discreta
Fallo de Bomba I4	Entrada	Discreta
Variador Operando Bomba I5	Entrada	Discreta
Nivel Tanque Elevado A11	Entrada	Analógica
Encender Variador Q1	Salida	Discreta

Especificaciones de elementos

Los elementos necesarios para la ejecución de este proyecto, serán seleccionados de acuerdo a los requerimientos mínimos para que los mismos sean seguros y confiables en la implementación del sistema, dichos elementos serán mencionados según el sistema en el que se los requiera, indicando lo necesario para su correcta utilización, por lo que se ha dividido en:

- Sistema de instrumentación.
- Sistema de control.
- Sistema comunicación.
- Sistema de supervisión.

Sistema de Comunicación

Para la comunicación con las 2 subestaciones pertinentes, es necesario utilizar cuatro antenas las cuales transmiten la información inalámbricamente desde una estación a la otra ya que estas subestaciones se encuentran distantes entre sí, como ya se había mencionado con anterioridad. Es necesario que la información viaje a una frecuencia alta debido a la distancia que hay entre las estaciones y los obstáculos que hay en la línea de vista de las mismas. Para el dimensionamiento de estos equipos se consideró:

- Distancia de transmisión mínima de 5.56 km de distancia.
- Frecuencia mínima de 5Ghz por la vegetación intermedia entre las subestaciones.
- Velocidad de transmisión de 100 Mbps.
- Antena de tipo Dipolo, unidireccional para no tener perdida de datos por potencia.
- Protocolo de transmisión inalámbrica.
- Alimentación de 110/220 VAC.

Sistema de Control

El sistema requiere dos controladores capaces de recibir las señales de entrada y salida, para esto se debe considerar los elementos previos existentes en cada una de las subestaciones, el controlador recibirá señales de:

- Señal analógica de un transductor de presión.
- Señal analógica de un transductor de nivel.
- Señal discreta del sensor de nivel existente en las subestaciones.
- Señal discreta del estado de operación de las bombas de agua.
- Señal discreta para modo Automático.
- Señal discreta para modo Manual.
- Señal discreta de tipo de operación (Local/Remoto).
- Señal discreta del posible fallo de la bomba.

De acuerdo a las señales establecidas, el controlador deberá tener las siguientes características:

- Tener mínimo 6 entradas discretas.
- Una entrada analógica para monitorear las variables en tiempo real, las cuales son: Nivel del tanque en el caso de la Subestación Puerto Rico y Presión de la bomba, en el caso de la Subestación Amor y Paz.
- Además, deberá contar con un puerto de conexión Ethernet (RJ45) para la comunicación entre controladores y posibles integraciones futuras, deberá contar con un protocolo de comunicación ethernet industrial.
- Módulo de alimentación de entrada de 110/220 VAC o 24 VDC.
- Una salida discreta de tipo Relé para el control de las bombas.

- Funciones de temporización interna.

Otros elementos necesarios para complementar el sistema de control son:

- Selector de 2 posiciones de 220VAC 10A.
- 2 selectores de 3 posiciones de 220VAC 10A.
- Relés de potencia para uso industrial con bobinas de 220VAC 6A.
- Relés industriales con bobinas de 24VDC 1A.
- Luces indicadoras para las diferentes variables a controlar de 220VAC 100mA.
- Equipos de protección para fuente bifásica de 220VAC 11kW para los sistemas de potencia y control.
- Equipo de protección térmica para el sistema de potencia de 220AC 11kW.
- Regulador de tensión de 220VAC para el sistema de control.

Sistema de Instrumentación

Para los equipos de instrumentación y adquisición de datos se debe tomar en cuenta los aspectos mínimos en los rangos establecidos para el correcto funcionamiento de cada instrumento según la variable que se vaya a monitorear.

Para la variable de nivel del agua en el tanque elevado se necesita un sensor analógico que cumpla con los siguientes requisitos:

- Protección IP68, ya que este podría estar inmerso en el tanque.

- Salida analógica de voltaje de 0 a 10 VDC o corriente de 4 a 20 mA.
- Medida del nivel de agua para un tanque de 3m de alto, capacidad de 30m³.
- Fuente de alimentación de 24 VDC.

Para la variable de presión de la bomba se debe utilizar un sensor de presión de salida analógica que cumpla con los siguientes requisitos:

- Protección IP65.
- Salida analógica de voltaje de 0 a 10 VDC o corriente de 4 a 20 mA
- Capacidad de lectura en un rango de 0 - 140 PSI que es la presión nominal de la bomba a 60 Hz de frecuencia.
- Fuente de alimentación de 24 VDC

Sensor de nivel de agua de tipo On/Off para saber si las cisternas se encuentran llenas o vacías. Para esto se necesita un sensor que cumpla con los siguientes requisitos:

- Protección IP67.
- Salida discreta de tipo ON/OFF.
- Fuente de alimentación de 24 VDC o 220 VAC.

Sistema de Supervisión

Para el sistema de supervisión de datos se utilizará los controladores previamente mencionados, ya que en la pantalla de cada uno de estos se puede programar los datos a mostrar.

Se instalará en el tablero de control de la subestación Amor y Paz una pantalla por la cual, mediante el uso de pulsadores, se podrá visualizar las variables de control del sistema en general. Esta pantalla debe cumplir con:

- Alimentación de 24 VDC o 120 – 240 VAC.
- Puerto para conexión RJ45.
- Grado de protección mínimo IP20.
- Pantalla de 5 pulgadas para una resolución exigida y supervisión de las variables.

Por otro lado, también se encuentra el principal medio de visualización y supervisión de datos el cual estará implementado en el sistema SCADA, en una pantalla ubicada en la estación principal “Las Chozas”, que cumplirá con los siguientes requisitos:

- Pantalla mayor a 15 pulgadas para una resolución exigida y control de las variables.
- Puerto para conexión RJ45 y protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.
- Alimentación de 120-220 VAC.

Diseño del Sistema de Comunicación

Para el sistema de comunicación entre las subestaciones Puerto Rico - Amor y Paz se utilizará una conexión maestro - esclavo, donde los datos se transmiten de forma directa desde una antena ubicada en “Puerto Rico” hasta otra antena ubicada en “Amor y Paz”, receptando de esta forma los datos transmitidos. Estas antenas deben tener línea de vista directa para asegurar la transmisión de datos, la simulación de escenario se podrá observar en el apartado **3.8.1**.

Este mismo procedimiento se realiza entre las subestaciones Amor y Paz – Las Chozas, teniendo así una red de tipo árbol, ya que la estación encargada de controlar los procesos se encuentra en “Las Chozas” siendo esta el primer nivel de la jerarquización de la red, dicha estación transmite las ordenes hacia el segundo nivel de la jerarquización que se encuentra en la subestación “Amor y Paz”, finalmente este segundo nivel retransmite la información hacia la subestación “Puerto Rico” que es el tercer nivel de la jerarquización de esta red.

Otros parámetros de la configuración inalámbrica se muestran en la **Tabla 5**, para la configuración entre las estaciones “Amor y paz” y “Las Chozas” se ha tomado en cuenta los mismos parámetros exceptuando el nombre de la red y las direcciones IP de cada dispositivo, los cambios se muestran en la **Tabla 6**.

Hay que tomar en cuenta que los dispositivos de control ven a esta conexión como un cable o puente para transferir datos entre sí, y gracias a esto para la transferencia de datos, los dispositivos de control simplemente apuntan a las direcciones IP de los mismos, sin tomar en cuenta las conexiones que hay

entrelazadas. Los controladores se comunican con un protocolo Modbus TCP/IP el cual transmite los datos apuntando desde una dirección IP a otra y sus direcciones de memoria correspondientes.

Tabla 5

Configuración de antenas Amor y Paz - Puerto Rico.

Parámetro	Descripción	Maestro	Esclavo
Tipo de dispositivo	Es el modo de conexión inalámbrica del dispositivo.	Punto de acceso	Estación
Nombre de red	Es el nombre de conexión entre las antenas.	Emapala	Emapala
Ancho de banda	Es el ancho de banda que puede tener la señal entre los dispositivos.	20MHz	20MHz
Frecuencia	La frecuencia nominal en la que van a trabajar las antenas.	5.7GHz	5.7GHz
Seguridad	Seguridad para la transmisión de datos en la red	WPA2-AES	WPA2-AES
Dirección IP	Es el número de dirección de red local del dispositivo	192.168.12.98	192.168.12.99
Mascara	Define la máscara de conexión de la red.	255.255.255.0	255.255.255.0
Puerta de enlace	La dirección IP del host de la conexión.	192.168.12.1	192.168.12.1

Tabla 6

Configuración de las antenas Amor y Paz - Las Chozas.

Parámetro	Descripción	Maestro	Esclavo
Nombre de la red	Es el nombre de conexión entre las antenas.	AMP	AMP
Dirección IP	Es el número de dirección de red local del dispositivo	192.168.12.94	192.168.12.93

La comunicación de los sensores es netamente análoga, estas señales se envían hacia unas entradas específicas del controlador y, este las recibe y las procesa convirtiéndolas en un número digital en bits, a esto se lo conoce como conversión Análogo/Digital, y el controlador lo ejecuta automáticamente y guarda estos datos en registros de memoria.

La comunicación del controlador con el variador, el cual se encarga de arrancar la bomba, es de tipo discreta, donde el controlador envía una señal binaria hacia una entrada del variador, el cual es programado para arrancar la bomba cuando la señal este activada.

Simulaciones

- **Enlace de antenas y línea de vista.**

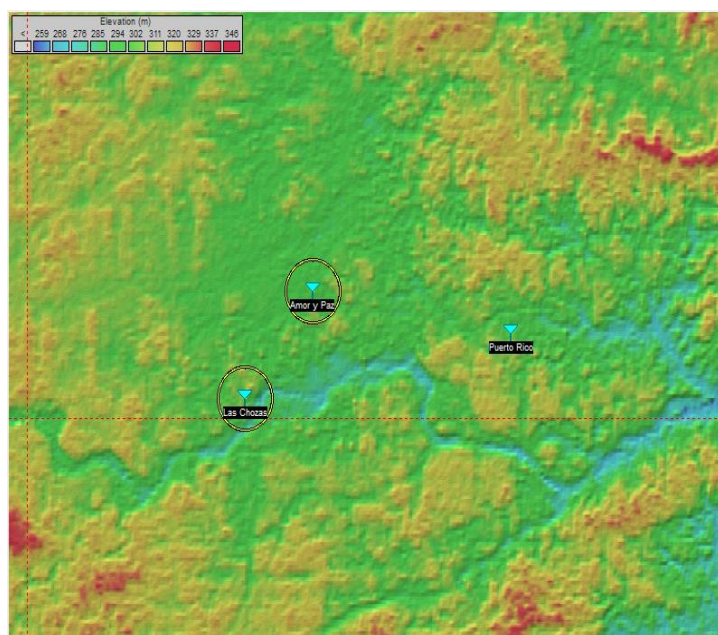
Para confirmar que hay línea de vista entre las antenas y que el enlace entre las mismas sea adecuado se realizó una simulación con el programa Radio Mobile, el cual utiliza un mapa de Google Earth para saber el relieve de la tierra según las coordenadas

configuradas, este se muestra como un mapa de calor donde los relieves van cambiando su color según su altura, esto se puede visualizar en la **Figura 17**.

Las flechas celestes en la **Figura 17** representan los puntos de las coordenadas geográficas donde se encuentran las torres de las diferentes subestaciones y sus elevaciones. El programa permite configurar la frecuencia de transmisión, la potencia de envío, la altura de la antena, el tipo de protocolo, la ganancia de transmisión y despliega la eficiencia de la transmisión, la línea de vista, las elevaciones intermedias y la distancia entre las antenas, esto se puede visualizar en la **Figura 18**.

Figura 17

Mapa de relieve de la zona de la ciudad Nueva Loja.



Nota: Obtenido de (Google Earth, 2020).

Mediante la herramienta de Google Earth, se puede visualizar de forma panorámica y con detalles el lugar donde se realizará el radio enlace de comunicación entre las subestaciones involucradas, tal como se muestra en la **Figura 19**.

Figura 18

Simulación del radio enlace entre las subestaciones.

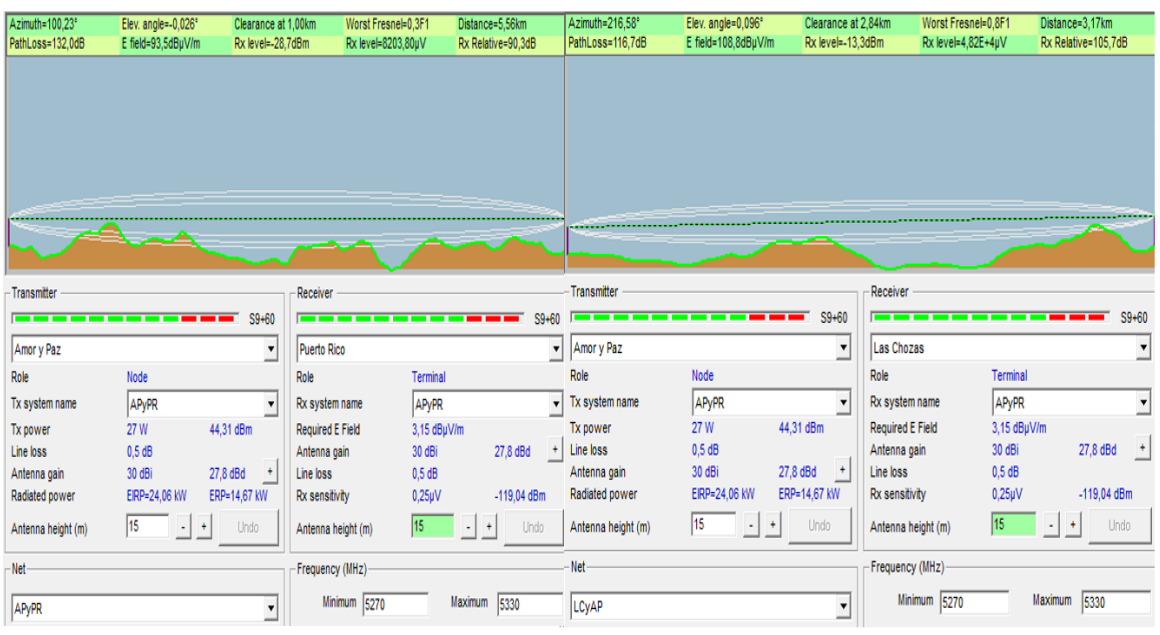


Figura 19

Vista de enlaces de antenas entre las subestaciones.



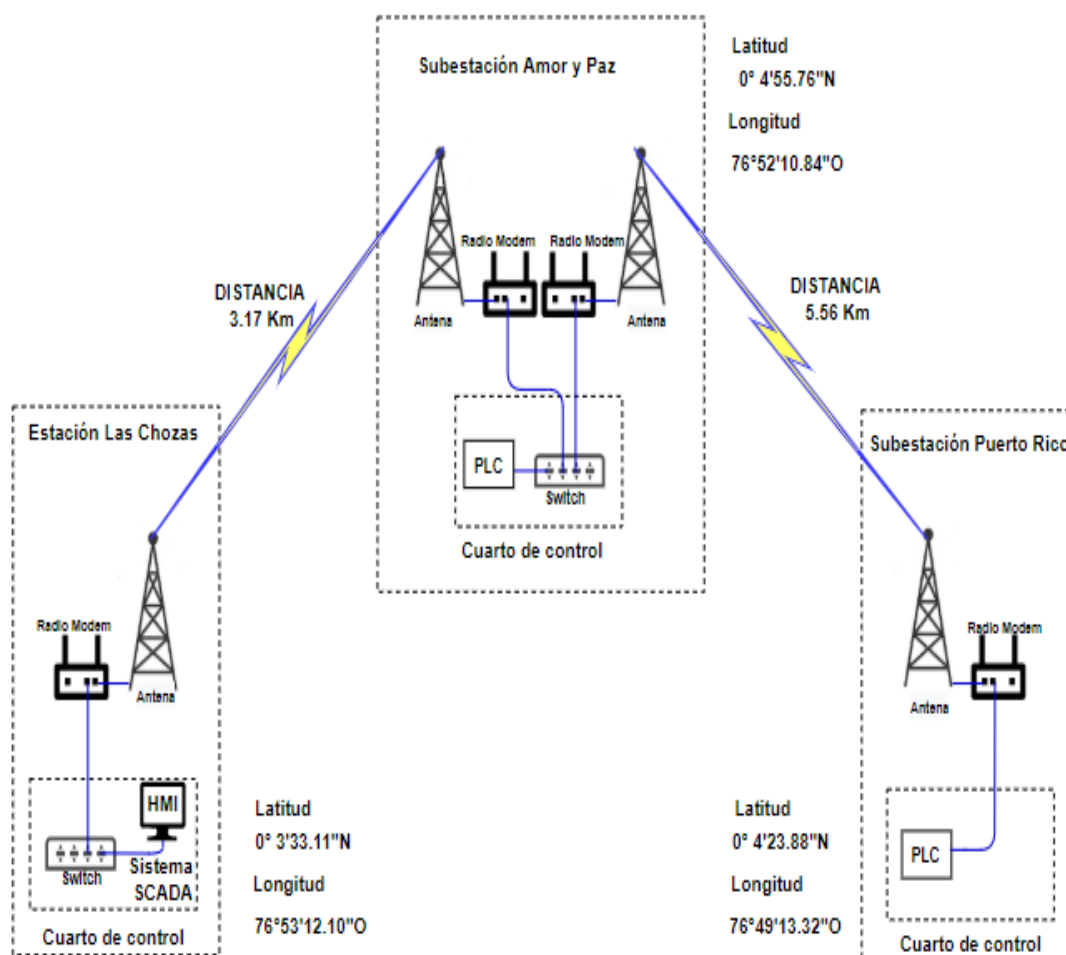
Nota: Obtenido de (Google Earth, 2020).

Esquema de Arquitectura y Topología de Red

En el trabajo de distribución de agua potable en el sector Puerto Rico, se ven involucradas 2 subestaciones que estarán comunicadas para llevar de manera eficiente dicho trabajo, mediante una red de tipo árbol para garantizar los parámetros establecidos en el apartado 3.8, en la **Figura 20** se puede observar la arquitectura de red a implementar con los puntos geo-referenciados de la ubicación de cada una de las subestaciones involucradas en el proceso.

Figura 20

Arquitectura para el sistema de comunicación.



Diseño del Sistema de Control

Para realizar las funciones de control se utilizará un controlador lógico programable, el cual, recibirá las señales de los diversos sensores y actuará según lo programado en el mismo, esta programación se hace a través de un software especializado para el modelo del controlador utilizando una computadora. Para la lógica de control de las diferentes subestaciones se ha diseñado un diagrama de flujo para cada una de ellas, estos diagramas se pueden observar en la **Figura 21** y **Figura 22**.

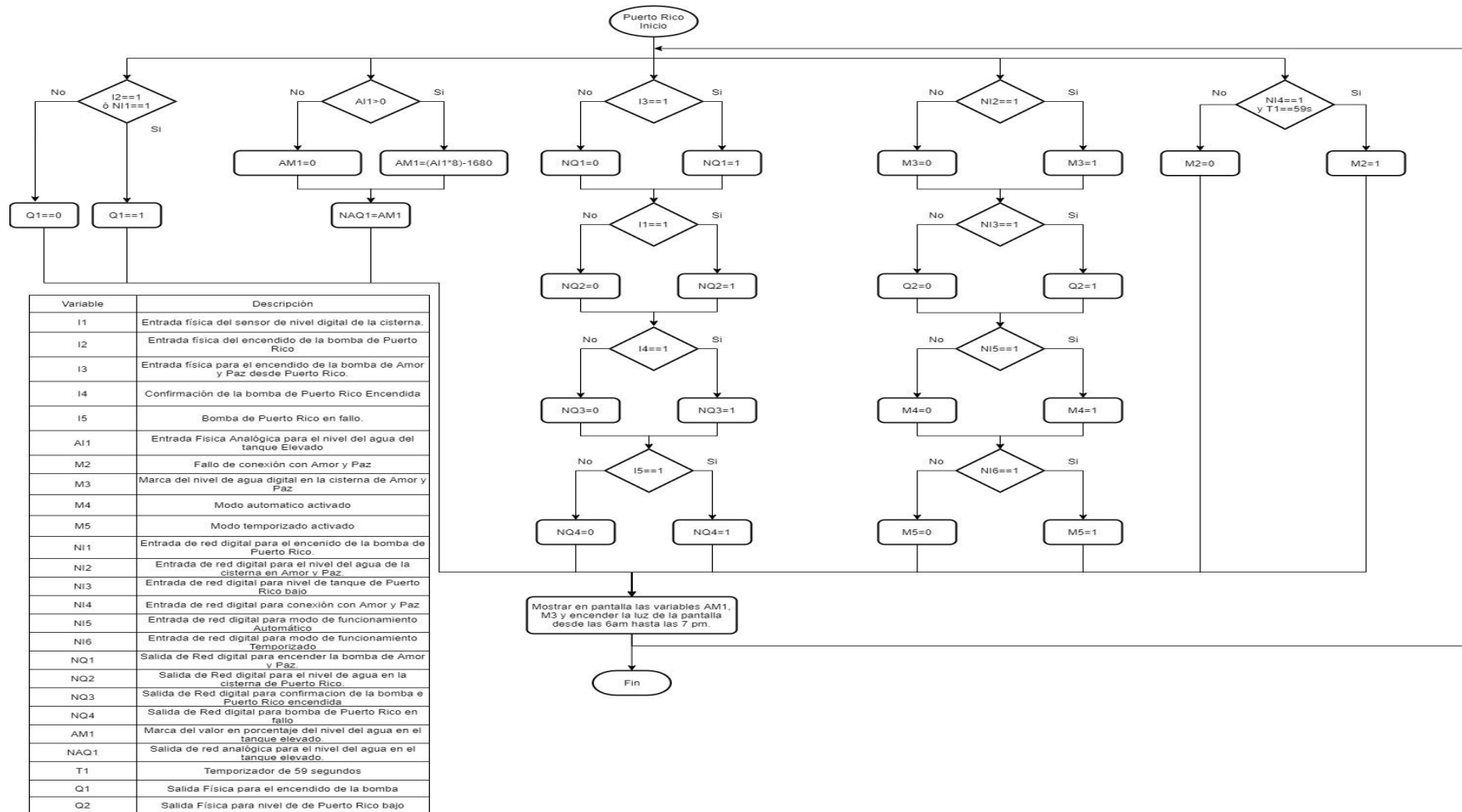
En el diagrama de flujo mostrado en la **Figura 21** se puede apreciar que, al iniciar el programa, espera que se cumpla alguna de las condiciones iniciales para ejecutar su procedimiento, se enumera las condiciones de izquierda a derecha para explicar su correcto funcionamiento:

1. Si la entrada física o la entrada de red para el arranque de la bomba son activadas, una vez es pulsada esta señal la bomba arranca, si estas condiciones no son cumplidas, el programa retorna a su punto inicial.
2. Si la entrada analógica física del nivel del agua en el tanque elevado es mayor a 0, entonces, este valor se implementa a la ecuación $AM1 = \left(x * \frac{240}{34}\right) - 1411$ donde AM1 es el valor de la marca donde se guarda el resultado de la ecuación y "x" es el valor que se registra desde la entrada analógica, este valor "x" es un número entre 0 y 1000, donde 0 es el valor mínimo que aprecia el sensor y 1000 es el máximo. Esta ecuación fue determinada a partir de la ecuación de la recta $y = xm + b$ y de la pendiente de la misma $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$, haciendo pruebas cuando el tanque estaba completamente lleno o vacío.

3. Si la entrada física para el arranque de la bomba de “Amor y Paz” está activa, se manda una señal de red para que la bomba arranque, si la entrada física del nivel de la cisterna de Puerto Rico se activa, la bomba de Puerto Rico está encendida o si la bomba de Puerto Rico se encuentra en fallo, se envía una señal hacia la subestación Amor y Paz.
4. Si llega una señal de nivel de agua alto de la cisterna de Amor y Paz, se activa la marca M3, si llega una señal para el nivel del tanque de Puerto Rico bajo, se activa la salida física Q2, si llega una señal del modo de funcionamiento automático activado se activa M4 y si llega una señal de modo de funcionamiento temporizado activado, se activa M5.
5. Si llega una señal discreta de red desactivada de conexión con Amor y Paz, se enciende el temporizador T1, si el mismo permanece encendido 59s, esto activa la marca M2, esto significa que se perdió la conexión con Amor y Paz.

Figura 21

Diagrama de flujos de la subestación Puerto Rico.



En el diagrama de flujo mostrado en la **Figura 22** se puede apreciar que, al iniciar el programa, esta espera que se cumpla alguna de las condiciones iniciales para ejecutar su procedimiento, se enumera las condiciones de izquierda a derecha para explicar su correcto funcionamiento:

1. En la primera parte del programa no hay una condición, simplemente lo que obtenga la señal de entrada analógica del sensor de presión se multiplica por 0,15 y ese dato es enviado por la red hacia la estación “Las Chozas”, además ingresan los datos de los límites de trabajo tanto del nivel del tanque elevado de la subestación Puerto Rico como del nivel de presión que ejerce la bomba de Amor y Paz.
2. Se verifica si hay conexión con Puerto Rico, si deja de llegar una señal discreta en NI9 se enciende el temporizador que, después de 59 segundos, enciende la alarma de desconexión de red.
3. Cuando existe una desconexión de red, se debe poner el modo de funcionamiento en neutral y el modo de operación en local, se presiona F4 que es un pulsador del controlador y de esta forma se pone el sistema en modo temporizado, el cual se menciona en el apartado **3.2**.
4. Si se activa la entrada física I1 y la hora del día se encuentra entre las 5am y las 11 pm, se verifica si se activan los límites de nivel de modo remoto, en caso de que así sea se activa el modo automático con límites remotos, en otro caso, se activa el modo automático con límites locales (10% y 95%), la descripción del modo automático se puede observar en el apartado **3.2**.

5. Si se activa el modo de operación manual tanto de forma local como remota o se envía la señal de arranque de la bomba desde Puerto Rico, la bomba arranca, sin tomar en cuenta si existe agua en la cisterna de Amor y Paz o no.
6. Cuando arranca la bomba, el programa espera 50 segundos para verificar si hay una orden desde el HMI para utilizar los límites de presión remotos y si existe una presión fuera de los límites, si este es el caso, se enciende la marca de alerta y detiene la bomba, en otro caso el programa sigue su curso.

Independientemente de los valores obtenidos en las diferentes condiciones mostradas, los datos son mostrados en la pantalla principal de los controladores, una vez hecho esto, el programa regresa a su estado inicial en ambos casos.

Figura 22

Diagrama de flujos de la subestación Amor y Paz.

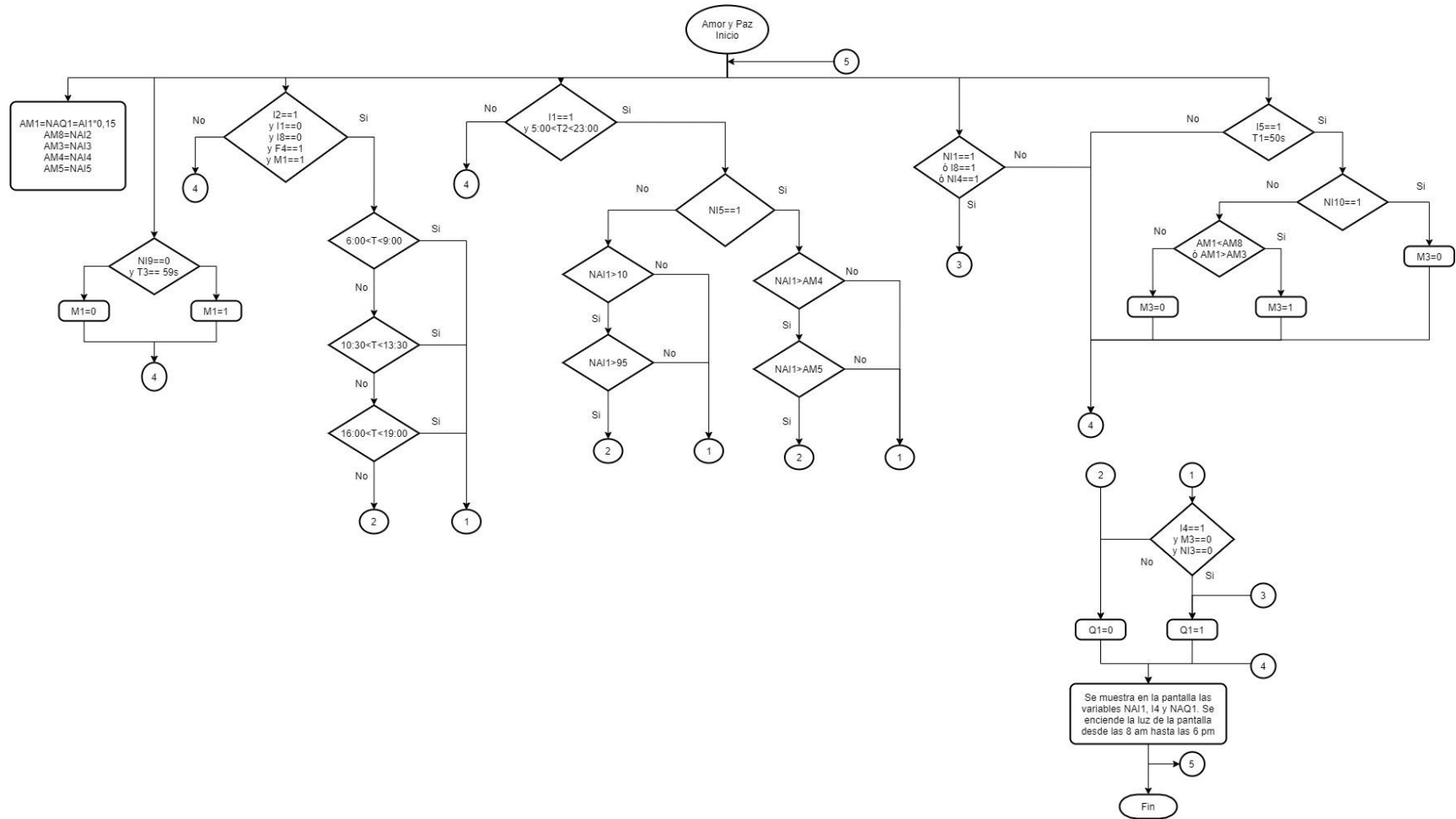


Figura 23

Tabla de variables del diagrama de flujos Amor y Paz.

Variable	Descripción
I1	Modo automatico
I2	Modo local
I3	Modo Remoto
I4	Entrada física digital de la existencia de agua en la cisterna subterránea
I5	Bomba encendida.
I8	Modo manual
M1	Marca de conexión de red con Puerto Rico
M3	Marca de alerta de presión.
NI1	Entrada de red digital para encender la bomba de forma remota
NI2	Entrada de red digital para encender la bomba de Puerto Rico de forma remota
NI3	Entrada de red digital para paro de bomba de Amor y Paz
NI4	Encendido de la bomba desde la subestación "Puerto Rico"
NI5	Uso de límites de nivel desde HMI
NI9	Entrada digital de red para conexión de red con Puerto Rico
NI10	Uso de límites de presión desde HMI
AI1	Entrada física analógica que muestra la presión de la bomba en bits.
AM1	Marca analógica de presión de la bomba.
AM3	Marca Analógica para presión baja.
AM4	Marca analógica para presión alta
AM5	Marca analógica de nivel del tanque de Puerto Rico baja.
AM8	Marca analógica de nivel del tanque de Puerto Rico alta.
NAI1	Entrada de red analógica para el porcentaje del nivel del tanque elevado en "Puerto Rico"
NAI2	Entrada de red analógica para presión baja
NAI3	Entrada de red analógica para presión alta
NAI4	Entrada de red analógica para nivel del tanque de Puerto Rico bajo
NAI5	Entrada de red analógica para nivel del tanque de Puerto Rico alto
Q1	Salida física para encender la bomba en "Amor y Paz"
T	Variable de tiempo en horas del día.
T1	Temporizador para limitar la presión.
T2	Temporizador de horas del día para encender el modo automatico
T3	Temporizador para desconexión de red con Puerto Rico

Diseño del Sistema Supervisión

El sistema de supervisión será el encargado de realizar la interacción con los operadores para trabajar en conjunto, en el control y monitoreo del sistema a desarrollar, este sistema es el encargado de mostrar la información de las dos subestaciones que se ven implicadas en el proceso de distribución de agua hacia el

sector Puerto Rico, a su vez le permitirá al operador realizar acciones de control ya sean manuales o automáticas.

Uno de los requerimientos para el desarrollo del sistema de supervisión, es poder integrar al cuarto de control existente en la estación Las Chozas, por lo que, el diseño deberá ser realizado con el mismo software de desarrollo que se utilizó para el diseño del sistema de supervisión existente para garantizar en futuras integraciones, dependiendo el crecimiento del sistema de distribución por parte de la empresa EMPALA EP.

Análisis de Variables a Monitorear

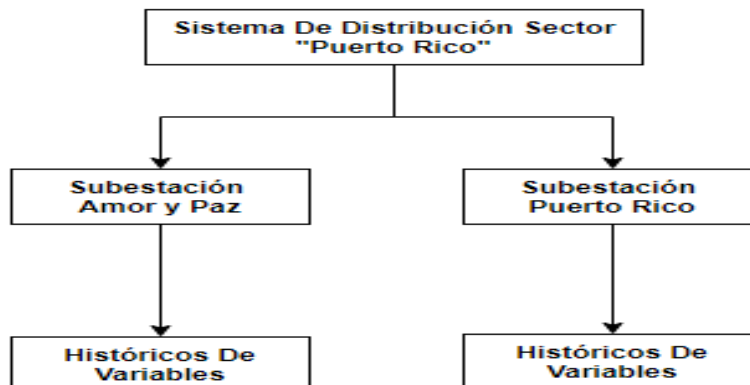
Para realizar el control y monitoreo del proceso de distribución de agua potable para el sector Puerto Rico, es necesario establecer las variables de interés en cada una de las subestaciones que están involucradas en esa línea de conducción y que son dependientes para llevar a cabo el proceso, asegurando de esta forma el monitoreo en tiempo real para que el proceso sea mucho más eficiente que el anterior y dando un mejor servicio a los habitantes de este sector, dichas variables se pueden observar en el apartado **3.6** en el contenido de la **Tabla 3** y **Tabla 4**.

Arquitectura

La arquitectura mostrada en la **Figura 24** es un esquema jerárquico de las pantallas o paneles que se van a desarrollar, la misma que será de utilizada para generar el mecanismo de navegación entre los paneles generados para el sistema de supervisión.

Figura 24

Arquitectura de pantallas en HMI.



- **Sistema de Distribución de Agua Sector Puerto Rico.**

En esta pantalla donde se muestra de manera conjunta todas las partes constitutivas del sistema de control y del estado de cada uno de los equipos en ambas subestaciones involucradas.

- **Subestación Amor y Paz.**

En esta pantalla se presentará todos las variables y elementos que se encuentran en la subestación Amor y Paz, siendo éstas presión, estado de nivel de la cisterna, estado de operación de la bomba de agua y modo manual de operación.

- **Subestación Puerto Rico.**

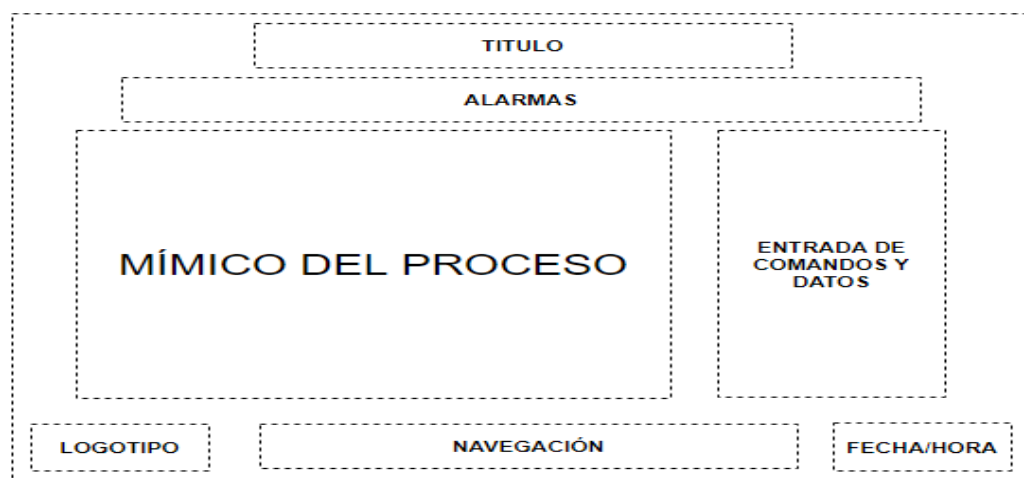
Esta pantalla se presentará todos las variables y elementos que se encuentran en la subestación Puerto Rico, siendo éstas el nivel de tanque elevado con datos reales, estado de nivel de la cisterna subterránea, estado de operación de la bomba de agua, etc.

- **Históricos de variables.**

En esta pantalla se presentará diagramas del estado de operación de las distintas variables en el tiempo, como también horas de operación por parte de los actuadores accionados.

Figura 25

Distribución de pantallas en HMI.



Nota: Esta plantilla será similar para el número de pantallas establecidas en la

Figura 24.

Plantilla de la Interfaz

En este apartado muestra la plantilla definida que conforma cada una de las pantallas detalladas antes y que mostrará la distribución de cada uno de los elementos, con la plantilla se busca seguir una similitud para evitar molestias visuales al operador de acuerdo a las sugerencias de la norma ISA 101, en la **Figura 25** se puede observar la distribución de pantallas que conformará el sistema HMI.

Diseño Pantallas HMI

Para el diseño de la HMI se debe crear un entorno amigable con el operador de tal manera que este pueda realizar maniobras de control sobre los actuadores y, además, visualizar el estado de los elementos y variables involucradas en el proceso de distribución de agua en tiempo real y de manera remota, sin necesidad de hacer el recorrido de campo para la verificación del correcto funcionamiento del sistema.

El proceso de diseño de la interfaz se ha tomado en consideración las 3 etapas establecidas por el estándar ISA 101, a continuación, se procede a describir la forma que han sido desarrolladas.

ETAPA 1: Se ha encontrada con una pantalla HMI HMIGT05310 touch panel de Schneider Electric de 10 pulgadas, con resolución de 640x480 pixels VGA, de 65536 colores, posee conexión de tipo ethernet RJ45 y un protocolo MODBUS TCP/IP que permite la comunicación con el controlador.

ETAPA 2: Se identificó el sistema de instrumentación y control del proceso de distribución de agua potable para el sector Puerto Rico mediante el plano P&ID mostrado en el Anexo V, donde se puede visualizar los instrumentos como: sensor de presión, sensor de nivel, variadores, bombas, indicadores, selectores. De igual manera es posible divisar lo referente a infraestructura, específicamente hablando de tanques de aproximadamente de $30m^3$ de capacidad.

ETAPA 3: Se aplicaron las fases de forma detallada en la aplicación sobre el sistema de distribución de agua potable para el sector Puerto Rico, de la siguiente manera:

- Fase 1: Estándar del Sistema. El estándar sobre el que se trabajó en el diseño está en base a la documentación de la norma ISA 101 mostrada a continuación:

Filosofía de la HMI: Como los usuarios de la HMI es el personal encargado de la operación del sistema, poseen el conocimiento relevante sobre el proceso, se llevará un orden didáctico que a su vez sea intuitivo para no generar confusiones.

Guía de Estilo de la HMI: Para realizar el sistema de instrumentación y control del proceso de distribución de agua potable para el sector Puerto Rico, se ha levantado un plano P&ID (ver Anexo V), donde se muestra de forma detallada los componentes del mismo. Es necesario resaltar la ubicación de la interfaz, deberá contar con una óptima iluminación que a su vez no perturbe la visión de los operadores, el cuarto donde se ubica es amplio, destinado solo para esta tarea en específico.

Kit de Herramientas: Para realizar la implementación se utilizó el Vijeo Designer, posee un entorno de simulación de pantallas HMI, de esta manera se puede realizar cambios previos antes de cargar directamente al dispositivo.

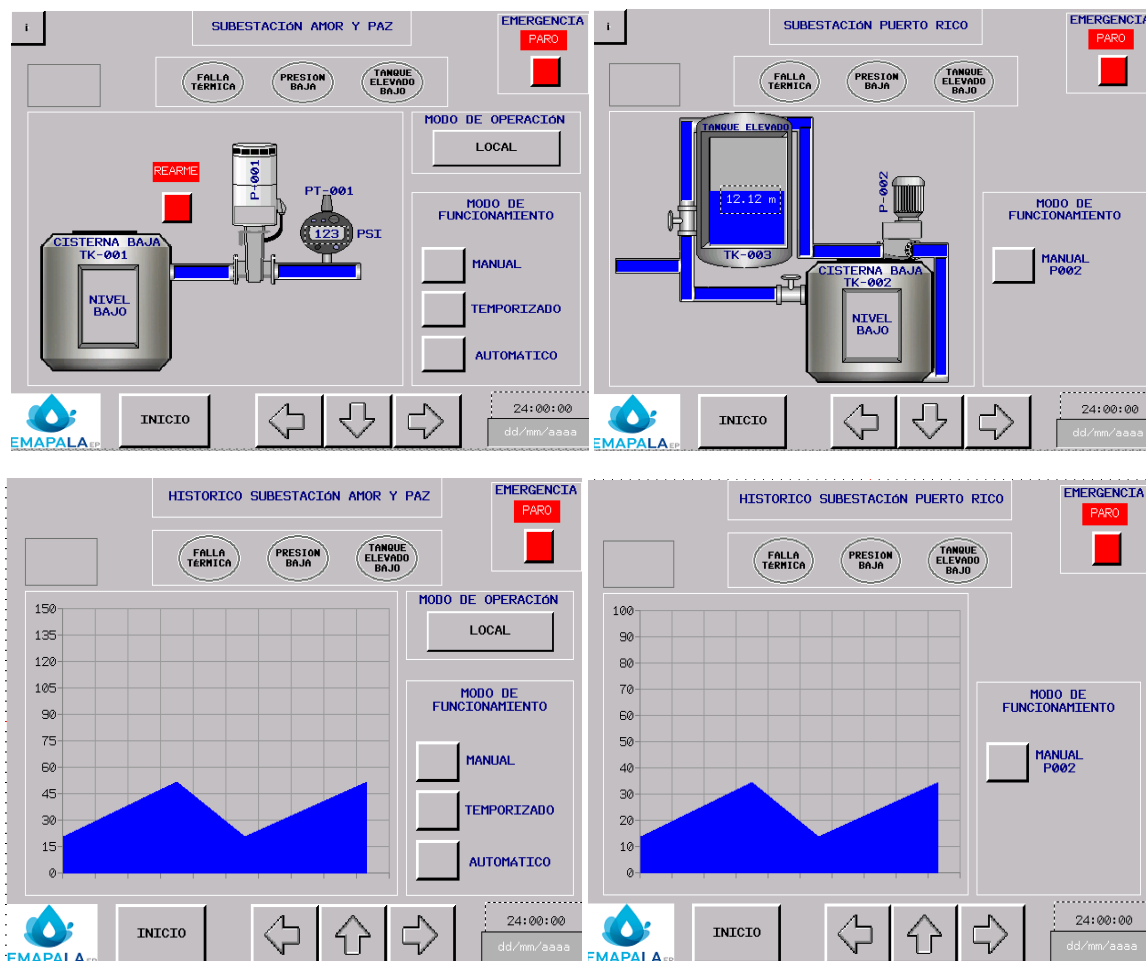
- Fase 2: Diseño.

Se ha realizado un borrador de la propuesta, en base a opiniones y solicitudes de los operadores a quienes está dirigido la interfaz, no se optó por utilizar el diagrama P&ID para mostrar los elementos del sistema por consulta directa sobre los involucrados, ya que, están familiarizados con esquemas realistas como tanques, bombas y demás. Para el la visualización de la interfaz se utilizó colores que no saturan

la visión del operador, de acuerdo a lo establecido por la norma, en la **Figura 26**, se puede apreciar el diseño inicial realizado y presentado al personal técnico de operación.

Figura 26

Borrador de interfaz propuesta.



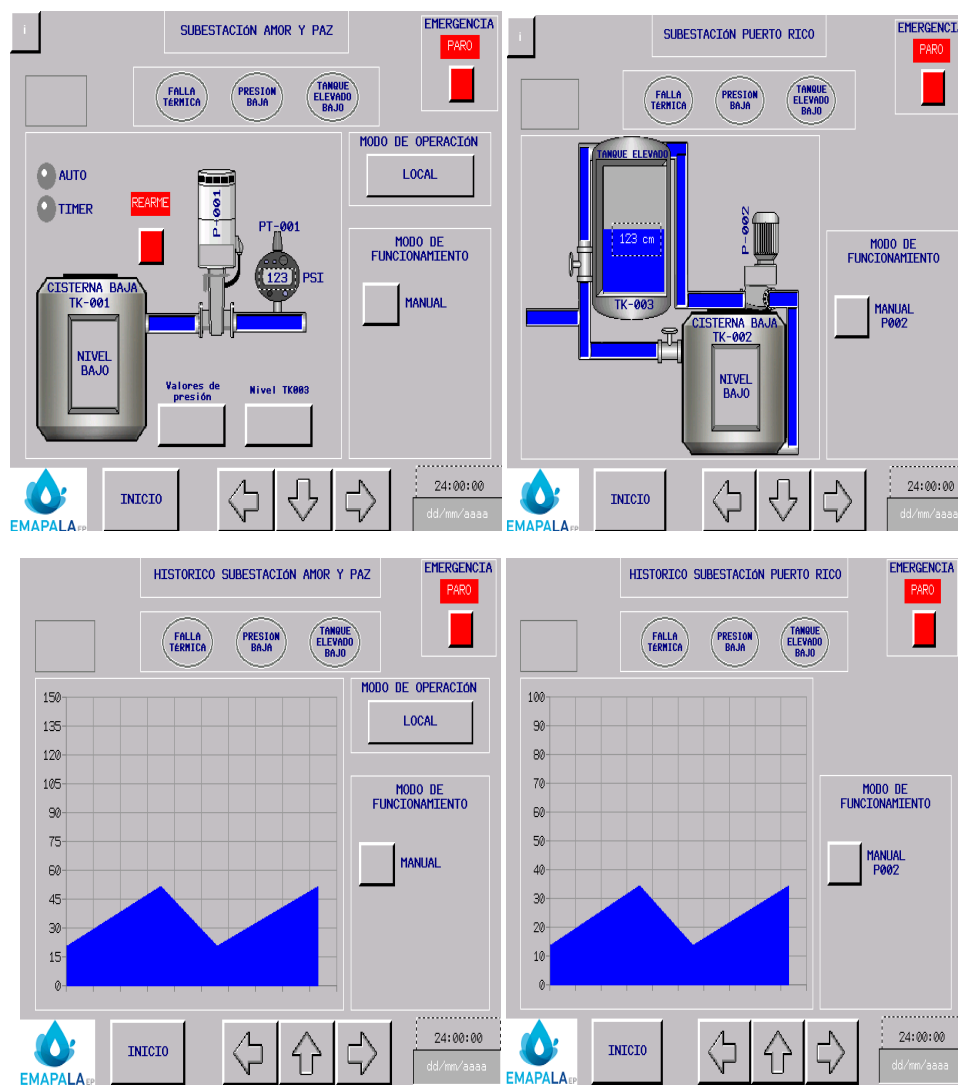
- Fase 3: Implementación.

Dentro de esta fase se realizó en el desarrollo completo de la interfaz median con el software, con la intención de llevar el diseño a una pantalla real y observar como el usuario responde con la información mostrada en pantalla, se evaluó si el diseño presenta la información adecuada y si esta cumple con los requerimientos, los paneles

que se muestran en la **Figura 27** y **Figura 28**, representan el diseño final que se implementará como sistema de supervisión.

Figura 27

Diseño final de la HMI para paneles principales.



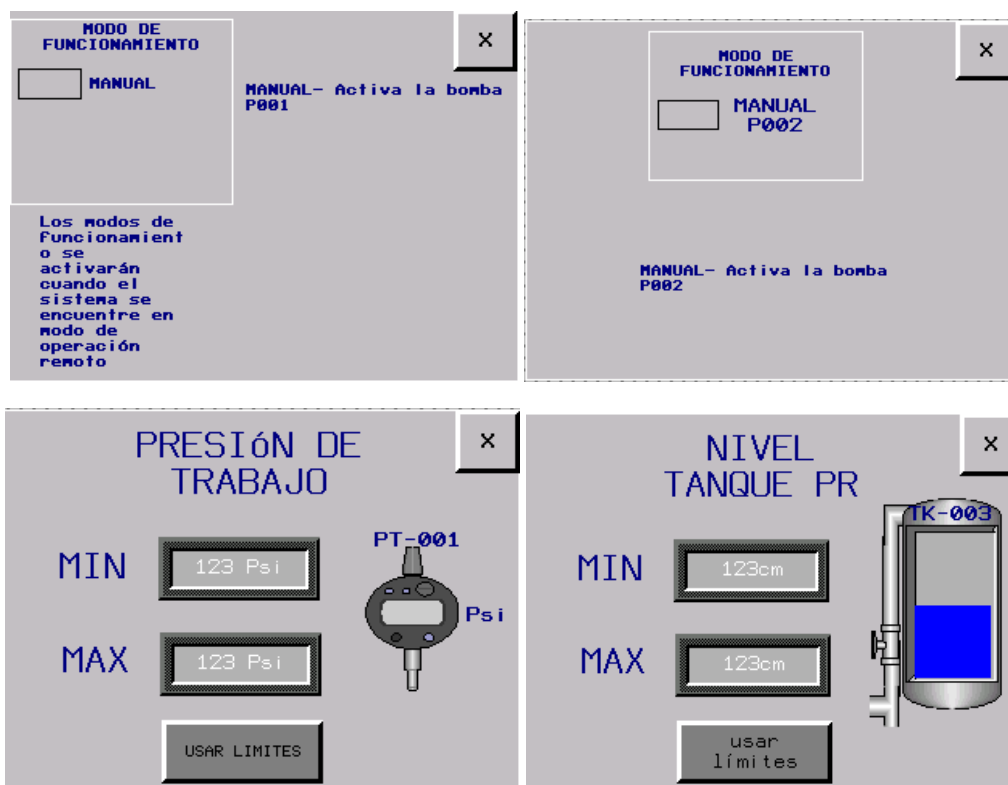
- Fase 4: Operación.

En la fase de operación, esta fase le corresponde netamente al personal técnico de EMAPALA EP, ya que, se ha entregado la documentación detallada y

respaldos del diseño final propuesto en este apartado, toda la información necesaria para realizar alguna modificación futura en base a observaciones o requerimientos de los operadores.

Figura 28

Diseño de ventanas emergentes de información e ingreso de parámetros.



Diseño de tableros de control

En los tableros de control es necesario tener normas y condiciones para su diseño y así garantizar la continuidad y protección del tablero, así como de los operadores, para el proyecto actual se consideró las normas: NEC-SB-IE, NEC-15 e IEC-61439-1.

NEC-SB-IE

Las siglas NEC provienen de Norma Ecuatoriana de Construcción del año 2018, la cual tiene diversas reglas instalaciones eléctricas, entre estas reglas se encuentra un apartado para tableros eléctricos y de control, las reglas que entran en contexto con el proyecto actual se enumeran a continuación:

- Debe ser ubicado en un lugar permanentemente seco, que represente el punto más cercano a todas las cargas parciales de la instalación y en paredes de fácil acceso a personas que realicen labores de reconexión o mantenimiento.
- Las cargas asignadas a las fases deben balancearse en todo cuanto sea posible.
- Por cada cinco salidas que se alimenten del tablero de distribución se debe dejar por lo menos una salida de reserva.
- Todo circuito debe tener un dispositivo de protección para sobrecorrientes.
- El tablero de distribución debe tener barra de neutro (aislada) y barra de tierra (NEC, 2018).

NEC-15

Las siglas NEC provienen de Norma Ecuatoriana de Construcción del año 2013, la cual tiene diversas reglas para la construcción, entre estas reglas se encuentra un apartado para tableros eléctricos y de control, las reglas que entran en contexto con el proyecto actual se enumeran a continuación:

- **Regla 1: Resistencia de materiales y partes:** Las capacidades mecánicas, eléctricas y térmicas de los dispositivos, tanto de operación como de construcción y ensamblado, deben estar aseguradas por características de construcción y testeo de su desempeño.
- **Regla 2: Verificación de protección IP:** Los dispositivos tanto de maniobra como de ensamble que forman parte de los tableros deben tener un grado de protección IP, este se define como la capacidad de penetración de cuerpos sólidos y líquidos en el elemento.
- **Regla 4: Eficacia del circuito de protección:** El funcionamiento del circuito de protección es un elemento de suma importancia en la seguridad. Debe verificarse cada uno de los elementos por separado y luego en conjunto, tomando en cuenta una corriente baja que supere la capacidad de cada elemento, una alta y finalmente una muy alta, entre el borne de conexión de los conductores y todas las masas.
- **Regla 7: Circuitos internos y conexiones:** Comprende el dimensionamiento de cables, puesta a tierra de circuitos de comando, capacidad eléctrica de elementos y marcado de colores del circuito instalado y su potencia admisible.
- **Regla 8: Bornes para conductores externos:** Esta regla asegura que las indicaciones de bornes y la posibilidad de albergar aluminio o cobre sean precisadas para el usuario final. Comprende también la verificación de todos los tipos de bornes que pueden ser utilizados para entradas o salidas de cables en el tablero.
- **Regla 10: Límites de calentamiento:** Se debe realizar una prueba que verifique

el buen funcionamiento de los tableros bajo condiciones máximas de consumo como: corriente, número de elementos y equipos, volumen de la envolvente. Esto permite definir los elementos del balance térmico para un calentamiento promedio del aire dentro del conjunto inferior a 30°C y un calentamiento de los bornes inferior a 70°C.

- **Regla 12: Compatibilidad Electromagnética:** Se debe verificar el control de perturbaciones electromagnéticas del conjunto cuando se encuentra en estado de funcionamiento en su mismo entorno, esto se realiza con la finalidad de no provocar perturbaciones (Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador, 2013).

IEC-61439-1

Las siglas IEC provienen del título “International Electrotechnical Commission” que en español se traduce como Comisión Electrotécnica Internacional, esta organización se encarga de preparar y publicar estándares internacionales para todas las tecnologías eléctricas y electrónicas. En dicha normativa existe un apartado para el diseño de tableros de control, de estos se toma en cuenta los que entran en contexto con el proyecto actual y se descarta los ya mencionados o equivalentes que se encuentran en NEC-SB-IE (IEC61439-1, 2009).

A continuación, se enlista los reglamentos en mención:

- Las piezas metálicas no deben estar conectadas a conductores de protección.
- Se debe evitar que los conductores puedan entrar en contacto con piezas metálicas en caso de desconexión accidental.

- Se debe construir el cuadro de forma que ninguna tensión pueda ser transmitida desde el interior del tablero hacia el exterior sin pasar por bornes de seguridad.
- Los dispositivos y conductores deben estar cubiertos por material aislante.
- Los envolventes aislantes no deben tener orificios en ningún punto por el cual pueda transmitirse tensión al exterior de la envolvente.
- El chasis metálico del tablero y ninguna de las piezas metálicas deben estar conectadas al circuito de protección.
- Los conductores deben pasar por un conducto aislado que proporcione un nivel óptimo de seguridad cuando haya que realizar trabajos de mantenimiento.

Todos los reglamentos mencionados se tomaron en cuenta para el diseño e implementación de los tableros de control de las dos subestaciones: Amor y Paz y Puerto Rico.

Capítulo IV

Ingeniería a Detalle

Arquitectura

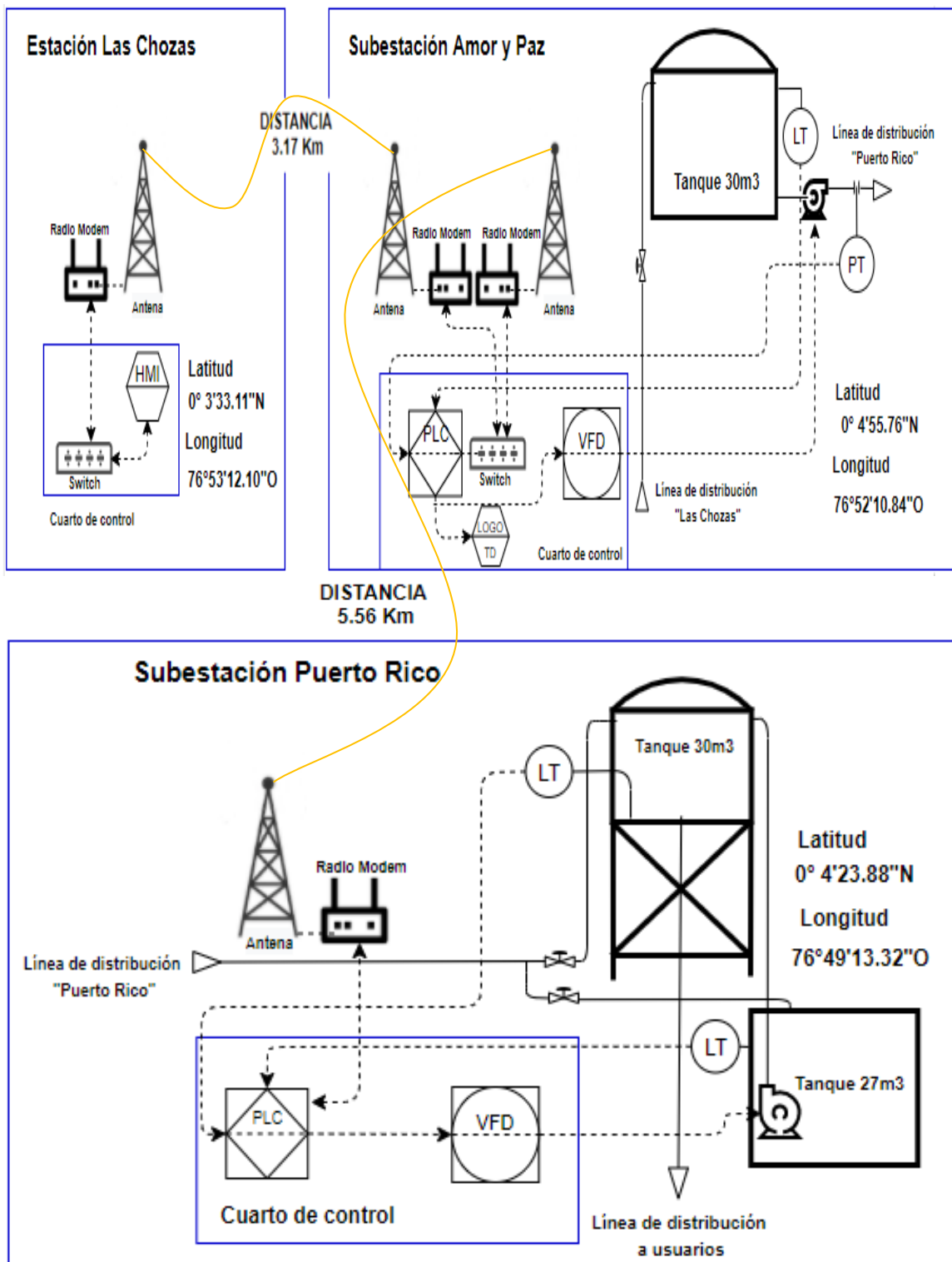
Una vez realizado el dimensionamiento de los elementos, es necesario proceder a seleccionar los mismos para llevar a cabo la implementación del sistema, estos elementos serán proporcionados por EMPALA EP debido a que, en el apartado **3.3** se puede constatar de la existencia de múltiples elementos de instrumentación y control, los cuales con un análisis previo de funcionamiento quedaron a disposición del equipo de trabajo, para el resto de elementos necesarios EMPALA EP entregó elementos que cumplen con los requisitos mínimos establecidos en el apartado **3.7**.

En la **Figura 29** se puede apreciar un esquema de la arquitectura donde se encuentran los elementos que conforman el sistema a desarrollar, este sistema se ha dividido en cuatro secciones: Sistema de Control, Sistema de Telemetría y Comunicaciones, Sistema Instrumentación y Sistema de Supervisión.

Con el fin de detallar cada uno de los elementos y protecciones requeridas para realizar la implementación o montaje de campo, así mismo, serán necesarios los esquemas y diagramas correspondientes para que dicha implementación se lleve a cabo de la mejor manera y asegurar las óptimas condiciones para la operación del sistema.

Figura 29

Esquema general del Sistema.



Sistema de Control


a) Selección de Elementos.

- Subestación “Puerto Rico”.

Para el envío y recepción de datos de las variables involucradas en el proceso, además de recibir todas las señales de entrada y salida para el correcto funcionamiento de la bomba, en la subestación “Puerto Rico”, se utilizará un controlador Siemens LOGO 230 RCE, el cual cuenta con un protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, lo cual facilita el flujo de información entre las subestaciones involucradas en el proceso. Este elemento es provisto por EMAPALA EP y cumple con los parámetros establecidos en el apartado 3.7.2 como se puede observar en la **Tabla 7**.

Tabla 7

Características del LOGO! Siemens 230RCE.


Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	110/240 V AC
	Número de entradas digitales	8
	Número de salidas digitales de tipo relé	4
	Puerto de conexión RJ45	si
	Protección	IP20
	Consumo de corriente promedio	150mA

Nota: Obtenido de (Automation24, 2012).

Para el arranque de la bomba sumergible en la subestación, es necesario configurar un variador de frecuencias que se encontraba en las instalaciones previo al trabajo de titulación, este dispositivo asegura los parámetros de funcionamiento óptimos de la bomba, una vez que la bomba se encuentre operando en óptimas condiciones el variador de frecuencia emitirá una señal hacia el controlador para que este pueda constatar la operación de la misma. Este dispositivo ha sido proporcionado por EMAPALA EP, en la **Tabla 8** se puede visualizar algunas de sus características.

Tabla 8

Características del convertidor de frecuencia ASC150.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	220 VAC
	Frecuencia	48 a 63 Hz.
	Protección	IP20
	Consumo de corriente	18.33 A

Nota: Obtenido de (Products, 2016).


En la subestación Puerto Rico es necesario utilizar un módulo de entradas análogas, con la finalidad de monitorear el nivel de agua, EMAPALA EP ha proporcionado el módulo LOGO 8 AM2, algunas de sus características se pueden observar en la **Tabla 9**.

Como fuente de alimentación para el módulo AM2 y otros elementos que funcionan con corriente directa, se ha seleccionado un módulo de alimentación de la

marca Siemens, proporcionado por EMAPALA EP, en la **Tabla 10** se puede apreciar algunas de sus características.

Tabla 9

Características básicas del módulo Siemens LOGO! AM2.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	12/24 VDC
	Entradas Analógicas de voltaje o corriente.	2
	Rangos de funcionamiento de las entradas	0 – 10 VDC
		0/4 – 20 mA
	Protección	IP20
	Consumo de corriente	100mA

Nota: Obtenido de (Automation24, 2012).

Tabla 10

Características Básicas de LOGO! Power 24v.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	100/240 VAC.
	Voltaje de Salida.	24 VDC
	Corriente de Salida	1.3 A
	Protección	IP20


Nota: Obtenido de (Automation24, 2012).

Para realizar el encendido manual o directo de la bomba sumergible en la subestación Puerto Rico es necesario utilizar un pulsador para realizar dicha operación,

EMAPALA EP ha proporcionado un pulsador de la marca CAMSCO, en la **Tabla 11** se puede apreciar algunas de sus características de funcionamiento.

Tabla 11

Pulsador CAMSCO.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje máximo de operación	600 VAC
	Corriente máxima de operación	10 A
	Protección	IP65

Nota: Obtenido de (Selectricom, 2017).


En el Anexo I, se puede apreciar la información detallada de cada uno de los elementos que se ha mencionado en este apartado.

- **Subestación “Amor y Paz”.**

Para el envío y recepción de datos de las variables involucradas en el proceso, además de receptar todas las señales de entrada y salida para el correcto funcionamiento de la bomba, en la subestación “Amor y Paz”, se utilizará un controlador Siemens LOGO 8 12/24 RCE, el cual cuenta con un protocolo de comunicación Modbus TCP/IP, lo cual facilita el flujo de información entre las subestaciones involucradas en el proceso. También cuenta con 4 entradas discretas y analógicas configurables en el rango de 0 - 10 VDC. Este dispositivo es provisto por EMAPALA EP y cumple con los requisitos establecidos en el apartado **3.7.2**, algunas de sus características se pueden observar en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Características del LOGO! 12/24 RCE.


Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	12/24 VDC
	Número de entradas digitales	8
	Salidas digitales de tipo relé	4
	Entradas Analógicas configurables.	4
	Puerto de conexión RJ45	si
	Protección	IP20
	Consumo de corriente.	150 mA

Nota: Obtenido de (Automation24, 2012).

Se utilizará dos selectores de 3 posiciones de la marca CAMSCO que servirán para escoger los modos de funcionamiento (manual, temporizado y automático) y modos de operación (local o remoto), este elemento está ubicado en el tablero de control proporcionado por EMAPALA EP y cumple con los requisitos establecidos en el apartado 3.7.2, algunas de sus características se tienen en la **Tabla 13**.

Tabla 13

Selector de 3 posiciones SKOS ED33.


Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje máximo de operación	600 VAC
	Corriente nominal	10 A
	Protección	IP65

Nota: Obtenido de (Selectricom, 2017).

En la **Tabla 14** se puede observar algunas de las características de las luces indicadoras que se obtuvo del reciclaje bajo revisión previa.

Tabla 14

Luz indicadora CAMSCO.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	220 - 240 VAC
	Protección	IP65
	Consumo de corriente	50mA

Nota: Obtenido de (LUZN, 2016).


En el Anexo II, se puede apreciar la información detallada de cada uno de los elementos que se ha mencionado en este apartado.

b) Protecciones Eléctricas.

Para separar las corrientes del controlador y los dispositivos de maniobra, se utiliza bobinas tipo relé como medida de protección, EMAPALA EP proporciona estos elementos, algunas de las características se pueden apreciar en la **Tabla 15**.

Tabla 15

Relé auxiliar Siemens.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	220 - 240 VAC
	Protección	IP20
	Corriente de operación	200mA

Nota: Obtenido de (Automation24, 2012).

Para la selección de los elementos de protección es necesario tomar en cuenta el consumo de corriente de los elementos que conforman el circuito de control, la suma de las corrientes proporciona el consumo de corriente total del circuito ya que, los mismos representan una carga individual para la fuente principal de energía.

Puerto Rico

$$I_T = I_{controlador} + I_{lucespiloto} + I_{Fuente24v} + I_{reles}$$

$$I_T = 150mA + 5 * 50mA + 1.3A + 3 * 100mA$$

$$I_T = 2A$$


Considerando la norma NEC-SB-IE para instalaciones eléctricas se debe agregar un factor de protección del 25% a la corriente total del sistema, de la siguiente manera, de igual forma para el resto de elementos de protección.

$$I_T = 2 * 1.25 = 2.5A$$

Es necesario un interruptor electromagnético, este mismo es proporcionado por EMAPALA EP, cuyas características se muestran en la **Tabla 16**.

Tabla 16

Características de 5SL3204-7MB.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	AC220 - 240 VAC
	Protección	IP20
	Intensidad de empleo	4A
	Frecuencia	50/60 Hz
	Nº de polos	2

Nota: Obtenido de (Siemens, Siemens industry mall, 2012).

Para el circuito de potencia se toma en cuenta el consumo estrictamente del motor de la bomba ya que el variador de frecuencia provee esta corriente hacia la misma, este consumo se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V} = \frac{2.2kW}{\sqrt{3} * 0.91 * 220} = 6.34A$$

Donde:

P: Potencia en kW del motor.

fp: factor de potencia del motor.

v: Tensión nominal.


Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 6.34 * 1.25 = 7.92A$$

El elemento seleccionado para la protección del circuito de potencia es proporcionado por EMAPALA EP, cuyas características se muestran en la **Tabla 17**.

Tabla 17

Características de ABB S803HV-K8.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	220 - 240 VAC
	Protección	IP20
	Intensidad de empleo	8A
	Frecuencia	50/60 Hz
	Nº de polos	3

Nota: Obtenido de (ABB, ABB product details, 2015).

Amor y Paz.

$$I_T = I_{controlador} + I_{lucespiloto} + I_{Fuente24v} + I_{reles} + I_{AM2}$$

$$I_T = 150mA + 50mA + 1.3A + 2 * 100mA + 100mA$$

$$I_T = 1.8A$$


Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 1.8 * 1.25 = 2.25A$$

Se selecciona el dispositivo necesario para cumplir esta función, en este caso el dispositivo es proporcionado por la empresa auspiciante, este es un interruptor electromagnético de la marca Siemens 5SL3202-7MB cuyas características se muestran en la **Tabla 18**.

Tabla 18

Características de Siemens 5SL3204-7MB.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	220 - 240 VAC
	Protección	IP20
	Intensidad de empleo	4A
	Frecuencia	50/60 Hz
	Nº de polos	2

Nota: Obtenido de (Siemens, Siemens industry mall, 2012).

Para el circuito de potencia se toma en cuenta el consumo estrictamente del motor de la bomba ya que el variador de frecuencia provee esta corriente hacia la misma. Este consumo se calcula con la ecuación.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V} = \frac{11kW}{\sqrt{3} * 0.89 * 220} = 32.4354A$$

Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 32.4354 * 1.25 = 40.54A$$

Para la protección de este motor se utiliza interruptor termomagnético de potencia, en el cual se puede ajustar la corriente de interrupción desde 30 a 100 A, este dispositivo es un Siemens 3VT1710 proporcionado por EMAPALA EP, algunas de sus características se muestran en la **Tabla 19**.

Tabla 19

Características de Siemens 3VT1710.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación.	220 - 240 VAC
	Protección	IP20
	Intensidad de empleo	30 – 100A
	Frecuencia	50/60 Hz
	Nº de polos	3

Nota: Obtenido de (Siemens, Siemens industry mall, 2012).

En el Anexo III, se puede apreciar la información detallada de cada uno de los elementos que se ha mencionado en este apartado.

c) Diagramas Esquemáticos.

- Diagramas Eléctricos

Los diagramas eléctricos correspondientes al circuito de potencia y de control se puede apreciar en el Anexo IV.

- Diagrama P&ID del sistema.

El diagrama P&ID que se ha desarrollado contiene todos los elementos del sistema de instrumentación y control del proyecto, donde se refleja cada uno de los lazos de control y conexiones pertinentes, en el Anexo V se puede apreciar el contenido de dicho diagrama.

Sistema de Telemetría y Comunicaciones

a) Selección de Elementos.

Para realizar el enlace de comunicación entre las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico” como también entre las subestaciones “Las Chozas” y “Amor y Paz”, se selecciona un modelo de antenas que cumple con las especificaciones mencionadas en el apartado **3.7.1**, estas son proporcionadas por EMAPALA EP, en la **Tabla 20** se puede apreciar algunas de las características de dichas antenas, de igual manera en el Anexo VI la información detallada.

b) Protecciones Eléctricas

Para la selección de los elementos de protección es necesario tomar en cuenta el consumo de corriente de todos los elementos mencionados. En este caso existe un

circuito que se repite en cada subestación y solo tiene un elemento que consume esta corriente:

$$I_T = I_{Antena} = 1A$$

Una vez considerado el consumo de corriente del sistema de comunicación se selecciona el dispositivo necesario para cumplir esta función, en este caso el dispositivo es proporcionado por la empresa auspiciante, este es un interruptor electromagnético de la marca Siemens 5SL3202-7MB cuyas características se muestran en la **Tabla 18**.

Tabla 20

Características de la antena Rocket M5.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de funcionamiento	12/24 VDC
	Potencia máxima de salida	27dBm
	Frecuencia de salida	4.9 GHz – 5.9GHz
	Velocidad de Transmisión	10/100 Mbps
	Puerto de conexión RJ45	si
	Protección	IP20
	Consumo de corriente	1A
	Ganancia Antena	30 dBi

Nota: Obtenido de (B&H, 2020).


Sistema de Instrumentación

a) Selección de Elementos

Con la finalidad de conocer el nivel de agua en el tanque elevado, se utilizará un sensor de nivel hidrostático AMETEK SSTSB0060PLSV que será ubicado en la parte interna del tanque elevado, este elemento es proporcionado por EMAPALA EP, algunas de las características se pueden apreciar en la **Tabla 21** las cuales cumplen con los requisitos establecidos en el apartado **3.7.3**.

Tabla 21

Características del sensor AMETEK SSTSB0060PLSV.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación	11 – 30 VDC
	Rango de Medida	0 – 150 PSI
	Señal de Salida	4 – 20 mA
	Exactitud	±1% F.S
	Protección	IP68

Nota: Obtenido de (Ametek, s.f.).


Para realizar el monitoreo de la presión que ejerce la bomba de agua en la subestación “Amor y Paz”, se utilizará el sensor de presión CS-PT 1200 el cual es proporcionado por EMAPALA EP y cumple con los parámetros mencionados en el apartado **3.7.3**, como se muestra en la **Tabla 22**.

Para realizar el monitoreo del nivel de agua en las cisternas de las subestaciones “Amor y Paz” y “Puerto Rico”, es necesario de un sensor digital debido a los requerimientos del sistema, no es necesario conocer el nivel exacto de dichas

cisternas, se ha optado por elegir Siemens Sirius 3ug4501-1aw30, este elemento es proporcionado por EMAPALA EP y cumple con los parámetros mencionados en el apartado 3.7.3 como se muestra en la **Tabla 23**. En el Anexo VII se puede apreciar las características a detalle de cada uno de los elementos mencionados en esta sección.

Tabla 22


Características del sensor CS PT 1200 1.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación	24 VDC
	Rango de Medida	0 – 150 PSI
	Señal de Salida	0 – 10 VDC
	Exactitud	±0.5% F. S
	Protección	IP68

Nota: Obtenido de (harvestalarm, 2018).

Tabla 23

Características del sensor Sirius 3ug4501-1aw30.

Dispositivo	Característica	Valor
	Voltaje de alimentación	24 – 240 VAC
	Señal de Salida	Digital 240 VAC
	Protección	IP20

Nota: Obtenido de (Siemens, Siemens, 2015).

b) Cálculos preliminares necesarios para las señales análogas de control.

Sensor de Nivel Análogo

Este sensor envía una señal de 4 a 20 mA, el rango de medida de este sensor es de 0 a 150 PSI, donde 4 mA son 0 PSI y 20mA son 150 PSI. Como este sensor es sumergible se lo utiliza para medir el nivel de agua del tanque elevado en la subestación Puerto Rico, gracias a pruebas de campo se pudo obtener que el sensor envía 4.08 mA cuando el tanque está vacío y 4.68 mA cuando el tanque está lleno (altura de 2.5 m). El controlador toma esta señal enviada de corriente y la interpreta en bits los cuales guarda en un registro de memoria como numero entero, el numero puede variar de 0 a 1000 bits donde 0 son 0 mA de entrada y 1000 son 20mA de entrada, gracias a esto y siguiendo con las pruebas de campo se pudo obtener que la señal de entrada hacia el controlador en bits era 202 bits cuando el tanque está vacío y 232 bits cuando el tanque está lleno. Tomando en cuenta este dato en bits de entrada, se utilizó las ecuaciones de línea para obtener una ecuación en donde 202 bits signifique 0cm del nivel de agua y 232 bits signifique 240cm del mismo, es decir el tanque elevado está lleno, una vez establecidos las magnitudes de trabajo agregamos 8 bits a cada valor medido, para facilitar el escalamiento de variables, establecemos la ecuación de la recta, $y = xm + b$ y de la pendiente, $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{240 - 0}{234 - 200}$$

$$m = \frac{240}{34}$$

$$y = m * x + b$$

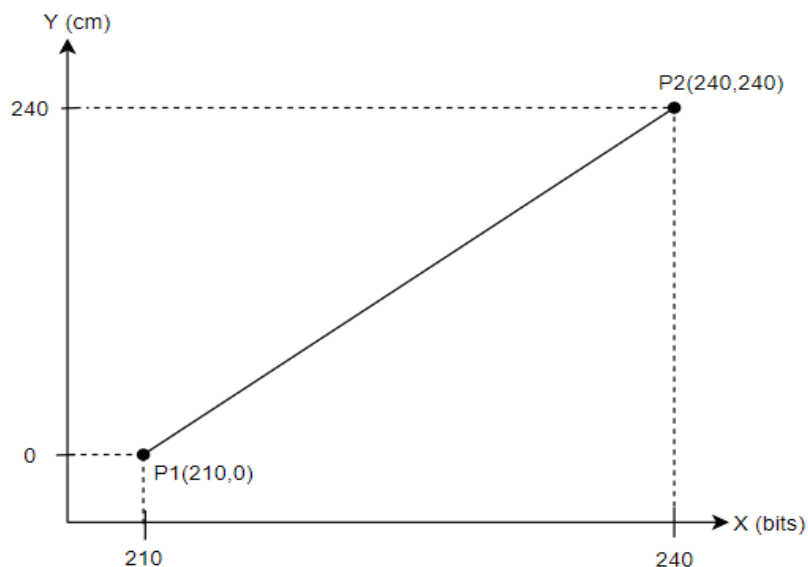
$$0 = \frac{240}{34} (200) + b$$

$$b = -1411,1$$

$$y = \frac{240}{34} * x - 1411,1$$

Figura 30

Linealización de la variable de nivel.



Sensor de Presión Análogo

Este sensor envía una señal de 0 a 10 VDC, el rango de medida de este sensor es de 0 a 150 PSI, donde 0 V son 0 PSI y 10 V son 150 PSI. El controlador toma esta señal enviada de voltaje y la interpreta en bits los cuales guarda en un registro de memoria como número entero, el número puede variar de 0 a 1000 bits donde 0 son 0 V de entrada y 1000 son 10V de entrada. Con estos datos se utiliza las ecuaciones previamente mencionadas donde:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

$$m = \frac{150 - 0}{1000 - 0}$$

$$m = 0.15$$

$$y = m * x + b$$

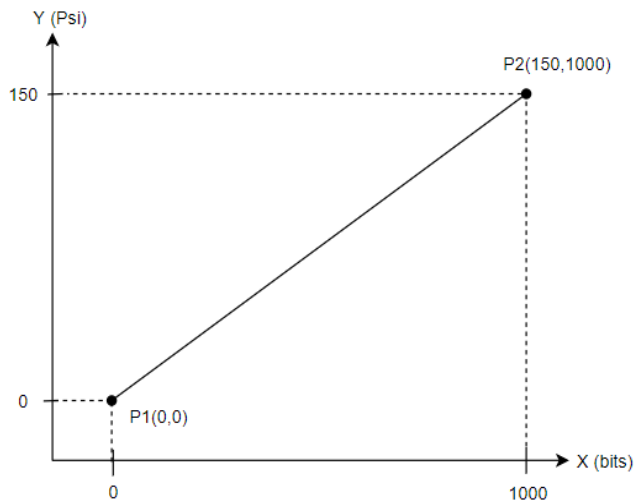
$$150 = 0.15(1000) + b$$

$$b = 0$$

$$y = 0.15 * x$$

Figura 31

Linealización de la variable de nivel.



Sistema de Supervisión


Para la implementación del sistema de supervisión es necesario incluir el sistema propuesto en el apartado **3.10**, ya que, el mismo fue aprobado por el personal técnico. Se debe tomar en cuenta el sistema de supervisión presente en la planta, el cual debe ser acoplado al sistema propuesto.

a) Selección de Elementos

Previo al trabajo de titulación, en la estación Las Chozas albergaba un sistema SCADA donde centralizaba la información de las subestaciones restantes, por solicitud de la misma empresa, se ha procedido utilizar la misma pantalla touch para facilidad del manejo por parte de los operadores, tomando en cuenta que el proceso de monitoreo y control previo deberá conservar las mismas características de control y monitoreo de la de la estación las chozas, en la **Tabla 24**. Se puede apreciar algunas de las características de la pantalla touch.

Tabla 24

Características de HMIGTO5310 touch panel.

Dispositivo	Característica	Valor
	Resolución	640x480 pixels
	Tipo de Conexión	RS232C RJ45, RS485.
	Voltaje de funcionamiento	24 – 240 VAC
	Protocolos de comunicación	Schneider Electric Siemens Simatic Modbus TCP
	Protección	IP20 Trasera/ IP56 Frontal

Nota: Obtenido de (Electric S. , Schneider Electric, 2020).

Para el monitoreo de variables en la subestación Amor y Paz, se ha solicitado un panel capaz de cumplir los requisitos establecidos en el apartado **3.7.4**, algunas de las características se pueden apreciar en el contenido de la **Tabla 25**. En el Anexo VIII se puede apreciar los detalles técnicos de los elementos mencionados en este apartado.

Tabla 25

Características de Siemens LOGO! TD.

Dispositivo	Característica	Valor
	Ancho	5 pulgadas
	Tipo de Conexión	RJ45.
	Voltaje de alimentación	12 – 24 VDC
	Protección	IP65

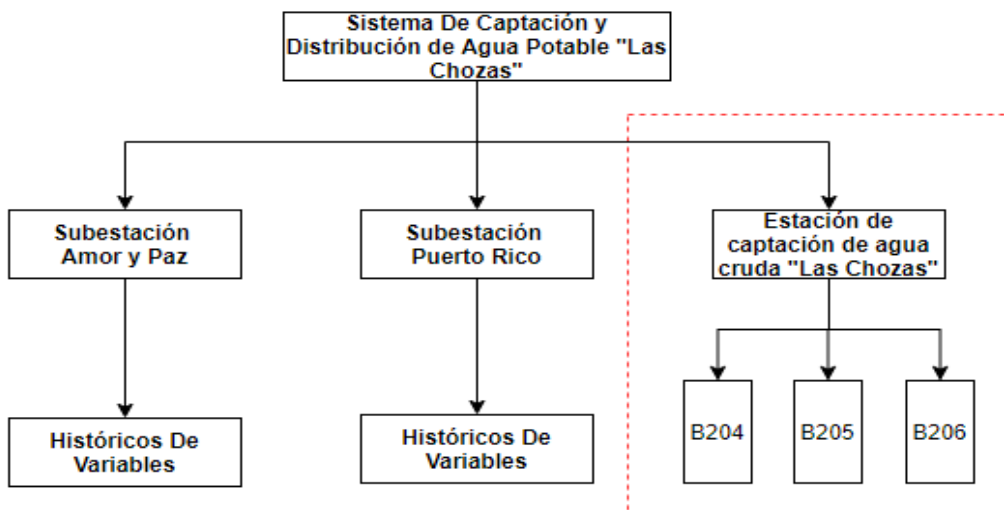
Nota: Obtenido de (Siemens, Siemens, 2015).

Descripción de HMI

A continuación, en la **Figura 32** se muestra la arquitectura final del sistema, este cuenta con una variante a diferencia del propuesto en el apartado **3.10.3** ya que, en el diseño no se consideró el sistema de captación de agua cruda presente en la planta y este debe ser agregado al sistema conjunto, el cual se ha denominado Sistema de Captación y Distribución de Agua Potable “Las Chozas”.

Figura 32

Arquitectura final del sistema.



- Pantalla de Inicio.

En la **Figura 33** se puede observar la pantalla de inicio del sistema de Captación y Distribución de Agua Potable “Las Chozas”, donde el operador podrá acceder a cualquiera de los procesos que se están ejecutando en tiempo real, de acuerdo al sector donde este quiera supervisar

Figura 33

Pantalla de inicio del sistema.



- **Subestación Amor y Paz.**

Con fines explicativos se ha procedido a señalar cada sección del panel mostrado en la **Figura 34**, el operador puede encontrar la información sobre el proceso de distribución de agua potable sector “Puerto Rico”, este panel cuenta en la parte superior el nombre de la subestación donde se encuentra, con los indicadores de alarmas (recuadro color rojo), estas alarmas corresponden a la presión que se ejerce en la línea de conducción hacia la subestación “Puerto Rico” efectuada por la bomba de agua de la subestación “Amor y Paz”, cuando la presión se encuentre fuera del rango moderado de operación, esta luz indicadora procederá a encenderse, de igual manera podría existir una falla térmica por parte del driver encargado de la operación de la

bomba en la subestación “Amor y Paz” y por último se tiene un aviso del nivel del tanque elevado del sector Puerto Rico cuando se encuentre fuera del rango preestablecido de su capacidad.

En el sinóptico del sistema (recuadro naranja), se puede apreciar un esquema del sistema de instrumentación y control, el cual muestra si la cisterna está con agua o no, el estado de operación de la bomba y el valor de presión en la línea de conducción de agua potable hacia la subestación Puerto Rico, también cuenta con la presencia de un botón de **REARME** del sistema, este botón permanece desactivado en cuanto a visualización y solo se mostrará al operador cuando exista una sobrepresión en la línea de conducción, las luces indicadoras de **AUTO** y **TIMER** muestran el modo de funcionamiento activo del sistema, los botones **Valores de Presión** y **Nivel TK003**, son botones que activan las ventanas emergentes mostradas en la **Figura 35**, donde se podrá modificar los parámetros de funcionamiento del sistema, ya sea presión en la línea de conducción o nivel del tanque elevado del sector Puerto Rico.

En el recuadro amarillo se puede visualizar el modo de operación (Local/Remoto) del sistema de distribución para el sector Puerto Rico, cuando este indicador se encuentre en modo local, el modo de funcionamiento (recuadro verde) quedan inhabilitados para el operador que desee manipular el panel, cuando este indicador se encuentre en el modo remoto, el operador podrá realizar la selección del modo de funcionamiento manual si él lo desea.

En la parte superior derecha (recuadro negro), cuenta con un botón de **PARO** para detener el sistema en caso de emergencia o suceso inesperado, este botón se encuentra en cada uno de los paneles desarrollados para el sistema, para el recuadro

café, es un botón de información que activará una de las ventanas emergentes mostrada en la **Figura 36** referente a la subestación de Amor y Paz, el recuadro celeste es un aviso para saber el estado de conexión de los controladores, cuando este encuentre una falla, un indicador intermitente color rojo mostrará un aviso de fallo en la conexión, este aviso se encuentra en cada uno de los paneles desarrollados para el sistema de distribución de agua sector Puerto Rico.

Por último, tenemos el sistema de navegación (recuadro morado), el cual se encuentra diseñado de tal forma que el operador pueda desplazarse entre las pantallas en base a la arquitectura del sistema mostrada en la **Figura 32**.

Figura 34

Panel de proceso en Subestación Amor y Paz.

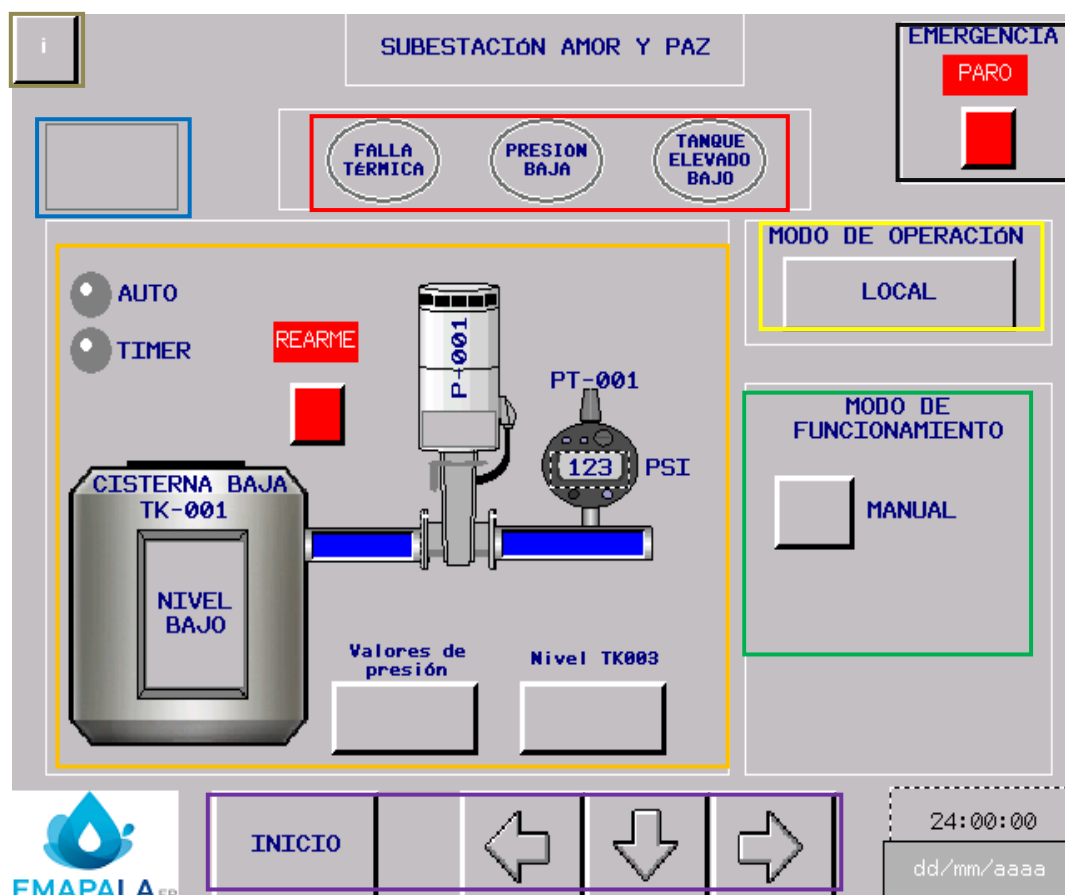


Figura 35

Ventanas emergentes para modificación de parámetros de funcionamiento.

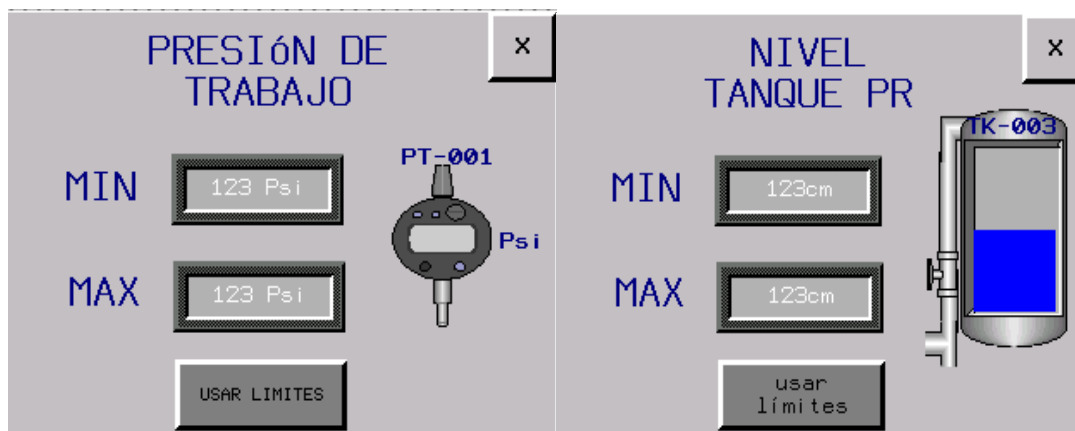
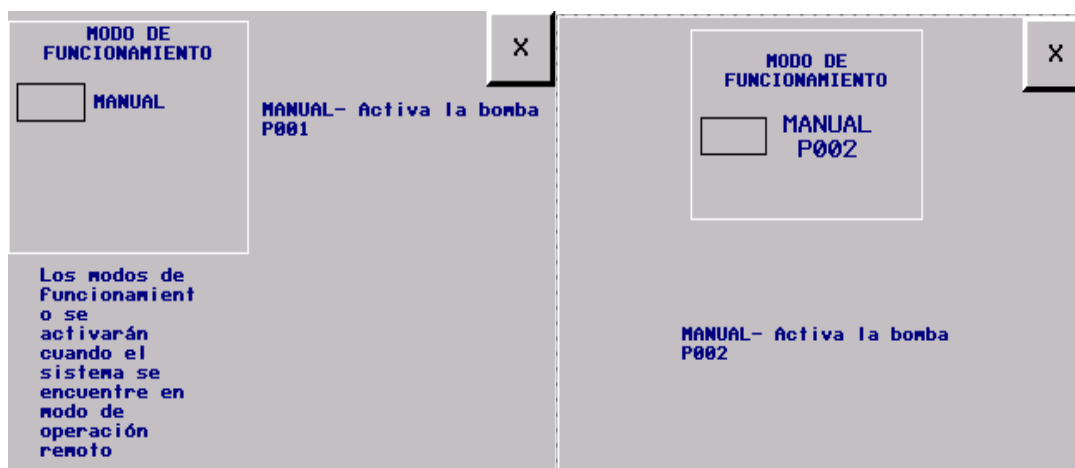


Figura 36

Ventanas emergentes de información sistema de supervisión.

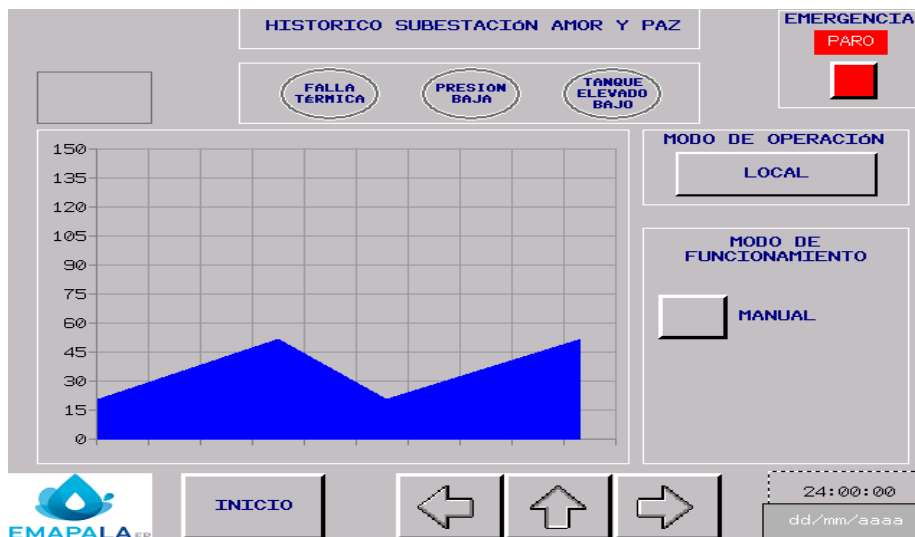


-Históricos subestación Amor y Paz.

En la **Figura 37** se puede observar el panel de históricos del proceso de la subestación Amor y Paz, en donde se mantiene la misma plantilla de iguales características de la **Figura 34**, a diferencia que, en el sinóptico (recuadro naranja) muestra un gráfico de tendencias de la variable de presión en tiempo real una vez que se halla activado la bomba de la subestación Amor y Paz.

Figura 37

Panel de tendencias del proceso en subestación Amor y Paz.



- **Subestación “Puerto Rico”.**

En el panel mostrado en la **Figura 38** de igual manera que en la subestación Amor y Paz, cumple con los mismos parámetros de interés, el fallo térmico que pueda darse en el driver controlador de la bomba de la subestación Puerto Rico, la presión en la línea de conducción de agua hacia la subestación “Puerto Rico” y el nivel del tanque elevado. De igual manera es posible accionar la bomba de la subestación Puerto Rico de forma manual.

En el sinóptico del sistema es posible visualizar un esquema de la subestación y los elementos de instrumentación y control que lo conforman, ya sea el nivel de agua en el tanque elevado en tiempo real, el estado de operación de la bomba de agua en la cisterna y, por último, si la cisterna contiene agua potable o no, en el parte superior izquierdo en el botón **i**, se podrá acceder a la información en cuanto al modo de operación manual de la estación.

Figura 38

Panel de proceso en subestación Puerto Rico.



- **Históricos subestación Puerto Rico.**

En la **Figura 39** se puede observar el panel de tendencias del porcentaje del nivel del tanque elevado del sector Puerto Rico en función del tiempo.

Figura 39

Panel de tendencias del proceso en subestación Puerto Rico.



Por último, se tiene la integración del sistema de captación de agua cruda del sector Las Chozas, en donde se ha adaptado una serie de paneles a la plantilla propuesta en el apartado **3.10.4**, dichos paneles antiguos y actualizados se pueden observar en el Anexo IX.

Diseño de Tablero Industrial

El diagrama de diseño realizado para los tableros de control que albergan los elementos antes mencionados se puede observar en el Anexo X, donde se presentan las medidas correspondientes, cabe mencionar que, dichos tableros son reutilizados al igual que ciertos elementos encontrados previo al trabajo de titulación.

Para el diseño de estos tableros se ha tomado en cuenta las normativas de diseño: NEC--SB-IE y IEC 61439-1 y 2 como se menciona en el apartado **13.11**, también se ha separado el sistema de potencia que en los tableros se ha puesto en el lado izquierdo, del sistema de control que se encuentran en el lado derecho, dichos sistemas solo se comunican mediante bobinas de control (relé) y así no generan corrientes muy altas o corrientes parasitas entre ellos. La distancia entre estos fue medida tal que no se genere perturbaciones electromagnéticas entre los circuitos y evite el sobrecalentamiento de los mismos. El resultado final para la implementación de tableros se puede apreciar en la **Figura 40** y **Figura 41**.

Figura 40

Vista externa e interna del tablero implementado en Puerto Rico.

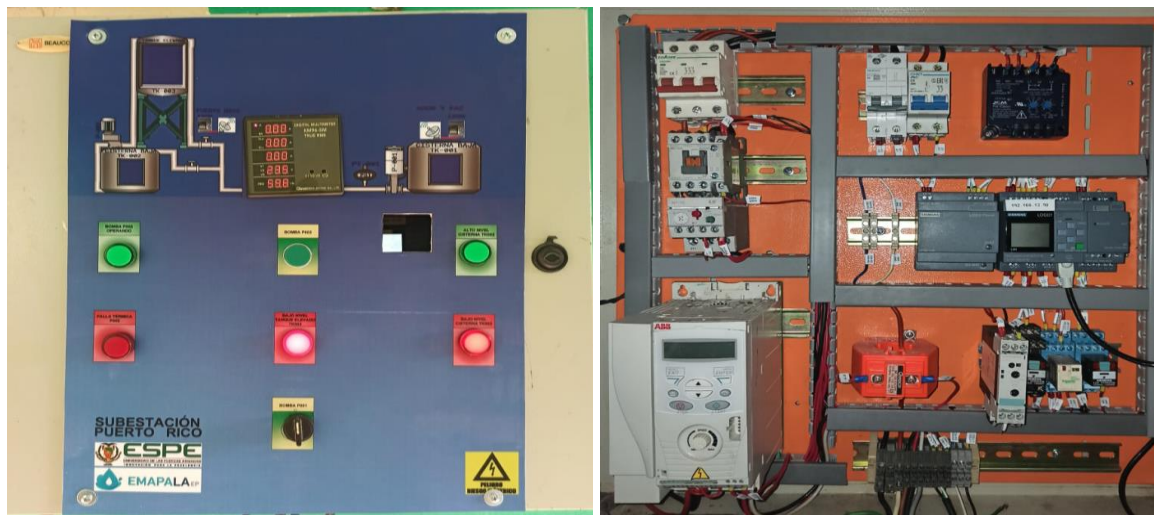


Figura 41

Vista externa e interna del tablero implementado en Amor y Paz.



Dimensionamiento del Conductor

En la correcta selección de conductores eléctricos se ha realizado el análisis y cálculos correspondientes del consumo energético para cada uno de los equipos que forman parte del sistema, en su lugar correspondiente, con el fin de dar seguridad, confiabilidad y durabilidad de la conexión eléctrica, en la **Tabla 26** se puede observar los elementos del sistema de control para la subestación “Puerto Rico” junto con el consumo generado por cada uno de ellos en base a la tabla de especificaciones de los equipos proporcionado en el Anexo II, con la finalidad de realizar los cálculos correspondientes para determinar el conductor eléctrico.

Tabla 26

Características de consumo de los elementos en Puerto Rico.

Elementos de consumo	Consumo de Voltaje	Consumo de Corriente
Luces piloto de la Marca CAMSCO.	220 - 240 VAC	50 mA
Bobinas de relé de 220 VAC, marca Siemens	220 - 240 VAC	100mA
Sensor digital de nivel del sensor Sirius	220-240 VAC	100mA
Controlador Logo 8 230 RCE.	220 - 240 VAC	150mA
Fuente Logo Power 24VDC.	220 - 240 VAC	1.3A

Tomando en cuenta dichas características, se hace un cálculo del consumo total de corriente que tiene el circuito y se le aumenta un porcentaje de protección debido a la norma NEC-SB-IE previamente mencionada en el apartado 3.11.1, la cual especifica que en dimensionamiento de cables se debe aumentar un 25% de protección al conductor correspondiente, esta misma se tomará en cuenta en los cálculos posteriores para el seleccionamiento del conductor, siendo así:

$$I_T = I_{controlador} + I_{lucespiloto} + I_{Fuente24v} + I_{reles}$$

$$I_T = 150mA + 5 * 50mA + 1.3A + 3 * 100mA$$

$$I_T = 2 * 1.25 = 2.5A$$

Basándose en la **Figura 42**, se requiere utilizar un conductor 18 AWG que se acerca más a las características mencionadas.

En la **Tabla 27** se observan los elementos del sistema de control de la subestación “Amor y Paz” y el consumo generado por cada uno de ellos en base a la tabla de especificaciones proporcionado en el Anexo II.

Tabla 27

Características de consumo de los elementos en Amor y Paz.

Elementos de consumo	Consumo de Voltaje	Consumo de Corriente
Luces piloto de la Marca CAMSCO.	220 VAC	100 mA
Bobinas de relé de 220 VAC, marca Siemens	220 - 240 VAC	100mA
Bobinas de relé de 24 VDC, marca Siemens	24 VDC	100mA
Sensor digital de nivel del sensor Sirius	220 VAC	100mA
Controlador Logo 8 12/24 RCE	12 - 24 VDC	150mA
Fuente Logo Power 24VDC.	220 - 240 VAC	1.3A
Módulo Siemens Logo 8 AM2.	220 - 240 VAC	100mA

Se procede a realizar el cálculo correspondiente, tomando en cuenta la norma de protección NEC-SB-IE previamente mencionada, siendo así:

$$I_T = I_{controlador} + I_{lucespiloto} + I_{Fuente24v} + I_{reles} + I_{AM2}$$

$$I_T = 150mA + 50mA + 1.3A + 2 * 100mA + 100mA$$

$$I_T = 1.8A$$

Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 1.8 * 1.25 = 2.25A$$

Se determina que el conductor más adecuado para el sistema de control de la subestación Amor y Paz es 18 AWG gracias a sus características mencionadas.

Una vez establecido el calibre del conductor, tomando en cuenta la disposición de EMAPALA EP, se ha ajustado el dimensionamiento del mismo a los requisitos del departamento técnico el cual rige para todos los circuitos eléctricos que manejan en baja tensión, dichos requisitos establecen un conductor AWG número 18 de colores rojo y negro en corriente alterna (AC). Para los dispositivos que funcionan en corriente continua (DC), conductor AWG número 18 de colores: azul y blanco. Los dispositivos de instrumentación estarán expuestos expuesto a la intemperie, corre el riesgo de estar expuesto a interferencias ajenas al funcionamiento del sistema, por lo cual, es necesario utilizar conductor tipo concéntrico (calibre 3x18) para asegurar que dichas interferencias no interrumpan con la lectura de los mismos.

El uso del conductor especificado por la empresa, no afecta en la seguridad del sistema, de igual manera en su funcionamiento, una vez que se ha establecido a detalle el conductor ideal se procede a realizar la implementación del mismo en los circuitos de control. Para la selección del conductor eléctrico que se será utilizado en los circuitos de potencia, es necesario conocer el consumo de corriente de corriente de los motores de cada una de las bombas bomba de las subestaciones.

Figura 42

Tabla de dimensionamiento y selección del conductor.

Número AWG	Diámetro de mm	Sección en mm ²	Número de espiras x cm	Kg. por kilómetro	Resistencia en Ω por Km	Corriente en Amperios
0000	11,85	107,2	-	-	0,168	319
000	10,40	85,3	-	-	0,197	240
00	9,226	67,43	-	-	0,232	190
0	8,232	53,48	-	-	0,317	150
1	7,348	42,41	-	375	0,40	120
2	6,544	33,63	-	295	0,40	96
3	5,827	26,67	-	237	0,63	78
4	5,189	21,15	-	188	0,80	60
5	4,621	16,67	-	149	1,01	48
6	4,115	13,30	-	118	1,27	38
7	3,665	10,55	-	94	1,70	30
8	3,264	8,36	-	74	2,03	24
9	2,906	6,63	-	58,9	2,56	19
10	2,588	5,26	-	46,8	3,23	15
11	2,305	4,17	-	32,1	4,07	12
12	2,053	3,31	-	29,4	5,13	9,5
13	1,828	2,63	-	23,3	6,49	7,5
14	1,628	2,08	5,6	18,5	8,17	6,0
15	1,450	1,65	6,4	14,7	10,3	4,8
16	1,291	1,31	7,2	11,6	12,9	3,7
17	1,150	1,04	8,4	9,26	16,34	3,2
18	1,024	0,82	9,2	7,3	20,73	2,5
19	0,9116	0,65	10,2	5,79	26,15	2,0
20	0,8118	0,52	11,6	4,61	32,69	1,6
21	0,7230	0,41	12,8	3,64	41,46	1,2
22	0,6438	0,33	14,4	2,89	51,5	0,92
23	0,5733	0,26	16,0	2,29	66,4	0,73
24	0,5106	0,20	18,0	1,82	85,0	0,58
25	0,4547	0,16	20,0	1,44	106,2	0,46
26	0,4049	0,13	22,8	1,14	130,7	0,37

Nota: Obtenido de (A., 2016).

- **Motor Grundfos, bomba de subestación Amor y Paz.**

A continuación, en la **Tabla 28** se puede observar algunas características del motor de la bomba que alberga la subestación Amor y Paz.

Tabla 28

Características de consumo de motor Grundfos.

Parámetros	Consumo
Voltaje de operación	220 VAC
Potencia	11kW
Fp	0.89
Frecuencia	60 Hz

Se calcula la intensidad del circuito mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * fp * V} = \frac{11kW}{\sqrt{3} * 0.89 * 220} = 32.4354A$$

Donde: P : Potencia en kW del motor

fp : factor de potencia del motor

v : voltaje de alimentación del motor.

Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 32.4354 * 1.25 = 40.54A$$

Tomando en cuenta este valor de corriente y basándose en la **Figura 42**, se debe utilizar un conductor 5 AWG que se acerca más a las características mencionadas.

- **Motor Mophorn, bomba de subestación Puerto Rico.**

A continuación, en la **Tabla 29** se puede observar algunas de las características del motor de la bomba sumergible ubicada en la subestación Puerto Rico.

Tabla 29

Características de consumo de la bomba Mophorn.

Parámetros	Consumo
Voltaje de operación 3 fases	220 – 240 VAC Por fase
Potencia	2.2kW
Fp	0.91
Frecuencia	50 Hz

De igual manera, se calcula la intensidad del circuito mediante la siguiente ecuación:

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

$$I = \frac{2.2kW}{\sqrt{3} * 0.91 * 220}$$

$$I = 6.34A$$

Norma NEC-SB-IE:

$$I_T = 6.34 * 1.25 = 7.92A$$

Tomando en cuenta este valor de corriente y basándose en la **Figura 42** se debe utilizar un conductor 12 AWG que se acerca más a las características mencionadas.

Ya establecido el calibre del conductor necesario para cada uno de los elementos del sistema de potencia, tomando en cuenta la disposición de EMAPALA EP, se ha ajustado el dimensionamiento del mismo a los requisitos del departamento técnico el cual rige para todos los circuitos de potencia, el mismo que estableció conductor AWG número 5, en el Anexo XI se puede apreciar a detalle las características de consumo de cada uno de los motores de las bombas antes mencionadas.

Implementación

Normas de implementación

Para implementar el proyecto es necesario seguir normas de seguridad y protección tanto de elementos como de usuarios, siguiendo las normas nacionales e

internacionales, como también las empleadas por EMAPALA EP con la finalidad de asegurar un trabajo, de lo cual se tiene las siguientes:

- CPE INEN 019 Código Eléctrico Ecuatoriano
- NTE INEN 2345 Alambres y cables con aislamiento termoplástico.
- NFPA70 Código Eléctrico Nacional. EEUU, 2008.
- NTE INEN 3098, Voltajes Normalizados
- CEI 60447: Interfaz Hombre Máquina: Principios de maniobra.
- Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones ARCOTEL – 2017.

Sistema de Instrumentación

Para la implementación del sistema de instrumentación es necesario describir el montaje en campo de los dos sensores que actúan en el mismo como son: El sensor de nivel del tanque elevado en la subestación “Puerto Rico” y el sensor de presión de la bomba de la subestación “Amor y Paz”. Se describirá también los implementos necesarios para su correcto montaje.

I) Subestación “Puerto Rico”

- **Sensor de nivel analógico.**

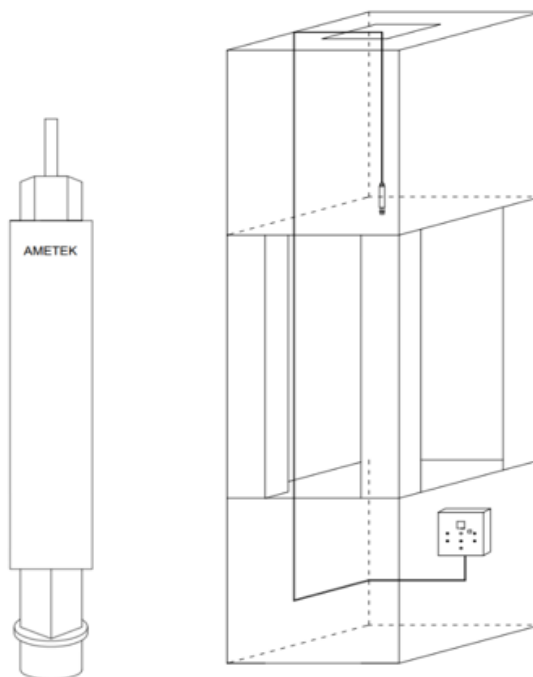
Para acoplar el sensor de nivel analógico que va implementado en el tanque elevado de la subestación “Puerto Rico” se necesitó conductor concéntrico de 3 hilos con una medida de 20m. Este sensor se sumerge por una tubería desde la parte

superior del tanque elevado dentro del mismo, hasta el fondo del tanque, desde ahí manda una señal de presión que aumenta o disminuye linealmente conforme el tanque se llena o se vacía, esta señal viaja por el conductor hasta unas borneras ubicadas en la parte inferior del tablero de control, desde ahí se acoplan al controlador.

En la **Figura 43**, en el lado izquierdo se muestra un esquema de la forma del instrumento transmisor de nivel, en la parte derecha se encuentra un esquema de cómo se conecta dicho sensor, el mismo se encuentra en el fondo del tanque elevado, el conductor que envía la señal de nivel emerge por la parte superior del tanque, se extiende hasta un costado de esta plataforma y desciende hasta el cuarto de control que se encuentra 15m debajo del tanque, ingresa por una de las paredes de dicho cuarto y avanza por la pared hasta alcanzar el tablero de control en el cual ingresa por el lado inferior hasta las borneras.

Figura 43

Implementación del sensor de nivel análogo.

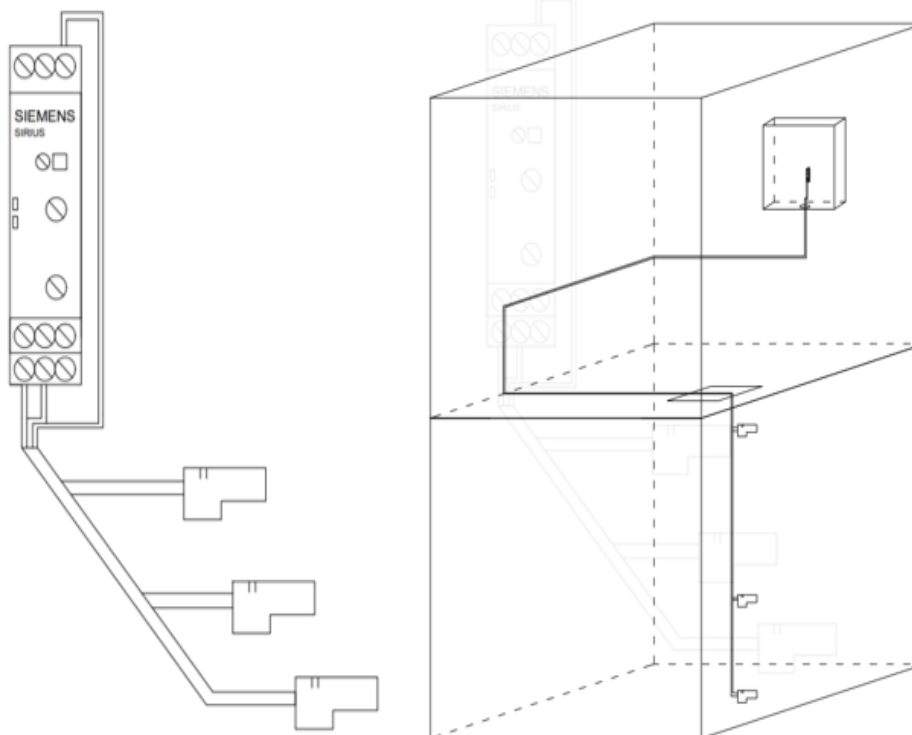


- **Sensor de nivel digital.**

Para acoplar el sensor de nivel digital se utiliza 15m de conductor concéntrico de 3 hilos, cada hilo va conectado a un electrodo y aislado herméticamente para ser sumergido en el agua, cada electrodo representa una señal que se envía hasta una bobina la cual interpreta las señales de nivel mínimo, referencia y nivel máximo del tanque. La señal de referencia se utiliza para apagar la bomba y así asegurar que la misma no absorba aire. Este sensor ingresa en la cisterna subterránea de la subestación, desde ahí se conecta hasta unas borneras ubicadas en la parte inferior del tablero de control y las mismas se acoplan al controlador.

Figura 44

Implementación del sensor digital de nivel.



En el lado izquierdo de la **Figura 44** se muestra un esquema de la forma del sensor de nivel digital que se encuentra en las subestaciones Amor y Paz y Puerto Rico. En el lado derecho se observa como los electrodos se sumergen dentro de la cisterna que está ubicada debajo del cuarto de control, de forma que alcancen los niveles que se desea controlar. Estos se conectan mediante el conductor concéntrico que sale por la parte superior de la cisterna, se extiende hacia un costado de la habitación y avanza por la pared hasta la parte inferior del tablero de control donde se encuentran las borneras.

II) Subestación “Amor y Paz”

- Sensor de Presión

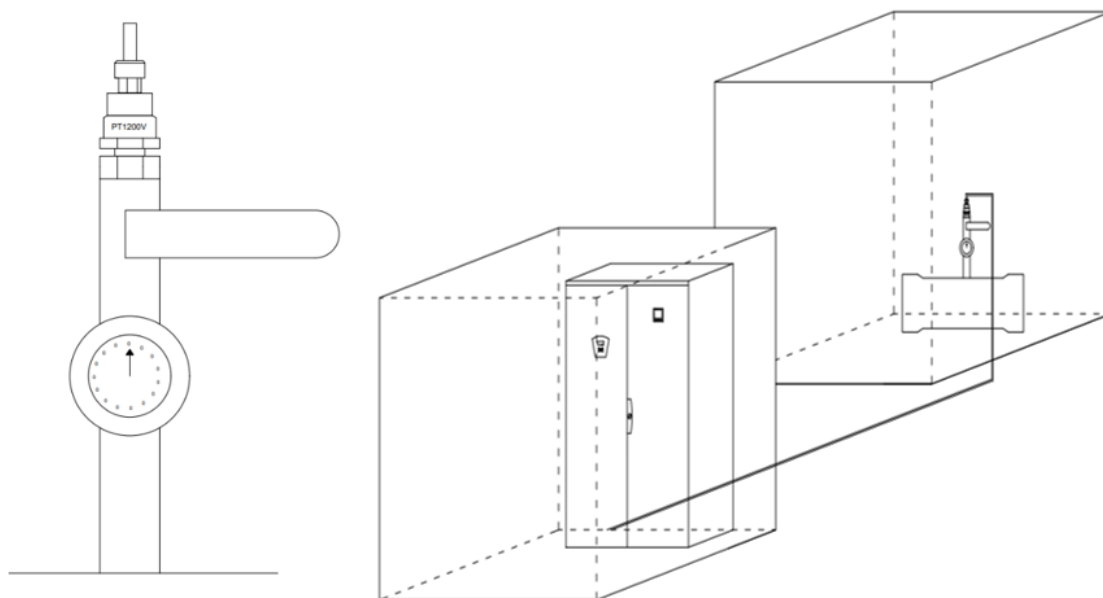
Para la implementación y el montaje de este sensor se utilizó un acoplamiento reductor de tubería de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ ya que una de las salidas al tubo acoplado a la bomba tiene una medida de $\frac{1}{2}$ y la entrada del sensor es de $\frac{1}{4}$. La salida del sensor es conectada a un conductor concéntrico de 3 hilos que envían señales de VCC, GND y medida de presión de 0 a 10v. Desde ahí se conectan hasta unas borneras ubicadas en la parte inferior del tablero de control y las mismas se acoplan al controlador.

En el lado izquierdo de la **Figura 45** se puede observar un esquema de la forma del sensor de presión acoplado a una tubería que se encuentra a la salida de la bomba. En el lado derecho se encuentra un esquema de la conexión que se hizo hacia el tablero de control, el conductor concéntrico se conecta desde el lado superior del sensor que se encuentra en un cuarto de instrumentación ubicado arriba de la cisterna, este conductor desciende hasta una tubería subterránea y avanza hasta el cuarto de control ubicado a

10m del cuarto de instrumentación, la tubería llega hasta el lado inferior del tablero de control por donde ingresa en el mismo hasta las borneras mencionadas.

Figura 45

Implementación del sensor de presión.



- **Sensor digital de nivel.**

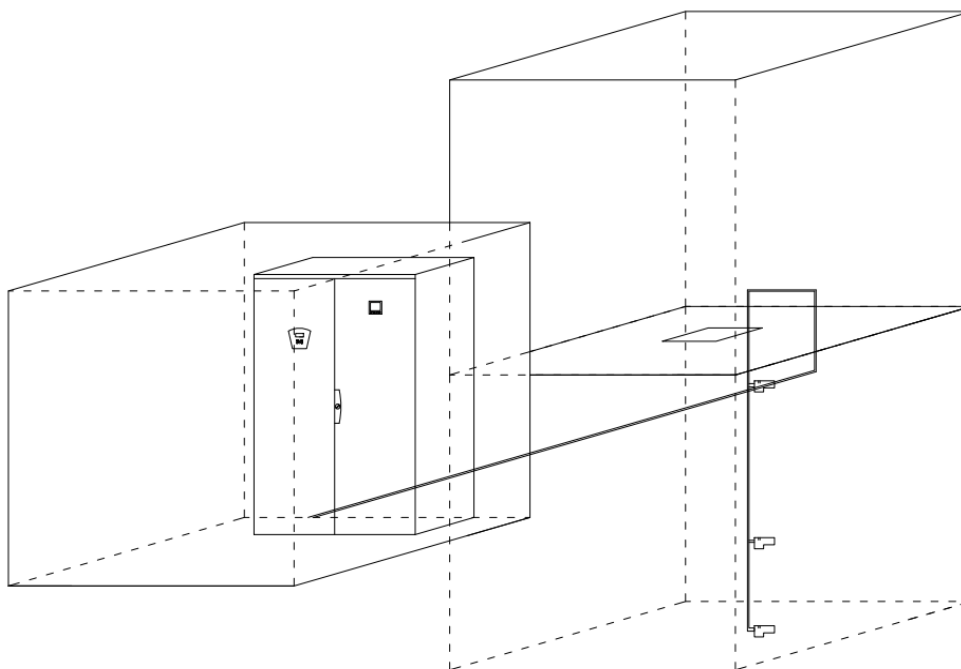
Para acoplar el sensor de nivel digital se utiliza 20m de conductor concéntrico de 3 hilos, la forma de conexión y envío de señales es igual a la conexión del Sensor de nivel digital de la subestación “Puerto Rico”.

Como el esquema de la forma del sensor de nivel digital se muestra en la **Figura 44**, en la **Figura 46** se muestra el esquema de implementación y conexión de este sensor en la subestación Amor y Paz, los electrodos de este sensor se sumergen en la cisterna de manera que emiten las señales correspondientes de forma precisa, estos se conectan mediante el conductor concéntrico el cual sale de la cisterna por la parte

superior, avanza por la pared y desciende hasta llegar a una tubería subterránea, dicha tubería se extiende hasta alcanzar la parte inferior del tablero de control, donde ingresa en el mismo hasta las borneras.

Figura 46

Implementación del sensor digital de nivel.



Sistema de Comunicación

Para la implementación del sistema de comunicación es necesario ubicar las antenas de comunicación en las zonas que se ha determinado mediante la simulación efectuada en el apartado **3.8.1**.

Con fin de explicar de manera general la implementación del sistema de comunicación, se expone la implementación de la antena ubicada en la subestación

Puerto Rico, donde fue necesario de un tubo galvanizado de 2m de altura, para poder adherir la antena, a su vez, aprovechando los 15m de elevación del tanque elevado, se procedió a ubicarla en el punto más alto. La instalación de la antena se realizó siguiendo las instrucciones de instalación proporcionadas por el manual de usuario de la misma, en el Anexo XII se puede observar las instrucciones de instalación paso a paso.

Para la orientación correcta se utilizó las herramientas de Google Earth y Radio Mobile previamente mencionadas en la sección **3.8.1**, donde se traza una línea recta entre las dos subestaciones que se puede utilizar de referencia para direccionar las antenas sin problemas.

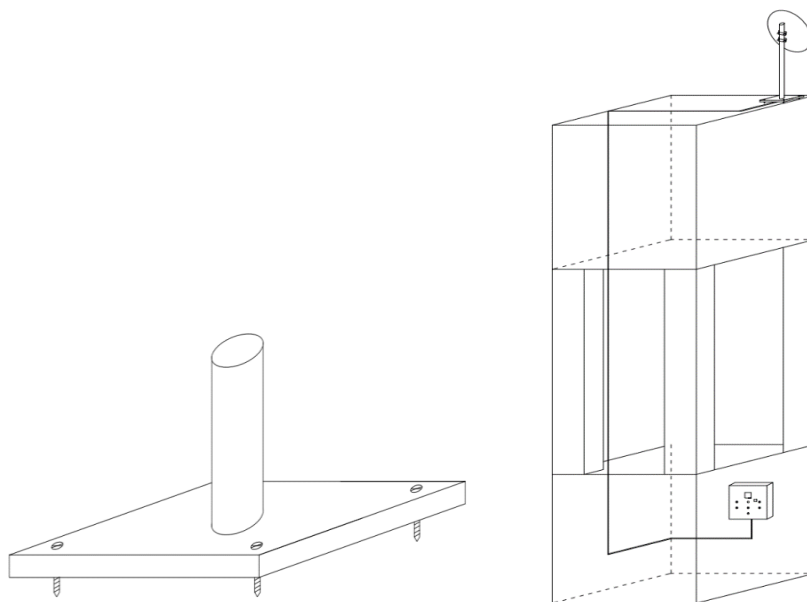
Las antenas se conectan a los radios y estos a su vez se comunican con el controlador mediante un conductor ethernet que va conectado hacia el tablero de control, en la misma línea de comunicación se instala un supresor de corriente como medida de protección contra corrientes parásitas. Este procedimiento se repite para las demás antenas, salvo el caso de la estación “Las Chozas”, donde el punto más elevado es de 30m.

En el lado izquierdo de la **Figura 47** se puede observar un esquema de la forma de una base donde se empotro un tubo galvanizado, esta base fue proporcionada por EMAPALA EP, el esquema de la forma de los radios de las antenas se pueden observar en el ANEXO VI, estos radios se encuentran en la parte posterior de cada antena, desde ahí se envían todas las señales recibidas por la antena hacia el controlador. Como se puede observar en la parte derecha de dicho gráfico, la antena fue instalada en la parte superior del tanque elevado, mediante un cable ethernet industrial que se conecta en la parte inferior del radio se envían las señales, esta cable baja por el tubo

hasta llegar al piso de donde se encuentra empotrado, se desplaza hacia un costado y desciende hasta el cuarto de control, ingresa por una de las paredes de dicho cuarto y avanza por la pared hasta alcanzar el tablero de control en el cual ingresa por el lado inferior hasta el controlador.

Figura 47

Implementación de antena en subestación Puerto Rico.



Sistema de Control

La implementación del sistema de control se ha dividido en dos partes: circuito de potencia y circuito de control. Las conexiones eléctricas de cómo está implementado el sistema se puede apreciar en el Anexo IV y ubicación de cada uno de los elementos que conforman el sistema, se puede apreciar en el Anexo X.

En la subestación “Puerto Rico”, el tablero de control se ubica en un cuarto de control ubicado 15m bajo el tanque elevado, empotrado en una de las paredes donde se reciben todas las señales de las variables involucradas, la ubicación del tablero en la

habitación se puede observar en la **Figura 43** y en la **Figura 47**, mientras que en la subestación “Amor y Paz”, el tablero de control se encuentra a una distancia aproximada de 12m del cuarto de bombeo e instrumentación, la ubicación del mismo se puede observar en la **Figura 45** y en la **Figura 46**.

Capítulo V

Puesta en Marcha

Generalidades

En este apartado hace referencia a las configuraciones previas de cada uno de los dispositivos que forman parte ya sea: sistema de control, sistema de supervisión y sistema de comunicación dentro del proyecto de titulación. Las configuraciones previas de los equipos son de gran importancia como trabajo previo para que el sistema comience a trabajar, ya que se modifica los parámetros que se han preestablecido en los apartados de ingeniería básica y a detalle. La integración del sistema de distribución de agua potable sector Puerto Rico se logra realizar mediante la compatibilidad de equipos de diferentes fabricantes, los cuales poseen software especial para la programación de sus dispositivos como se puede observar en la **Tabla 30**.

Tabla 30

Software para configuración de dispositivos.

Software	Descripción
AirOs TM	Este software permite la configuración de las antenas Roket M5 del fabricante Ubiquiti.
LOGO!Soft Comfort V8.2	Es el software que permite la programación de los controladores Logo V8 de la empresa Siemens
Vijeo Designer	Este software permite realizar el diseño de las pantallas HMI del fabricante Schneider Electric.

Configuración de Equipos

Sistema de Control

Como punto inicial se tiene la configuración de los controladores, los cuales se han seleccionado en el apartado anterior y por ello se debe trabajar con el software LOGO!Soft Comfort V8.2 de la compañía Siemens, donde se configura las direcciones IP correspondientes a cada uno de los equipos de forma manual para tener conexión con los mismos. Se toma en consideración que, la empresa cuenta con una red privada para el manejo de datos interno por lo que es necesario ajustar las direcciones IP de cada equipo a dicha red para no tener problemas de comunicación con el resto de dispositivos presentes. En la **Tabla 31** y en la **Figura 48** se puede apreciar las configuraciones de red para cada uno de los controladores involucrados en el proyecto.

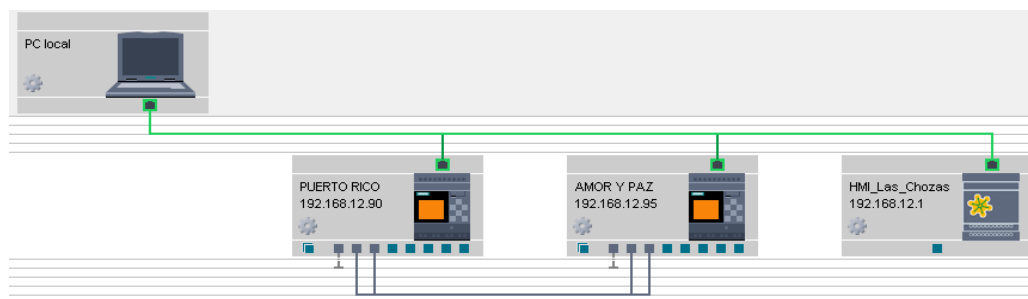
Tabla 31

Configuración de red para los controladores del sistema.

Subestación	IP Address	Netmask	Gateway IP
Amor y Paz	192.168.12.90	255.255.255.0	192.168.12.1
Puerto Rico	192.168.12.95	255.255.255.0	192.168.12.1

Figura 48

Sistema en red.

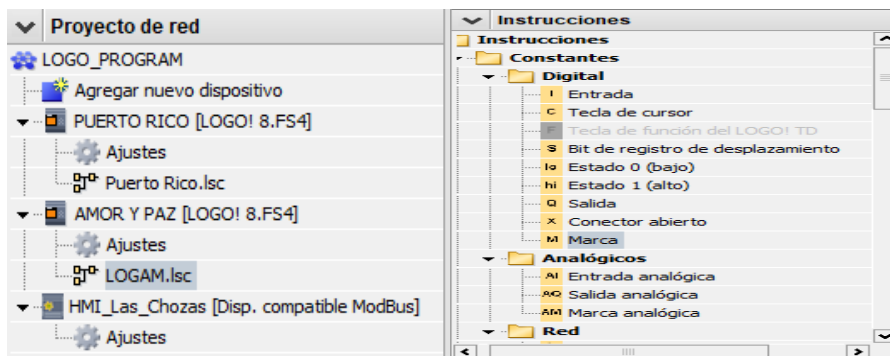


Una vez que se ha establecido las direcciones de los controladores, se procede a realizar un proyecto de red dentro del software LOGO!Soft Comfort V8.2 para que de esta forma se pueda desarrollar el programa basados en la lógica de control, tal como se ha mencionado en el apartado **3.9**.

LOGO!Soft Comfort V8.2 permite realizar la programación de los controladores LOGO mediante bloques de funciones lógicas básicas, funciones aritméticas, timers, etc. Dentro del software se puede realizar la lógica de funcionamiento del sistema agregando cada uno de los elementos que se encuentran en la lista de instrucciones dependiendo de su requerimiento, en la **Figura 49** se puede apreciar algunas de las instrucciones que contiene software de programación.

Figura 49

Lista de instrucciones de LOGO!Soft Comfort V8.2.



Una vez que se ha configurado y programado el controlador, se debe realizar la configuración de los variadores de frecuencia para poder realizar las acciones de control mediante el PLC LOGO!.

- **Subestación Amor y Paz, variador de frecuencia ABB ACS550.**

Mediante el manual de usuario del ACS550, mostrado en el Anexo XIII, se encuentran las instrucciones necesarias para efectuar la puesta en marcha mediante la

interfase de E/S del variador, además el ingreso de parámetros mediante un panel de control básico del mismo ACS550 para agregar las características de funcionamiento del motor de la bomba con la finalidad de garantizar el funcionamiento correcto del variador.

De igual manera, en el mismo Anexo XIII se encontrará los parámetros del grupo 10 y 14: Marcha/Paro/Dir y salidas de relé, dichos parámetros son necesarios para poder realizar el arranque del motor de la bomba de agua, los cuales son: grupo 10, comandos Ext1, para realizar acción marcha/paro del motor, salidas de relé SR1 y SR2 para monitoreo de funcionamiento o fallas del motor. En la **Figura 50** se puede observar algunos parámetros necesarios para la configuración del variador ABB AC550.

Una vez que se ha identificado los parámetros de configuración necesarios, se procede a identificar las entradas y salidas de señales de ACS550 para posterior conectarlas al controlador, en la **Figura 51** se puede apreciar un ejemplo de conexión del ACS550.

Figura 50

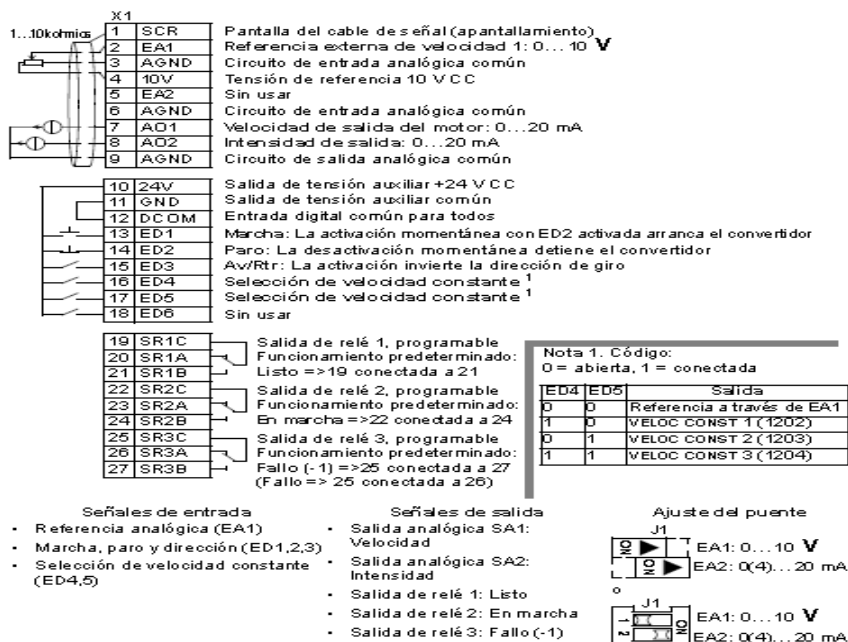
Grupos de parámetros del ACS550.

Grupo 10: MARCHA/PARO/DIR						
1001	COMANDOS EXT1	0... 14	1	2 (ED1,2)		✓
1002	COMANDOS EXT2	0... 14	1	0 (SIN SEL)		✓
1003	DIRECCIÓN	1 = AVANCE, 2 = RETROCESO, 3 = PETICION	1	3 (PETICION)		✓
1004	SEL LENTITUD	-6...6	1	0 (SIN SEL)		✓
Grupo 14: SALIDAS DE RELE						
1401	SALIDA RELÉ SR 1	0... 44, 46, 47, 52	1	1 (LISTO)		
1402	SALIDA RELÉ SR 2	0... 44, 46, 47, 52	1	2 (EN MARCHA)		
1403	SALIDA RELÉ SR 3	0... 44, 46, 47, 52	1	3 [FALLO(-1)]		
1404	RETAR ON SR 1	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1405	RETAR OFF SR 1	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1406	RETAR ON SR 2	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1407	RETAR OFF SR 2	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1408	RETAR ON SR 3	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1409	RETAR OFF SR 3	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1410	SALIDA RELE SR 4	0... 44, 46, 47, 52	1	0 (SIN SEL)		
1411	SALIDA RELE SR 5	0... 44, 46, 47, 52	1	0 (SIN SEL)		
1412	SALIDA RELÉ 6	0... 44, 46, 47, 52	1	0 (SIN SEL)		
1413	RETAR ON SR 4	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1414	RETAR OFF SR 4	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1415	RETAR ON SR 5	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1416	RETAR OFF SR 5	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1417	RETAR ON SR 6	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		
1418	RETAR OFF SR 6	0,0... 3600,0 s	0,1 s	0,0 s		

Nota: Obtenido de (ABB, Library.e.abb.com, 2020).

Figura 51

Ejemplo de conexión de E/S ACS550.



Nota: Obtenido de (ABB, Library.e.abb.com, 2020).

- Subestación Puerto Rico, variador ABB ACS150.

Mediante el manual de usuario del variador ACS150, mostrado en el Anexo XIV, se puede observar la lista de pasos a seguir para realizar la puesta en marcha con la ayuda de la interfase de E/S del ACS150, también se debe ingresar los parámetros de funcionamiento del motor de la bomba mediante un panel de control integrado en el ACS150.

De igual manera en el Anexo XIV, se encontrará con los parámetros del grupo 10 y 14: Marcha/Paro/Dir y salidas de relé, dichos parámetros son necesarios para poder realizar el arranque del motor de la bomba de agua, los cuales son: grupo 10, comando Ext1, para realizar acción marcha/paro del motor, salidas de relé SR1, para monitoreo de fallas del motor. En la **Figura 52** se puede observar dichos parámetros de configuración.

Figura 52

Grupos de parámetros del ACS150.

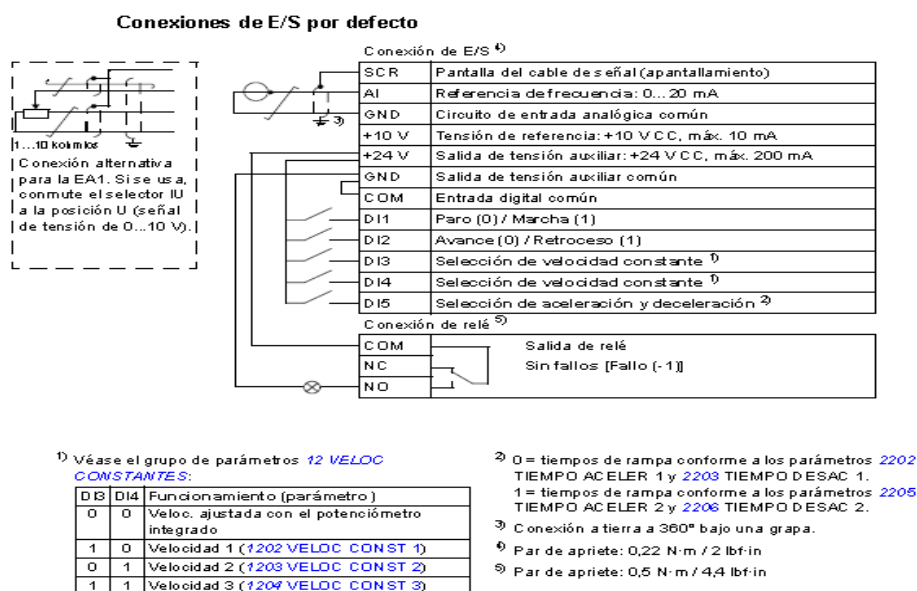
Parámetros en el modo de Parámetros Largo			
Índice	Nombre/Selección	Descripción	Def.
10 MARCHA/PARO/DIR			
Las fuentes para el control de marcha, paro y dirección.			
1001	COMANDOS EXT1	Define las conexiones y la fuente de las órdenes de marcha, paro y dirección para el lugar de control externo 1 (EXT1).	2 = ED1,2
	0 = SIN SEL	Sin fuente de la orden de marcha, paro y dirección.	
	1 = ED 1	Marcha y paro a través de la entrada digital ED1. 0 = paro, 1 = marcha. La dirección se fija según el parámetro 1003 DIRECCION (ajuste PETICION = AVANCE).	
14 SALIDAS DE RELE			
Información de estado indicada a través de las salidas de relé y las demoras de funcionamiento del relé.			
1401	SAUDA RELE SR1	Selecciona un estado del convertidor indicado a través de la salida de relé SR. El relé se excita cuando el estado coincide con el ajuste.	3 = FALLO (-1)
	0 = SIN SEL	No utilizado	
	1 = LISTO	Listo para funcionar: señal de permiso de marcha activada, sin fallos, tensión de alimentación dentro del intervalo aceptable y señal de paro de emergencia desactivada.	
	2 = EN MARCHA	En marcha: señal de marcha activada, señal de permiso de marcha activada, sin fallos activos.	
	3 = FALLO (-1)	Fallo inverso. El relé se desexcita en un disparo por fallo.	
	4 = FALLO	Fallo	

Nota: Obtenido de (ABB, Library.e.abb.com, 2020).

Ya identificado los parámetros de configuración, se procede a identificar las señales de entradas y salida del ACS150 para posteriormente conectarlas al controlador, en la **Figura 53** se puede apreciar un ejemplo de conexión del ACS150.

Figura 53

Grupos de parámetros del ACS150.



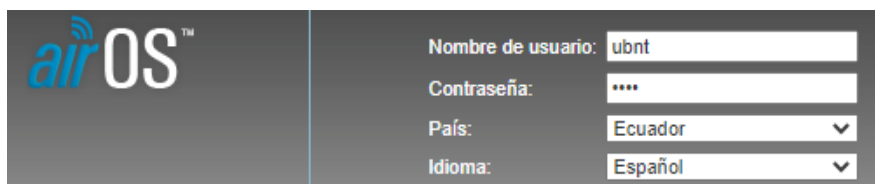
Nota: Obtenido de (ABB, Library.e.abb.com, 2020).

Sistema de Comunicación

Para la configuración de los radios de comunicación de las antenas, se utiliza el programa propio de la empresa llamado AirOs Rocket M5, para ingresar a la interfaz de configuración es necesario el nombre de usuario y la contraseña del dispositivo como se muestra en la **Figura 54**.

Figura 54

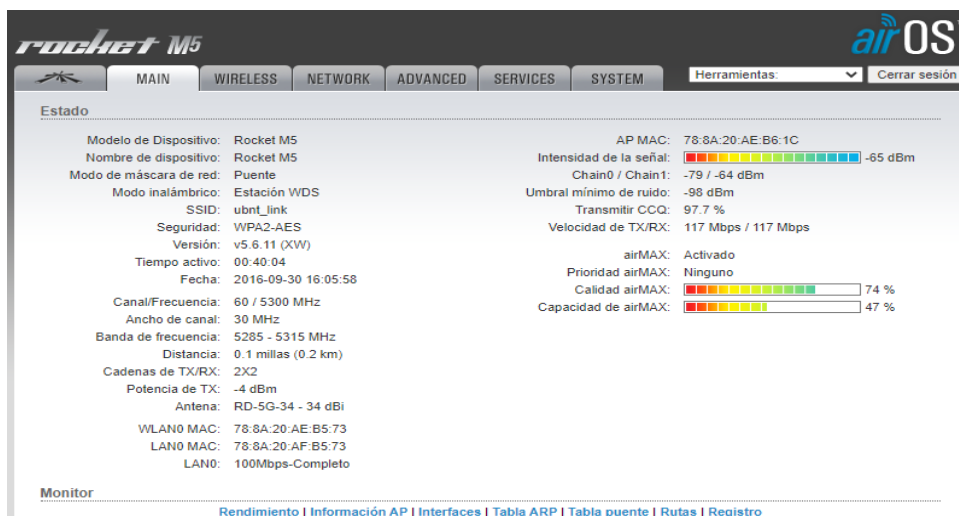
Inicio de AirOs Rocket M5.



Al ingresar en la pantalla principal, en la parte izquierda, se puede observar la configuración que posee el dispositivo, y en la parte derecha se observa el dispositivo al que se encuentra conectado y la intensidad de la señal del radio enlace, todo esto se muestra en la **Figura 55**.

Figura 55

Menú principal de AirOs Rocket M5.



Los parámetros en que fueron configuradas las conexiones de estas antenas se encuentran en **Tabla 5** y **Tabla 6**.

En la pantalla de Wireless se configura el tipo de conexión que se necesita en el dispositivo como: Modo de funcionamiento, nombre de la red, conexión a dirección mac, ancho del canal, tipo de antena, potencia de salida, tipo de seguridad, etc. Esto se muestra en la **Figura 56**.

Figura 56

Configuración inalámbrica mediante AirOs Rocket M5.

The screenshot shows the 'Configuración inalámbrica básica' page in the AirOS Rocket M5 web interface. The navigation tabs include MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The page is divided into several sections:

- Modo inalámbrico:** Set to 'Estación'.
- WDS (Modo puente transparente):** 'Activar' is checked.
- SSID:** 'ubnt_link'.
- Bloquear a AP:** '78:8A:20:AE:B6:1C'.
- Código del país:** 'Ecuador'.
- Modo IEEE 802.11:** 'A/N mezclado'.
- Ancho de canal:** '30 MHz'.
- Lista de frecuencias escaneadas, MHz:** 'Activar' is unchecked.
- Calcular límite EIRP:** 'Activar' is checked.
- Antena:** 'RD-SG-34 (2x2) - 34 dBi'.
- Potencia de salida:** '-4 dBm'.
- Módulo de velocidad de datos:** 'Predeterminado'.
- Índice TX máx., Mbps:** 'MCS 15 - 195/216.7'.
- Seguridad inalámbrica:** 'WPA2-AES' is selected.
- Autenticación WPA:** 'PSK'.
- Clave WPA compartida previamente:** '*****'.

Figura 57

Configuración de red mediante AirOs Rocket M5.

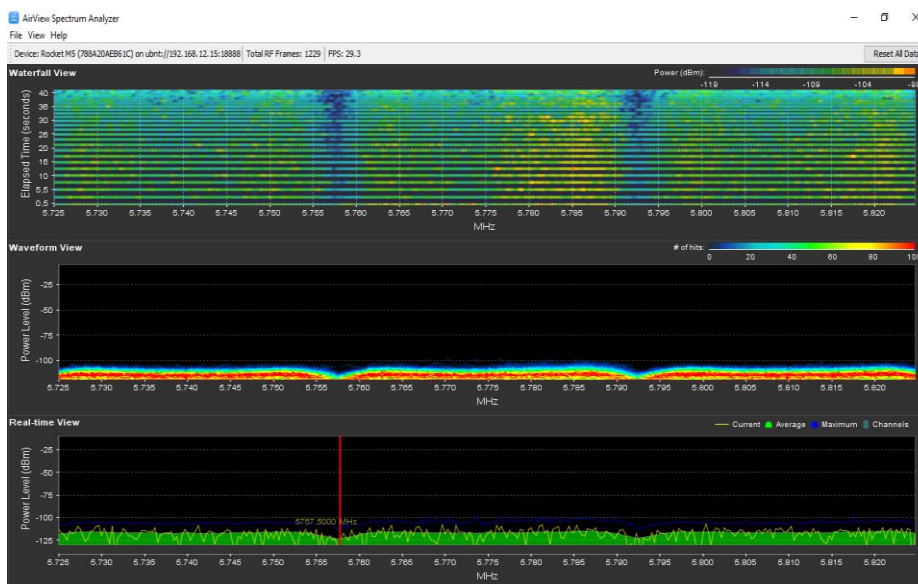
The screenshot shows the 'Función de red' page in the AirOS Rocket M5 web interface. The navigation tabs include MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED, SERVICES, and SYSTEM. The page is divided into several sections:

- Función de red:** 'Modo de máscara de red' is set to 'Puente'.
- Modo de configuración:** 'Simple' is selected.
- Gestión de ajustes de red:**
 - Gestión Dirección IP:** 'Estática' is selected.
 - Dirección IP:** '192.168.12.17'.
 - Máscara de red:** '255.255.255.0'.
 - IP de la puerta de enlace:** '192.168.12.1'.
 - IP de la DNS primaria:** (empty).
 - IP de la DNS secundaria:** (empty).
 - MTU:** '1500'.
 - Gestión VLAN:** 'Activar' is unchecked.
 - Sotapamiento automático de IP:** 'Activar' is checked.
 - STP:** 'Activar' is unchecked.

Finalmente se configura pantalla de Network, en la que se agregó la dirección IP, el tipo de conexión Wireless, la máscara de la red, la puerta de enlace, entre otros. Esto se muestra en la **Figura 57**.

Figura 58

AirView, herramienta de AirOs Rocket M5.



Para configurar un dispositivo en forma de punto de acceso existe y fue utilizada una herramienta que permite ver el espectro de las frecuencias alrededor del dispositivo, para saber si la frecuencia que se va a configurar se encuentra saturada o no, esta herramienta se llama AirView, y la misma se muestra en la **Figura 58**.

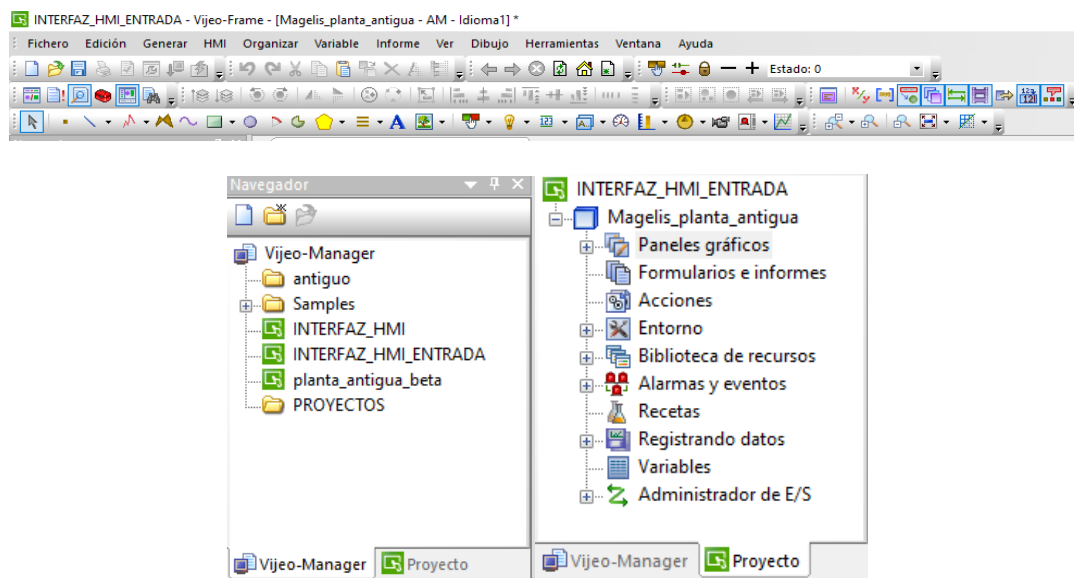
Sistema de Supervisión

Para realizar la creación de los paneles de operación y configurar parámetros operativos del HMI del sistema, se debe utilizar el software vijeo designer de Schneider Electric, donde en la parte superior del mismo se puede ver una extensa lista de herramientas que le permiten al diseñador agregar distintas funciones en el panel de

operador. A continuación, en la **Figura 59** se puede apreciar la lista de herramientas del software Vijeo Designer.

Figura 59

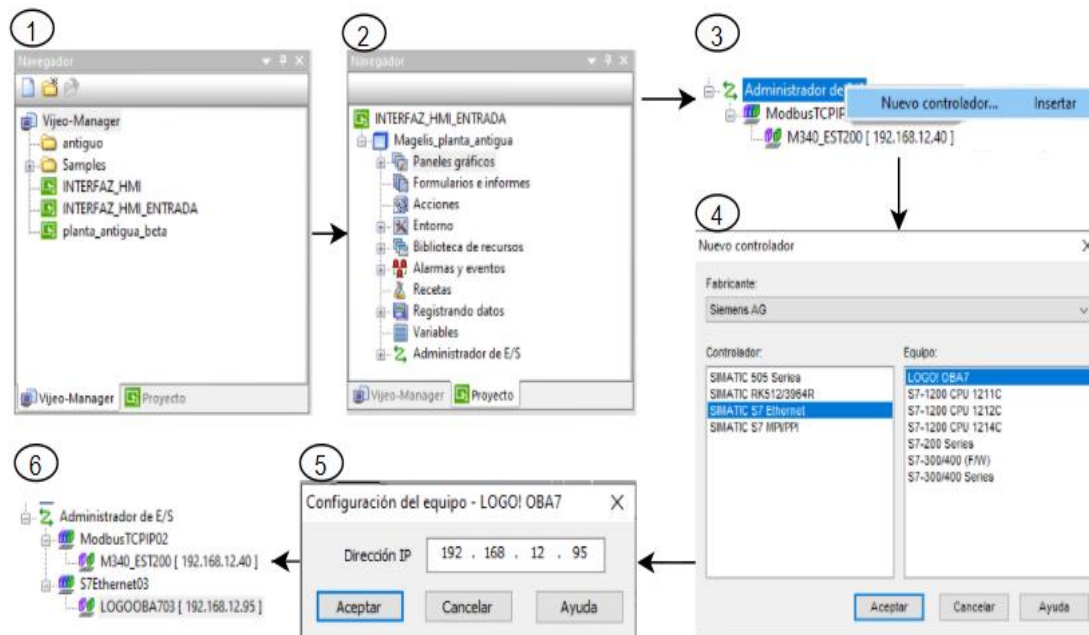
Herramientas de trabajo y panel de navegación del software Vijeo Designer.



Una vez que se ha identificado las herramientas y panel de navegación del software se procede a realizar la integración del controlador LOGO ubicado en la subestación Amor y Paz, para ello se debe ingresar en el navegador mostrado en la **Figura 59**, se debe seleccionar el archivo INTERFAZ_HMI_ENTRADA, el cual es el proyecto previo al trabajo de titulación y en base a este se desarrolló los paneles de operador establecidos en el apartado 4.1.4. Una vez abierto el archivo, clic derecho en **Administrador de E/S** y selecciona **Nuevo controlador**, en fabricante seleccione **Siemens AG**, en controlador seleccione **Simatic S7 Ethernet** y en equipo **LOGO! OBA7**, posterior se agrega la dirección IP del dispositivo establecida en el apartado 5.2.1. A continuación, en la **Figura 60** se puede visualizar los pasos para agregar el controlador al sistema de supervisión existente.

Figura 60

Pasos para agregar el controlador LOGO! al sistema de supervisión.



Una vez que se ha agregado el controlador, se procede a agregar las variables internas del mismo para el monitoreo y control remoto de las subestaciones Amor y Paz - Puerto Rico. A continuación, en la **Figura 61** se puede apreciar un ejemplo del procedimiento que se debe realizar para direccionar las variables internas del controlador desde el HMI.

El procedimiento de agregar variables externas del controlador se realiza con la finalidad de que el sistema de supervisión pueda acceder a los datos del controlador y de esta forma pueda mostrarlos al operador, cabe mencionar, previo al trabajo de titulación existía un sistema de supervisión con un modelo diferente al presentado en el apartado 4.1.4 y que se optó por agregarlo al nuevo sistema, manteniendo las características de funcionamiento del mismo.

Figura 61

Pasos para agregar las variables internas desde HMI al controlador LOGO.

Diagram illustrating the steps to add internal variables from HMI to the LOGO controller:

1. Open the 'Nueva variable' dialog.
2. Select 'Nuevo...' in the 'Magelis_planta_antigua - Editor de variables' window.
3. Configure the 'Nueva variable' dialog with 'EJEMPLO' as the name and 'LOGOOBA703' as the scan group.
4. Configure the 'LOGOOBA703' dialog with 'I' as the memory area and '0' as the bit.
5. The final variable table showing 'EJEMPLO' as a BOOL variable with an external origin and scan group 'LOGOOBA703'.

Nombre	Tipo de datos	Origen de datos	Grupo de escan...	Dirección de di...	Grupo de alarm...	Grupo de regist...
Ninguna variable cumple con L...	Nuevo...					

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de datos	Dimensión de matriz	Origen de datos	Compartiendo	Grupo de escaneo	Dirección Indirecta
EJEMPLO		BOOL	0	<input checked="" type="radio"/> Externo	<input type="radio"/> Ninguno	LOGOOBA703	<input type="checkbox"/>

29	EJEMPLO	BOOL	Externo	LOGOOBA703	0.0	Desactivado	Ninguno
----	---------	------	---------	------------	-----	-------------	---------

Capítulo VI

Pruebas y Resultados

Generalidades

En esta sección se hablará de las pruebas realizadas en campo para el correcto funcionamiento de los distintos elementos en el sistema y los resultados conseguidos en el mismo, también se tratará de los imprevistos obtenidos a lo largo de la implementación del sistema y la mejora que hubo en los mismos.

Pruebas

Para entender el correcto funcionamiento de las diferentes áreas del sistema se dividió las pruebas en los subsistemas principales como son:

Sistema de Control

Controlador

Para las pruebas del controlador se utilizó el simulador del programa Logo Soft, en el cual se implementaron los bloques necesarios para la lectura de los sensores, bloqueos, compuertas, temporizadores y comparadores. Con estos elementos se armó la lógica de control del sistema.

También se simuló la forma de red entre controladores y sus diferentes entradas y salidas de red para una comunicación directa entre las direcciones IP, en la **Figura 62** se tiene dos controladores de prueba y una computadora, mediante un switch, se generó la red de prueba y se simuló el sistema completo, conectando las entradas y

salidas del controlador se simularon los diferentes escenarios de entrada como el nivel del tanque, la confirmación de la bomba encendida, entre otras.

Figura 62

Pruebas de controladores.



Sensor de Nivel Digital

El sensor de nivel digital Sirius tiene 2 modos de funcionamiento, uno que envía una señal en nivel alto de agua hasta que se vacíe el tanque, y otro que envía una señal cuando el tanque está vacío hasta que se llene, captados por 3 electrodos sumergibles. Para la prueba de este sensor se utilizó una cubeta de agua para manipular los electrodos y verificar su funcionamiento mediante uno de los módulos de prueba antes mencionados, en la **Figura 63** se puede apreciar la manipulación de dicho sensor.

Figura 63

Pruebas del sensor de nivel.



Sensor de Nivel Analógico

Para la prueba del sensor, ya que envía señales de corriente de 4 a 20 mA, se lo conectó en serie al módulo de entradas analógicas del controlador y posteriormente a este controlador. Se sumergió el sensor a un tanque de agua de la planta y se analizó los cambios de corriente que hubo mientras se iba sumergiendo. La variable en bits que se mostró en la entrada analógica del controlador aumentó linealmente conforme el sensor se sumergió más, se concluyó que el sensor si respondía a cambios pequeños de nivel. El sensor cambia según la presión del agua sobre el mismo y con este dato y el volumen del tanque se pudo medir su cambio de variable lineal según se fue sumergiendo. En conclusión, cuando el tanque estuvo vacío, la lectura en bits del controlador fue de 202 y cuando estuvo lleno fue de 232.

Sensor de Presión

El sensor de presión, después de acoplarlo a una salida de agua con una válvula manual, se conectó en forma paralela a una de las entradas analógicas del controlador, este sensor envía una señal análoga de 0 a 10 VDC y se interpretó en el controlador de 0 a 1000 bits, esta señal estuvo en el intervalo de 0 a 150 PSI así que se multiplicó la entrada por 0.15 para configurar esta señal, el detalle de esta operación matemática se encuentra en el apartado **4.1.3**. Para probar esta señal se utilizó uno de los controladores de prueba y un manómetro analógico proporcionado por la empresa.

Variador de velocidad

Este elemento se conectó a la red eléctrica de 220 VAC y mediante el manual de configuración se seleccionó una de las salidas digitales simulando el encendido de la

bomba, así mismo, se varió la frecuencia de funcionamiento y el encendido remoto por entrada digital interconectando y configurando las diferentes entradas y salidas del variador.

Sistema de Comunicación

Para las pruebas del sistema de comunicación se utilizó el programa AirOs previamente mencionado en el apartado **5.2.2**, se colocó las antenas en 2 oficinas diferentes, pero con línea de vista y se generó una pequeña red de comunicación de datos la cual se configuró mediante el AirOs, en este caso no se tomó en cuenta el espectro de las señales ni el nivel de seguridad de las mismas ya que fue una prueba de oficina.

En el campo para la configuración de la red, además de aumentar la seguridad de la red, se tomó en cuenta el espectro de la red utilizando la herramienta AirView que viene incluida en el programa, esto se mencionó en el apartado **5.2.2**. Cuando las antenas finalmente se enlazaron, se probó el enlace mandando señales simples digitales desde un controlador a otro y enviando una señal Ping entre las mismas.

Sistema de Supervisión

Las pruebas para el sistema de adquisición se realizaron mediante el simulador del programa Vijeo Designer, el cual simuló las ventanas que van a estar funcionando en la pantalla touch, el computador se conectó a los controladores en forma de LAN o WLAN mediante IP. En un comienzo se realizó pruebas para controles de entradas y salidas digitales y analógicas desde el HMI hasta el controlador enlazándolos por un protocolo Modbus TCP/IP, poco a poco se hizo el diseño de las pantallas y sus

controles en el sistema. La explicación del uso de estas pantallas se detalló en el apartado 4.1.4. Cada botón en el HMI se enlazó a la dirección de su variable específica en el controlador.

Resultados

Los resultados de las pruebas realizadas en este capítulo aseguraron el completo funcionamiento del sistema. En este apartado se detalló las complicaciones que el sistema tuvo y la resolución que se dio a las mismas.

Sistema de Control

Controlador

Al inicio la forma de programación produjo problemas ya que esta era en forma de bloques, como era un programa muy rústico y antiguo no existen muchas funciones en bloques para todo lo que la empresa demandó, así que en cada subsistema de control se diseñó una red de compuertas y comparadores lógicos para cumplir a cabalidad con todos los requisitos pedidos por la empresa. Al final los controladores se quedaron encendidos y funcionando en modo de operación automática.

Figura 64

Controlador LOGO! en funcionamiento.



Sensor de Nivel Digital

Se tuvo problemas al implementar el sensor de nivel digital en la estación “Amor y Paz”, ya que la empresa tenía este sensor en funcionamiento, pero utilizó otra lógica de manejo del mismo, así que se tuvo que rediseñar y volver a conectar para que funcione correctamente basándose en el llenado del tanque y el punto de extracción de agua de la bomba. Al final el sensor funcionó correctamente, se limitó para que no pueda dañar la bomba y se llene hasta su punto más óptimo, lo mismo se hizo para la subestación “Puerto Rico”.

Sensor de Nivel Analógico

El sensor no dio ningún problema en el momento de implementarlo ya que, habiendo hecho pruebas y tomando en cuenta las variables en bits, se utilizó estos datos para interpretarlos desde el HMI a conveniencia. El sensor quedó sumergido en el tanque elevado de “Puerto Rico” y envió su señal en perfecto estado sin pérdidas de la misma. Se agregó límites predeterminados de nivel de llenado para generar las alarmas cuando esta suba demasiado o baje. Estos límites también pueden ser modificados a conveniencia desde el HMI si se desea.

Sensor de Presión

Al igual que el sensor de nivel analógico, este sensor no dio ningún problema más que su conexión a la tubería la cual era incompatible porque no se tuvo el mismo diámetro, esto se solucionó comprando un adaptador de $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$, al final se tomó la señal enviada desde el mismo en el controlador y se adaptó para su uso y visualización desde el HMI como en la pantalla Logo TD. Se agregó límites de presión

predeterminados para generar alarmas cuando fuera del rango establecido, estos límites pueden ser modificados a conveniencia desde el HMI en caso de cambiar las condiciones de operación de la bomba, en la **Figura 65** se puede constatar la ubicación y funcionamiento del sensor de presión implementado en el sistema.

Figura 65

Sensor de presión en funcionamiento.



Variador de velocidad

El variador de velocidad de Amor y Paz es un variador que va a tener una alta potencia, este siempre va a estar encendido y cuando se mandó la señal de arrancar la bomba, el mismo mandó energía hacia la bomba encendiéndola a 60 Hz, este variador quedó encendido y en perfecto funcionamiento.

El variador de Puerto Rico no era un variador de tanta potencia y funcionó a 2 fases, el mismo enciende una bomba de 2 HP, no siempre es encendida más que para casos de escasas de agua, el variador permanece apagado y solo se enciende cuando el controlador manda una señal de encendido, esta señal llega a una bobina la cual conecta las 2 fases del variador y una vez encendido el variador, enciende la bomba automáticamente, este variador quedó encendido y en perfecto funcionamiento.

Sistema de Comunicación

Para el sistema de comunicación se instaló cuatro antenas, una en Puerto Rico, dos en Amor y Paz y una en Las Chozas, las cuales quedaron comunicadas entre sí, el detalle de esta conexión se encuentra en el apartado **4.4.3** y **5.2.2**. La conexión entre las mismas quedó en funcionamiento y su tiempo de retardo era entre 1 y 4 ms sin pérdida de datos. Se implementó en el sistema de control una alarma para cuando ocurra una pérdida de conexión en entre los controladores el operador pueda informar a los técnicos correspondientes, en la **Figura 66** se puede observar una de las antenas instaladas en funcionamiento.

Figura 66

Antena Rocket M5 en funcionamiento.



Sistema de Supervisión

En el sistema de supervisión se implementó las pantallas realizadas en el apartado de diseño y de igual manera se adaptó la interfaz encontradas en el sistema previo al trabajo de titulación, en base a la norma ISA 101 como también las

consideraciones mencionadas por el personal técnico de la empresa, en la **Figura 67** se puede observar el sistema de supervisión en funcionamiento.

Figura 67

Implementación y operación del sistema SCADA.



Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se realizó un sistema de control automático para el llenado del tanque elevado de la subestación Puerto Rico, mediante la utilización de diversos dispositivos de instrumentación y control que permiten el monitoreo en tiempo real del nivel del tanque elevado.
- Mediante una lógica de programación se pudo especificar ciertos parámetros de nivel para el llenado del tanque, y, por otro lado, detener el bombeo de agua para evitar desperdicios y pérdidas.
- Se ha implementado sensores de nivel digitales para el conocimiento de la existencia de agua en las cisternas de cada subestación, de donde se bombea el líquido vital hacia el tanque elevado, gracias a esto se puede evitar que ingrese aire en la bomba y de esta forma reduzca su desempeño.
- Se instaló un sensor analógico de presión en la línea de salida de agua de la bomba de Amor y Paz para asegurar el arranque de la misma, ya que si esta llega a fallar el sensor enviará la presión de salida en tiempo real y mediante una lógica de programación se activa una alarma cuando exista una presión baja o una sobrepresión en dicha línea. En ese momento y por seguridad se desactiva la bomba.
- Se implementó un sistema jerárquico y bien distribuido de pantallas para el interfaz

Humano Máquina, y de esta manera poder monitorear las variables de interés como son: Nivel del tanque elevado, nivel de las cisternas en cada subestación, presión de agua de salida de la bomba de “Amor y Paz”, entre otros. Dicho monitoreo se ejecuta en tiempo real y de forma remota desde la estación principal “Las Chozas”.

- Se adaptó un sistema de telemetría mediante antenas de comunicación Wifi ubicadas en las torres de cada subestación, con el fin de tener una línea de vista directa entre dichas antenas y así evitar la pérdida de la potencia de transmisión de datos entre las subestaciones mencionadas.
- Se ha incluido un sistema de alarmas que se pueden visualizar en cada pantalla de Interfaz Humano Máquina, las cuales informan de manera inmediata los posibles fallos que puede tener el sistema como son: presión de agua, fallo de arranque de las bombas, nivel de agua de los tanques, entre otros.

Recomendaciones

- Se recomienda al personal técnico realizar un mantenimiento preventivo de los actuadores que se ven involucrados en el sistema cada cierto periodo de tiempo, para conservar las características de funcionamiento de los mismos.
- Incrementar la capacidad de almacenamiento como también el caudal de entrada de la cisterna en la subestación Amor y Paz, ya que, la misma no abastece para llenar el tanque elevado debido a que el consumo de la población en el sector Puerto Rico se ha incrementado en los últimos años.
- Verificar la intensidad de la señal del radio enlace realizado para sistema cada cierto periodo, ya que, las antenas fueron colocadas en un área donde la vegetación

puede crecer con el tiempo y que podría afectar en la transmisión de datos, o a su vez, las condiciones climáticas de la zona geográfica podrían afectar la intensidad de señal del radio enlace e inclusive hacer que estas se desconecten.

- Se recomienda al personal técnico revisar detenidamente el manual de usuario propuesto por el equipo de trabajo del proyecto de titulación, si en un futuro se desea realizar cambios en las configuraciones o extender el sistema como tal.

Referencias

ABB. (2015). *ABB Product Details* (ABB).

<https://new.abb.com/products/en/2CCF019034R0001/s803hv-k8-high-performance-mcb>

ABB. (2020). Library.e.abb.com. *ABB*.

https://library.e.abb.com/public/58e00a49211b690bc125786f00458cfb/ES_ACS150_UM_C_screen_res.pdf

Anónimo. (2010). EcuRed. *EcuRed*. https://www.ecured.cu/Red_en_%C3%A1rbol

Automation24. (2012). Siemens Logo. *Automationn*. <https://www.automation24.biz/siemens-logo-12-24-rce-6ed1052-1md08-0ba0>

B&H. (2020). Ubiquiti Networks. *B&H*. https://www.bhphotovideo.com/c/product/1110516-REG/ubiquiti_networks_rocketm5_us_rocketm5_5_ghz_2x2.html?gclid=CjwKCAjwydP5BRBREiwA-qrCGjkgp_tR1-hw0TqooqrDEX5NgxXAse2aKBTiulSeFUZfIJKotIQOu_hoCbqwQAvD_BwE

Ciateq. (2012). Sistema de control supervisorio para agua potable. *Ciateq*.

<https://www.ciateq.mx/es/agua/228-sis-control.html>

Cpinstruments. (2020). Ametek. *Ametek*. <https://cpinstruments.com/wp-content/uploads/2020/02/manual-hidrostatico-sst-slimline.pdf>

Edward, D. B. (2019). mplementación de la norma ISA 1011, sobre las HMI pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI. *SEMINARIO INTERNACIONAL*, 3.

Elías Iriarte. (2015). Telemetría. *Electro Industria*.

<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2495>

EMAPALA EP. (2014). Conoce más sobre EMAPALA. *EMAPALA EP*.

<https://emapala.gob.ec/nosotros/historia/>

EMAPSQ. (2020). Distribución de Agua. *EMAPSQ*. <https://www.aguaquito.gob.ec/sistema-de-distribucion/>

Gobierno Nacional de la Republica del Ecuador. (2013). *NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN NEC CAPÍTULO 15 INSTALACIONES ELECTROMECAÑICAS*.

Goncalves, E. (2016). *Sensores de Presión. Instrumentación y Control Industrial*.

Gonzales. (2002). *Fundamentos de Instrumentación*.

Google. (2020). Google Earth. *Google*.

Granollers, P. (2020). *Diseño Industrial DISEÑO DE PANTALLA MIP*.

https://www.academia.edu/5166745/Dise%C3%B1o_Industrial_DISE%C3%91O_DE_PANTALLA_MIPO_M%C3%A1ster_en_Interacci%C3%B3n_Persona_Ordenador

harvest. (2018). CS-PT1200 Series. *Harvest*. <http://www.harvestalarms.com/pdf/PT1200.pdf>

Ing. Adrián David Sandoya Unamuno. (2018). *Norma Ecuatoriana de Construcción Instalaciones Eléctricas*.

Ingeniería Extraordinaria. (2019). Información Detallada sobre el Protocolo Modbus.

Ingeniería Extraordinaria. <https://www.ni.com/es-cr/innovations/white-papers/14/the-modbus-protocol-in-depth.html>

INNERGY ELECTRIC. (2015). INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA (HUMAN MACHINE

INTERFACE). *Innergy*. <https://innergy-global.com/es/divisiones/innergy-electric/soluciones/software/hmi>

Itaca. (2014). *Abastecimiento de agua potable por gravedad con tratamiento*.

<https://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%20%20Gravedad/Manual%20Abastecimiento%20Agua%20Potable%20por%20gravedad%20con%20tratamiento.pdf>

Lacroix. (2016). *Soluciones para gestionar y optimizar el funcionamiento de las estaciones de*

bombeo. <https://www.lacroix-sofrel.es/aplicaciones/gestion-agua/soluciones-produccion-agua-potable/captacion-sondeo-bombeo/>

lyonnaise-des-eaux. (2006). Vigilancia y gestión de una estación de bombeo de aguas

residuales: la forma más sencilla, económica y flexible. *Lyonnaise-Des-Eaux*.

<https://www.prelectronics.com/es/about-pr/why-pr/case-lyonnaise-des-eaux/>

Mayur Gandhi. (2020). Sistemas de Control. *AUTYCOM*. [https://www.autycom.com/que-es-](https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control)

[un-sistema-de-control](https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control)

Mayur Ghandi. (2020). Redes Industriales. *Autycom*. [https://www.autycom.com/que-son-redes-](https://www.autycom.com/que-son-redes-industriales/)

[industriales/](https://www.autycom.com/que-son-redes-industriales/)

Naciones Unidas. (2020). Agua. *Naciones Unidas*.

NEC. (2018). Instalaciones Quito. *MIDUVI*.

OMEGA TM. (2020). Sensor de Nivel. *Omega TM*. <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>

Organización Mundial de la Salud. (2020). Guías para la calidad del agua potable, tercera edición: Volumen 1 - Recomendaciones. *OMS*.

https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gdwq3/es/

Pedro Ruesca. (2016). Telemetría. *Radio Comunicaciones*.

<http://www.radiocomunicaciones.net/radio/telemetria/>

Roberto García. (2020). Elementos de Control y Maniobra. *Ingeniero Marino*.

<https://ingenieromarino.com/electricidad-elementos-de-control-y-maniobra>

Rodríguez Fernández, J. (2014). Automatismos Industriales. *Parainfo*.

Sánchez, A. M. (2019). Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos. *InTech México Automatización*.

Sandoval, L. F. (2013). Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México. *ISSN*.

Schneider Electric. (2005). *Vijeo-Designer Tutorial 35007041_01 Enero 2005 spa*.

Schneider Electric. (2015). Harmony GTO_HMIGTO5310. *Schneider Electric*.

<https://www.se.com/ww/en/product/HMIGTO5310/advanced-touchscreen-panel-640-x-480-pixels-vga--10.4%22-tft---96-mb/>

Siemens. (2012). Catálogo 5SL3204-7MB. *Siemens*.

<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ar/Catalog/Product/5SL3204-7MB>

Sierra, J. C., Romero, D., Universidad, L., de Bolívar, T., De, F., Eléctrica, I., & Electrónica, Y.

(2011). *TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS P&ID*.

<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062398.pdf>

Terán, J. M. (2013). Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado

Sanitario. *Universidad Veracruzana*.

Vallejo, H. D. (2006). Controladores Lógicos Programables. *Quark*.

Villajulca, J. C. (2019). Control ON OFF. *Instrumentación*.

<https://instrumentacionycontrol.net/control-on-off-o-todo-nada/>

Villarreal, C. R. (2007). Controladores Lógicos Programables. *Mailxmail*.

Zenon, R. (2015). HMI. *Copadata*. [https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-](https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualization-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data)

[platform/visualization-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data](https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualization-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data)

ANEXOS