



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE  
PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO.**

**Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico**

**Autores:**

CHICAIZA RIOFRIO ALEX HERNAN

TRONCOSO TOCA JHONATAN DAVID

**Tutor Académico:**

Ing. LEÓN SEGOVIA MARCO ANÍBAL M. Sc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2022-2023**



## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Nosotros **CHICAIZA RIOFRIO ALEX HERNAN** y **TONCOSO TOCA JHONATAN DAVID** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO**”, siendo el Ing. **LEÓN SEGOVIA MARCO ANÍBAL** el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

**Chicaiza Riofrio Alex Hernan**

**C.C. 175114813-9**

**Troncoso Toca Jhonatan David**

**C.C. 050368597-6**



## AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad del Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO”, de CHICAIZA RIOFRIO ALEX HERNAN y TONCOSO TOCA JHONATAN DAVID**, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos–técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero 2023

El Tutor

**Tutor**

Ing. León Segovia Marco Anibal M. Sc.  
C.C. 0502305402



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **CHICAIZA RIOFRIO ALEX HERNAN** y **TRONCOSO TOCA JHONATAN DAVID** con el título de Proyecto de titulación: “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero 2023

Para constancia firman:

**Lector 1 (presidente)**

Ing Salazar Achig Edgar Roberto M. Sc.  
CC: 0502847619

**Lector 2**

Ing Xavier Alfonso Proaño Maldonado M. Sc.  
CC: 050265642-4

**Lector 3**

Ing Corrales Bastidas Byron Paul M. Sc.  
CC: 0502347768



## AGRADECIMIENTO

*Agradezco a mi madre María Riofrio, a mis suegros Néstor Altamirano y Cecilia Acurio y a mi pareja Joselyn Altamirano por todo el apoyo moral y económico que me han brindado durante todos estos años.*

*De igual manera agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias de la ingeniería y Aplicadas, y a los docentes por brindarme sus valiosos conocimientos que me hicieron crecer cada día como un mejor profesional.*

*Finalmente, agradezco a mi tutor de tesis, Ing. Marco León y a mi compañero Jhonatan Troncoso con quienes se emprendió este proyecto y gracias a sus consejos, paciencia y conocimiento pudimos culminarlo.*

***Alex Chicaiza***



## AGRADECIMIENTO

*Quiero agradecer en primera instancia a Dios por darme una segunda oportunidad de vivir y a mi madre Rosa Troncoso que durante su estadía junto a mí y a mis hermanos cuido y velo por nuestro bienestar (q. e. p. d.).*

*Agradecer a mi familia quienes me apoyaron a cumplir mis objetivos mediante su confianza en mí, su apoyo económico y moral. En especial a mis hermanos, nunca me dejaron solo y lo más valiosos es poder gozar de su compañía.*

*A mis compañeros, con quienes conviví en esta trayectoria de formación profesional, en especial a mi compañero Alex Chicaiza, con quien formé el equipo de trabajo para llevar a cabo este proyecto.*

*También, agradecer a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, y a los docentes quienes transmitieron sus valiosos conocimientos permitiéndome crecer profesionalmente. En especial a mi tutor de tesis, Ing. Marco León por su apoyo en este proyecto.*

*A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.*

***Jhonatan Troncoso***



## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mi pareja Joselyn Altamirano, mis hijos Alejandro y Nora Chicaiza. Por acompañarme en mi proceso educativo y brindarme su apoyo incondicional día a día durante todos estos años.*

*A mis suegros Néstor Y Cecilia por brindarme el apoyo incondicional en la parte moral y económica durante toda la estancia académica.*

*A mis docentes por brindarme la sabiduría necesaria para afrontar los problemas tanto de mi carrera como de la vida.*

*A todos ellos que creyeron y creen en mí.*

***Alex Chicaiza***



## DEDICATORIA

*Sin desmerecer a nadie, enlistar a todas y cada una de las personas quienes me apoyaron y confiaron en mi sería interminable...*

*Sin embargo, la materialización de este trabajo es el fruto del apoyo incondicional de mis hermanos Lourdes, Byron, Marcia, Hernan y Luis que junto con mis Tíos Fernando y Amelia; y primos Marco, Fernando y Diana han sido mi fortaleza y mi apoyo.*

*A mis hermanos que cumplieron un rol de padre y madre. Me dieron un valioso regalo, la oportunidad de estudiar y prepararme para la vida. Estaré eternamente agradecido, nunca me falten.*

*Este proyecto está dedicado para todos ustedes.*

***Jhonatan Troncoso***



## ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA .....	i
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN .....	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN .....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. EL PROBLEMA .....	3
2.1.1. Situación Problemática.....	3
2.1.2. Formulación del Problema .....	4
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN .....	4
2.3. BENEFICIARIOS .....	4
2.3.1. Beneficiarios directos .....	4
2.3.2. Beneficiarios indirectos .....	4
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	4
2.5. HIPÓTESIS .....	5
2.6. OBJETIVOS .....	5
2.6.1. Objetivo General .....	5
2.6.2. Objetivos Específicos .....	5
2.7. SISTEMA DE TAREAS.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	8
3.1. ANTECEDENTES.....	8
3.2. ATOMATIZACIÓN INDUSTRIAL .....	9
3.2.1. Automatización Industrial .....	9
3.2.2. Tendencias actuales de la automatización industrial.....	9
3.2.3. Aplicación de la automatización para un sistema de trabajo.....	10
3.2.4. Ventajas y Desventajas de automatización industrial.....	11
3.2.4.1. Ventajas de la automatización industrial [6].....	11



3.2.4.2. Desventajas de la automatización industrial [6] .....	11
3.3. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL .....	12
3.4. ELEMENTOS PARA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO .....	16
3.4.1. Centros de bombeo .....	16
3.4.1.1. Elementos de los centros de bombeo .....	16
3.4.1.2. Cuartos de control .....	17
3.4.1.3. Tanques reservorios .....	17
3.4.1.4. Sistemas de bombeo .....	18
3.4.1.5. Sensores de nivel .....	18
3.5. INSTRUMENTACIÓN .....	22
3.6. REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL .....	24
3.6.1. Funciones de la comunicación industrial .....	24
3.6.2. Protocolos de comunicación industrial .....	26
3.6.3. Protocolos de comunicación en la industrial .....	26
3.7. MEDIOS DE COMUNICACIÓN .....	28
3.7.1. Cable UTP .....	28
3.7.1.1. Mapa de cableado .....	29
3.7.1.2. Longitud de enlace .....	29
3.7.1.3. Atenuación .....	30
3.7.2. Fibra óptica .....	31
3.7.3. Radio enlace .....	32
3.8. FILTROS PARA LAS ATENUACIONES .....	33
3.8.1. Filtros paso de baja .....	33
3.8.2. Filtros paso de alta .....	34
3.8.3. Filtros paso de banda .....	35
3.8.4. Filtros rechazo de banda .....	35
3.9. TOPOLOGÍAS DE RED INDUSTRIAL .....	36
3.10. ESQUEMAS INDUSTRIALES .....	39
3.10.1. Esquemas eléctricos .....	39
3.10.1.1. Tipos de esquemas eléctricos .....	39
3.10.2. Esquemas P&ID .....	43
3.11. LISTADO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN .....	44



3.11.1. Sensor de presión hidrostático de nivel .....	44
3.11.2. Bomba sumergible de agua .....	46
3.11.3. Siemens Simatic HMI KTP700 Basic .....	46
3.11.4. Fuentes de voltaje AC/DC 24Vdc .....	47
3.11.5. Variador de frecuencia de 7.5HP.....	48
3.11.6. LOGO! V8.3 12/24 RCE .....	49
3.11.7. Protecciones.....	50
3.11.8. Antenas de radio enlace MikroTik .....	51
3.11.9. Switch de Ethernet y cables de red con conector RJ45 .....	52
3.11.10. Selectores, pulsadores y luces piloto .....	53
3.11.11. Gabinetes de control .....	53
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	55
4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN .....	55
4.1.1. Método bibliográfico .....	55
4.1.2. Método de campo .....	55
4.1.3. Método de aplicación .....	55
4.1.4. Desarrollo del proyecto .....	56
4.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	56
4.2.1. Técnicas de instrumentos para recolectar información .....	56
4.2.2. Técnicas para el procedimiento y análisis de datos.....	57
4.2.3. Visita técnica al Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito .....	57
4.2.3.1. Información general .....	57
4.2.4. Diagnóstico de la visita .....	58
4.2.4.1. Sistema de control.....	58
4.2.4.2. Alimentación del motor .....	59
4.2.4.3. Distancia entre el centro de bombeo y el tanque de recepción .....	60
4.3. PROPUESTA DE AUTOMATIACIÓN PARA EL SISTEMA DE BOMBEO .....	61
4.3.1. Metodología de la lógica de programación .....	61
4.3.1.1. Diagrama de flujo del sistema de automatización .....	71
4.3.1.2. Interpretación del sistema de automatización .....	72
4.3.2. Metodología de escalamiento de señal analógica en LOGO!.....	73
4.3.2.1. Escalamiento de señales analógicas.....	75
4.3.3. Metodología del diseño y configuración de panel de operador HMI .....	81



4.3.3.1. Operación del sistema, panel de operador HMI .....	83
4.3.4. Metodología de la configuración de antenas de radio enlace .....	88
4.4. ASIGNACIÓN DE IP .....	93
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	94
5.1. DIAGRAMA P&ID DEL BANCO DE PRUEBAS .....	94
5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS .....	95
5.2.1. Análisis de los parámetros de los prototipos propuestos .....	95
5.2.2. Prototipos propuestos .....	95
5.2.2.1. Prototipo 1: Conexión directa entre LOGO! y sensor de nivel.....	95
5.2.2.2. Prototipo 2: Diseño de un proyecto de red con dos LOGO!.....	98
5.2.2.3. Comunicación por medio de cable UTP .....	98
5.2.2.4. Comunicación por medio de fibra óptica.....	99
5.2.2.5. Prototipo 3: Diseño de un proyecto de red con dos LOGO! comunicación por medio de radio enlace.....	101
5.2.3. Comparación de resultados.....	102
5.2.4. Pruebas de los sensores utilizados en los prototipos .....	104
5.2.4.1. Sensor ultrasónico.....	104
5.2.4.2. Sensor de presión sumergible o hidrostático .....	104
5.2.5. Análisis de costos .....	104
5.2.5.1. Beneficio y viabilidad del proyecto .....	105
5.2.5.2. Recuperación de la inversión.....	107
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	109
6.1. CONCLUSIONES .....	109
6.2. RECOMENDACIONES .....	110
7. REFERENCIAS.....	111
ANEXOS .....	118



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Características mecánicas y ambientales de la fibra .....	32
Tabla 3.2. Normas electrotécnicas para el diseño eléctrico .....	39
Tabla 3.3. Descripción del sensor ultrasónico .....	45
Tabla 3.4. Descripción del sensor de presión diferencial .....	45
Tabla 4.1. Bloques de programación usados en el LOGO! Esclavo.....	63
Tabla 4.2. Bloques utilizados en el LOGO! Maestro y Esclavo.....	64
Tabla 4.3. Tabla de direcciones usadas en el LOGO! Maestro. ....	68
Tabla 4.4. Tabla de direcciones usadas para la comunicación entre LOGO! y HMI. ....	69
Tabla 4.5. Tabla de direcciones usadas en el LOGO! Esclavo.....	71
Tabla 4.6. Correspondencia de magnitudes eléctricas. ....	76
Tabla 4.7. Direcciones IP asignadas. ....	93
Tabla 5.1. Costo total del prototipo 1. ....	97
Tabla 5.2. Costo total del prototipo 2, comunicación por cable UTP.....	99
Tabla 5.3. Costo total del prototipo 2, comunicación por fibra óptica. ....	100
Tabla 5.4. Costo total del prototipo 3. ....	101
Tabla 5.5. Parámetros de los tipos de comunicación. ....	102
Tabla 5.6. Comparación de inversiones y velocidades de transmisión de datos. ....	102
Tabla 5.7. Comparación entre el costo propuesto y los costos dichos por el recinto. ....	105
Tabla 5.8. Comparación entre costo real de los equipos y costo propuesto. ....	105
Tabla 5.9. Flujos en los periodos de tiempo de estudio. ....	106
Tabla 5.10. VAN y TIR con un periodo de 2 años. ....	107
Tabla 5.11. VAN y TIR con un periodo de un año.....	107
Tabla 5.12. Determinación del flujo de caja acumulado. ....	108
Tabla 5.13. Recuperación de la inversión en el mes y día.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Sistemas de control de lazo abierto .....	13
Figura 3.2. Sistema de control de lazo cerrado .....	14
Figura 3.3. Función de transferencia. ....	15
Figura 3.4. Tanque de recepción de 40m <sup>3</sup> , Recinto Santa Marianita. ....	17
Figura 3.5. Sensor de nivel ultrasónico.....	19
Figura 3.6. Sensor de nivel tipo radar .....	19
Figura 3.7. Sensor de nivel por vibración.....	20
Figura 3.8. Sensor de nivel de sonda capacitiva .....	21
Figura 3.9. Sensor de nivel por presión .....	21
Figura 3.10. Sensor de nivel tipo boya o flotador.....	22
Figura 3.11. Tratamiento de señal analógica .....	23
Figura 3.12. Tipos de señales.....	23
Figura 3.13. Niveles de comunicación en la industrial.....	24
Figura 3.14. Infraestructura típica de comunicación industrial. ....	26
Figura 3.15. Modelo de configuración de enlace.....	28
Figura 3.16. Ejemplos de errores de cableado en cables UTP/STP.....	29
Figura 3.17. Función LP de segundo orden: (a) Atenuación; (b) Posición de polos y ceros en el planos .....	33
Figura 3.18. Filtro HP de 2 orden: (a) Atenuación; (b) Posición de polos y ceros en el plano. ....	34
Figura 3.19. Especificaciones típicas de filtro paso de banda .....	35
Figura 3.20. Especificaciones de filtro rechazo de banda.....	36
Figura 3.21. Topología de red punto a punto.....	37
Figura 3.22. Topología de bus .....	37
Figura 3.23. Topología en estrell .....	38
Figura 3.24. Topología de árbol.....	38
Figura 3.25. Ejemplo de un esquema eléctrico explicativo. ....	40
Figura 3.26. Ejemplo de un esquema eléctrico topográfico. ....	40
Figura 3.27. Ejemplo de un esquema eléctrico funcional.....	41
Figura 3.28. Ejemplo de un esquema eléctrico de conexión .....	42
Figura 3.29. Ejemplo de un esquema eléctrico unifilar .....	42
Figura 3.30. Ejemplo de un esquema eléctrico multifilar.....	43



Figura 3.31. Ejemplo de un esquema P&ID para un sistema de bombeo.....	44
Figura 3.32. Sensor de presión diferencial para nivel de agua TL-136.....	44
Figura 3.33. Motor de 5HP de bomba sumergible Franklin Electric.....	46
Figura 3.34. HMI Siemens Simatic KTP700 Basic.....	47
Figura 3.35. Fuente de voltaje AC/DC .....	47
Figura 3.36. Variador de frecuencia bifásico Relkom de 7.5HP .....	48
Figura 3.37. LOGO! 12/24 RCE.....	50
Figura 3.38. Protecciones del sistema control y potencia.....	51
Figura 3.39. Antena de radio enlace, MikroTik LHG5. ....	52
Figura 3.40. Switch industrial.....	53
Figura 3.41. Selectores, pulsadores y luces piloto.....	53
Figura 3.42. Gabinete de control .....	54
Figura 4.1. Vista satelital, Recinto Sta. Marianita.....	57
Figura 4.2. Arreglo de condensadores. ....	59
Figura 4.3. Trayectoria lineal.....	60
Figura 4.4. Trayectoria por segmentos lineales. ....	61
Figura 4.5. Proyecto de red en el software Logo!Soft Comfort V8.3.....	62
Figura 4.6. Diagrama de flujo del sistema automatizado.....	72
Figura 4.7. Selección del tipo de señal que emite el sensor.....	74
Figura 4.8. Configuración del bloque de programación B006.....	74
Figura 4.9. Conexión de un sensor de 2 hilos .....	75
Figura 4.10. Recta para escalamiento de la señal de 4mA-20mA.....	78
Figura 4.11. Configuración del escalamiento de 4mA-20mA en el bloque B017.....	80
Figura 4.12. Distribución de las pantallas del panel de operador HMI. ....	82
Figura 4.13. Pantalla de control, modos de operación.....	83
Figura 4.14. Pantalla de configuración de límites de llenado y vaciado.....	84
Figura 4.15. Diagrama de bloques del sistema de control.....	85
Figura 4.16. Control On - Off con histéresis. ....	85
Figura 4.17. Levas de operación.....	86
Figura 4.18. Pantalla de monitoreo del nivel de agua.....	87
Figura 4.19. Diagrama de bloques del control manual. ....	87
Figura 4.20. Control On- Off del sistema manual. ....	88
Figura 4.21. Interfaz del software Winbox. ....	89



Figura 4.22. Perfil de elevación en [m s.n.m] en el punto del centro de bombeo.....	90
Figura 4.23. Perfil de elevación en [m s.n.m] en el punto del tanque de recepción. ....	90
Figura 4.24. Pico de elevación de 1m. ....	91
Figura 4.25. Perfil de elevación general. ....	91
Figura 5.1. Diagrama P&ID del banco de pruebas de. ....	94
Figura 5.2. Conexión directa LOGO! - Sensor. ....	96
Figura 5.3. Prototipo 2 utilización de dos LOGO!. LOGO! maestro y esclavo. ....	98
Figura 5.4. Comunicación del sistema por medio de cable UTP.....	98



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**TEMA: “AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO”**

**Autores:**

Chicaiza Riofrio Alex Hernán

Troncoso Toca Jhonatan David

**Tutor:**

Ing. León Segovia Marco Aníbal M.Sc.

**RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un sistema automatizado de bombeo de agua potable tomando como caso de estudio al Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito. El Recinto Santa Marianita carece de un sistema de control para el sistema de potencia y el monitoreo del nivel de agua en el tanque de recepción de  $40m^3$ . Se realizó la visita insitu para el levantamiento de información y en función de aquello proponer un prototipo que cubra las necesidades del lugar, la toma de agua para el bombeo hacia el tanque de recepción se encuentra separados a  $239m$  y la extracción de agua es desde un pozo a  $106m$  de profundidad mediante una bomba de agua sumergible de 5HP.

Como solución se presenta el desarrollo de tecnología para el proceso de automatización con el uso de sensores, actuadores, comunicación por radioenlace, interfaz de usuario para control y monitoreo. El proyecto consta de tres etapas, la primera da lugar a la visita insitu, descrita al inicio. La segunda etapa detalla el desarrollo de la lógica de control y los equipos a utilizar para dar cumplimiento con el objetivo del proyecto. En la última etapa se prueba el funcionamiento mediante un prototipo basado en un banco de pruebas denominado “Estación de Bombeo de Agua a presión Constante” que se encuentra en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Para ello se parametrizó un variador de frecuencia, dos LOGO!, un sensor de presión diferencial, el diseño de una interfaz HMI, dos antenas de radio enlace. Para la adquisición de las variables analógicas del sensor de presión diferencial se presentó tres modelos: el primer modelo presenta la comunicación directa el sensor de presión diferencial y un LOGO!, el segundo modelo contempla el uso de dos LOGO! y la comunicación por fibra óptica y el tercer modelo presenta el uso de dos LOGO! y la comunicación por radioenlace. En Puerto Quito no se presenta la logística adecuada para el tendido de red área y por costos, por lo tanto, se indica que el tercer modelo de comunicación es el más adecuado ya que permite una comunicación punto a punto entre las dos antenas.

**Palabras Clave:** LOGO!, nivel, sensores, variador de frecuencia, bomba sumergible, radioenlace, bombeo de agua, monitoreo.



## COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

### FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**Title:** "AUTOMATION OF THE DRINKING WATER PUMPING SYSTEM FOR THE SANTA MARIANITA ENCLOSURE OF THE PUERTO QUITO CANTON"

**Authors:**

Chicaiza Riofrio Alex Hernan

Troncoso Toca Jhonatan David

**Tutor:**

Ing. León Segovia Marco Aníbal M.Sc.

### ABSTRACT

The objective of this project is to develop an automated drinking water pumping system taking as a case study the Santa Marianita Enclosure of the Puerto Quito Canton. The Santa Marianita Enclosure lacks a control system for the power system and water level monitoring in the  $40m^3$  reservoir tank. The insitu visit was made for the collection of information and depending on what to propose a prototype that meets the needs of the place, the water intake for pumping into the reservoir tank is separated at  $239m$  and the water extraction is from a well at  $106m$  depth by a submersible water pump of 5HP.

The solution is the development of technology for the automation process with the use of sensors, actuators, radio link communication, user interface for control and monitoring. The project consists of three stages, the first one giving rise to the insitu visit, described at the beginning. The second stage details the development of the control logic and the equipment to be used to achieve the project objective. In the last stage the operation is tested by a prototype based on a test bench called "Constant Pressure Water Pumping Station" which is in the laboratories of the Faculty of Engineering and Applied Sciences of the Technical University of Cotopaxi. For this purpose, a frequency inverter, two LOGO! a differential pressure sensor, designing an HMI interface, two radio link antennas. For the acquisition of the analog variables of the differential pressure sensor three models were presented: the first model presents the direct communication of the differential pressure sensor and a LOGO! the second model contemplates the use of two LOGO! and fiber optic communication and the third model presents the use of two LOGO! and communication by radio link. In Puerto Quito the proper logistics for the area network laying and for costs are not presented, therefore it is indicated that the third communication model is the most suitable as it allows a point-to-point communication between the two antennas.

**Keywords:** LOGO!, level, sensors, frequency inverter, submersible pump, radio link, water pumping, monitoring.

## ***AVAL DE TRADUCCIÓN***

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA POTABLE PARA EL RECINTO SANTA MARIANITA DEL CANTÓN PUERTO QUITO**”. presentado por: **Troncoso Toca Jhonatan David y Chicaiza Riofrio Alex Hernan**, egresados de la Carrera de: **Ingeniería Eléctrica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2023

Atentamente,



JOSE IGNACIO  
ANDRADE MORAN



CENTRO  
DE IDIOMAS

-----  
**Mg. José Ignacio Andrade M.**  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC**  
**CI: 0503101040**

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

**Título:** Automatización del sistema de bombeo de agua potable para el Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito.

**Tipo de Proyecto:** Proyecto de Investigación.

**Fecha de inicio:** Octubre del 2022.

**Fecha de finalización:** Marzo del 2023.

**Lugar de ejecución:** Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito / Provincia de Pichincha.

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

**Carrera que auspicia:** Carrera de Electricidad.

**Proyecto de investigación vinculado:** Desarrollo de Sistemas Eléctricos Eficientes a Nivel Residencial, Comercial e Industrial.

### Equipo de Trabajo:

**Grupo de Investigación:** Energía y Tecnologías Apropriadas

**Tutor de Titulación:** Ing. León Segovia Marco Aníbal M.Sc.

**Estudiantes:** Chicaiza Riofrio Alex Hernan

Troncoso Toca Jhonatan David

**Área de Conocimiento:** 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesionales Afines / 0713 Electricidad y Energía.

**Línea de investigación:** Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sub líneas de investigación de la Carrera:** Control y Optimización en el uso de la Energía del Sector Industrial, Comercial y Residencial.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua es vital para diversas actividades humanas. Actualmente en Ecuador el uso del agua se rige de acuerdo con la Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. En esta ley rige lo siguiente: toda persona tiene derecho a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y domestico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura [1].

En el Ecuador la cobertura de agua potable es del 63%; correspondiendo 83% en el área urbana y 39% en el área rural según estudios del 2020 [2]. En el caso de las áreas rurales los sistemas de agua potable no suelen ser generalizados, tienden hacer privados y su construcción usualmente suele ser financiada por los moradores, no obstante, las alcaldías y municipios también suelen financiar algunas construcciones de centros de bombeo y almacenamiento de agua para estas zonas.

El presente proyecto basa su aplicación en la resolución de la problemática que tiene el Recinto Santa Marianita del cantón Puerto Quito, pues este cuenta con un sistema deficiente de bombeo de agua, el cual causa un malestar a sus moradores, ya que, este problema se refleja en la distribución de agua que cada hogar recibe, además, de contar con un sistema de alimentación inadecuado para el funcionamiento del motor y la bomba, provocando fallas y en el peor de los casos daños a estos equipos, lo que trae costos adicionales a los moradores.

Actualmente la operación del sistema de bombeo de agua del Recinto Santa Marianita está a cargo de una persona, cuya responsabilidad es encender y apagar diariamente el sistema, además de monitorear el llenado del tanque de manera manual (yendo al tanque de almacenamiento que se encuentra a 400 m, a verificar su llenado), No obstante, la distancia y la topografía del lugar son casi inaccesibles poniendo en riesgo la integridad física de la persona a cargo del sistema de bombeo, también, los mantenimientos del sistema actual son escasos por la falta de conocimiento que tiene el operador a cargo.

Tras lo mencionado, es conveniente hacer uso de nuevas tecnologías para el control y monitoreo del sistema de bombeo de agua potable en tiempo real. En este sentido, el objetivo de este trabajo es presentar un prototipo que cumpla con las necesidades de la población los cuales son: controlar y monitorear el llenado del tanque, proteger los equipos de bombeo y garantizar una buena alimentación al motor para su correcto funcionamiento.

## **2.1. EL PROBLEMA**

### **2.1.1. Situación Problemática**

El Recinto Santa Marianita, cantón Puerto Quito tiene dos problemas principales, el primero: carencia de un sistema de control y verificación de llenado del tanque de recepción, el segundo, dividido en dos partes, mala alimentación (eléctrica) del motor y carencia de protección al momento de operar en vacío la bomba, los cuales se explican a continuación:

El primer problema es la carencia de un sistema de control debido a la falta de recursos tecnológicos que permita un fácil bombeo del líquido hacia el tanque de recepción. Generando malestar entre la población, puesto que el sistema de encendido es manual y no se considera el nivel de agua existente, por lo que en ocasiones el agua se desborda o hace falta, tomando en cuenta el consumo de agua dinámico del tanque de recepción, no se puede tener una predicción clara de que nivel de líquido que posee en ese momento. Este sistema de control requiere de la intervención humana en todo momento.

El segundo problema es la mala alimentación eléctrica que tiene el motor, ya que la acometida de alimentación del control es bifásica y el motor utilizado tiene una alimentación trifásica, por lo tanto, el sistema de potencia tiene incorporado un banco de condensadores para simular una tercera fase. Tras la visita realizada al recinto se obtuvieron las mediciones de estas corrientes que circulan desde el banco de condensadores hasta el motor, las cuales son desequilibradas teniendo valores de: 12.4 [A], 22.6 [A] y 32.4 [A], para las líneas del motor “U, V y W” respectivamente. Hay que tomar en cuenta que la corriente nominal del motor es de 27.5 [A], es decir que una de las bobinas del motor está recibiendo mayor cantidad de corriente, provocando que se sobrecaliente y acorte la vida útil del motor, también, al utilizar este sistema de condensadores para simular la tercera fase provoca que el motor no opere al 100% y tenga pérdidas de eficiencia en el par de arranque de hasta 40% y potencia operativa hasta 30%.

Además, como el motor se encuentra operando bajo tierra succionando agua de un pozo subterráneo, no se puede observar cuando el nivel de agua baja, si esto sucede, provoca que la bomba trabaje en vacío y el motor sufra sobrecalentamiento ya que no tiene líquido para refrigerarse, ocasionando que el motor se dañe, al suceder esto se genera un costo a la comunidad porque este elemento se tiene que reemplazar.

### **2.1.2. Formulación del Problema**

El sistema de agua potable del recinto Santa Marianita del cantón Puerto Quito carece de un sistema de control y medición de llenado de tanque, además, de una mala alimentación y protección del motor.

### **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

*El objeto de estudio es* la automatización de un sistema para reabastecimiento de agua potable.

*El campo de acción para el proyecto:* 330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.02 Aplicaciones Eléctricas.

### **2.3. BENEFICIARIOS**

#### **2.3.1. Beneficiarios directos**

Junta de Agua Potable del Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito

#### **2.3.2. Beneficiarios indirectos**

Moradores del Recinto Santa Marianita

### **2.4. JUSTIFICACIÓN**

El presente proyecto de investigación se encuentra relacionado con la línea general de investigación de la Carrera de Electricidad, de la misma manera con la sublínea de investigación que determina el Control y Optimización en el uso de la Energía del Sector Industrial, Comercial y Residencial.

En la provincia de Pichincha, los sectores más alejados de los centros urbanos carecen de un sistema eficiente de agua potable, por lo que moradores optan en implementar métodos para trasladar el líquido vital desde la planta captadora del líquido (agua potable) hasta el lugar donde se encuentran, por lo general estos métodos contemplan sistemas clásicos de control, los cuales no son eficientes viéndolo desde una arista en el área eléctrica, tras esto, y por la necesidad de los moradores se propondrá un sistema tecnológico el cual permitirá operar el sistema de bombeo de agua potable mediante tres modos de operación: 1) control automático, 2) control semi manual/automático y 3) control manual. Lo cual favorecerá el índice de eficiencia y satisfacción de los moradores del Recinto Santa Marianita ya que el

sistema tendrá un proceso de reabastecimiento sin la intervención de un operador siempre y cuando el sistema no requiera un mantenimiento (predictivo o correctivo), exista un fallo, etc.

A pesar de que los sistemas de control facilitan la obtención del líquido, la apertura de las válvulas y encendido de las máquinas de manera manual suele ser demoroso e ineficiente y si falla un componente el sistema mismo podría colapsar, entonces disponer de un sistema automático acorde a las necesidades y que a la vez permita la detección de fallas electromecánicas suele ser muy favorable pues minimiza el esfuerzo humano que conlleva realizar las actividades de accionar manualmente todo un sistema de control y fuerza de una sistema de bombeo de agua potable.

## **2.5. HIPÓTESIS**

Mediante la aplicación de un variador de frecuencia y el diseño de una interfaz HMI se podrá obtener una tercera fase para simular un sistema trifásica a partir de un sistema monofásico a 2 hilos y además permitir al usuario mayor control en la configuración del sistema automático.

## **2.6. OBJETIVOS**

### **2.6.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema automatizado que permita el bombeo de agua potable mediante el uso de controladores lógicos programables, para el abastecimiento del líquido tomando como caso de estudio el Recinto Santa Marianita del cantón Puerto Quito.

### **2.6.2. Objetivos Específicos**

- Investigar en diferentes fuentes bibliográficas las características y funcionamiento de los equipos de los sistemas de bombeo automatizados.
- Verificar el funcionamiento del sistema automático en un banco de pruebas.
- Analizar los resultados obtenidos del sistema automático propuesto.

**2.7. SISTEMA DE TAREAS**

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Investigar en diferentes fuentes bibliográficas las características y funcionamiento de sistemas de bombeo automatizados.	Visita de reconocimiento al Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito.	Levantamiento de información de las necesidades que presenta el lugar.	Reconocimiento de las irregularidades que presenta el sistema de bombeo manual actual en el Recinto Santa Marianita. Verificación de las corrientes de arranque y operativas.
	Revisión bibliográfica y documental acerca de los procesos de automatización, tipos de sensores de nivel, caracterices de bombas de agua, etc.	Información: conceptos, características de sensores, limitaciones del sistema de automatización, beneficios de automatizar un proceso.	Libros Tesis Regulaciones Informes Técnicos Artículos
	Investigación acerca del medio de comunicación utilizados en la industria de la automatización.	Disponibilidad de información acerca de los medios de comunicación más usados en la industria de la automatización.	Visita insitu Herramientas eléctricas
Realizar el prototipo y las pruebas de funcionamiento del sistema automático.	Diseño del control, de potencia e interfaz de usuario de un sistema automático de bombeo de agua.	Obtención de esquemas eléctricos, medios de comunicación, previa de simulación de un sistema de bombeo de agua.	Excel Manuales de equipos Softwares de diseño y simulación (tales como): Logo!Soft Comfort TIA Portal AutoCAD CAdE SIMU

	Aplicación de una simulación mediante pruebas de ensayo para validación del modelo propuesto.	Verificación del correcto funcionamiento del modelo propuesto.	Uso del "Banco de pruebas para instrumentación de medición de nivel y flujo" del laboratorio de Automatización de La Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas - UTC.
Analizar los resultados obtenidos del sistema automático propuesto.	Corrección y mejoramiento de sistema en ante posibles fallas.	Mejorar el sistema de automatización considerando necesidades del usuario.	Revisión de información documental necesaria para mejorar el sistema de simulación.  Rediseñar el sistema de control, de fuerza y/o interfaz de usuario.
	Pruebas de funcionamiento de los medios de comunicación elegidos como objeto de estudio para la comunicación de los Controladores Lógicos Programables (LOGO!).	Verificación de la efectividad de enlaces entre los distintos sistemas de comunicación industrial propuestos para el sistema de bombeo de agua.	- Herramientas eléctricas - Equipos de medición - Manual de equipos - HMI siemens (KTP700) - Softwares de diseño y simulación (tales como): - Logo!Soft Comfort - TIA Portal

### 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

#### 3.1. ANTECEDENTES

En las zonas más alejadas de los centros urbanos es muy recurrente que no tengan un servicio de agua potable adecuado, por lo general se idean medios de obtención de este recurso vital. Estas zonas cuentan con sistemas de bombeo deficientes, bien sea por la alimentación por falta de eficiencia energética o por el tipo de control que se está utilizando, estos problemas suelen ser frecuentes ya que en los sectores hay muy poco conocimiento de los sistemas automáticos o de un buen sistema de control.

Según [3] menciona la adaptabilidad de sistema de captación de agua de ríos, vertientes o pozos subterráneos para consumo humano es una labor que crece gradualmente a través del tiempo y que la distribución del líquido mediante tanques de almacenamiento o directamente al consumidor requieren de procesos que deben ser controlados y monitoreados con el fin de no desperdiciar el líquido mediante la aplicación de sistemas de bombeo, tableros de control e infraestructura de comunicación.

En el trabajo publicado por Cuenca Satan y Mariscal Bravo en [4], mencionan lo productivo que es desarrollo de tecnología óptima con el uso de sensores, transmisores de señales, interfaces de usuario con opciones de supervisión de proceso. Para ello lo validan con el desarrollo de un banco de pruebas de instrumentos de medición de nivel y flujo de tipo industrial el cual realiza el bombeo de agua entre dos pequeños tanques de almacenamiento interconectados con válvulas y tuberías.

En el trabajo publicado por Almachi Chiguano y Naranjo Barrera en [5] resalta el uso de un sistema SCADA (Supervisión Control y Adquisición de Datos) y su aplicación a una estación de bombeo de agua mediante el uso de controladores lógicos programables (PLC) para la obtención de datos y control de manera local o control remoto facilitando la comodidad del usuario.

Para Zenteneo Tovilla en su trabajo publicado en [6], menciona la necesidad de automatizar el control de encendido y apagado de bombas de agua. También resalta que el operador a cargo de operar el sistema manual puede cometer alguna omisión al momento de operar el sistema lo que provocaría accidente laboral. A más de ello busca que las bombas trabajen de manera eficiente, de esta manera evitar el desperdicio del líquido vital.

El trabajo de Zenteno Tovilla brinda la facilidad de encendido y apagado del equipo, la tecnología que usa es innovadora ya que da paso a la modernización de la industria en la automatización.

En el trabajo publicado por García Gómez y Sierra Romero en [7] parte de la automatización de bombas de agua, dando mayor realce al arranque de los motores trifásicos que forman parte de las bombas de agua, ya que un arranque directo provoca caídas de tensión y sobre corrientes en la red eléctrica, a su vez el ausencia de un sistema trifásico para arrancar una bomba trifásica limita mucho el uso de este tipo de bombas por lo cual se refiere a los variadores como una solución viable para solventar dichas problemáticas a la hora de arrancar motores trifásicos de bombas de agua.

En el trabajo publicado por Andino Martínez en el año 2011 en [8], menciona el uso de herramientas para la aplicación de radioenlaces de microonda digital para la comunicación entre una repetidora denominada Tres Cruces y la estación de Bombeo El Salado correspondientes al Oleoducto Transecuatoriano. Habla acerca de los diferentes tipos de antenas y sus ventajas para la aplicación de emisión de frecuencias de microonda. En la comunicación de dos puntos distanciados que necesitan compartir información para la ejecución de acciones pertinentes.

## **3.2. ATOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

### **3.2.1. Automatización Industrial**

Al hablar de automatización industrial se entiende que estarán involucrados sistemas de control, como microprocesadores, autómatas programables y viéndolo desde un punto de vista más sofisticado inclusive robots y tecnologías de la información que permitan manejar distintos procesos productivos y diferentes máquinas industriales.

Se trata de eliminar al máximo la intervención de la mano de obra y reemplazar en ciertas ocasiones las operaciones que conllevan cierto nivel de peligro por operaciones automatizadas, así mismo se trata de involucrar proceso automatizados en actividades repetitivas que por lo general siempre deben estar presente un operador, entonces la automatización presenta un grado de ergonomía en actividades industriales [9].

### **3.2.2. Tendencias actuales de la automatización industrial**

En la antigüedad el ser humano ha realizado actividades con la ayuda de herramientas que facilitan dicha actividad. Es decir que los inicios de la automatización industrial las máquinas

funcionaban con mecanismos rudimentarios, por ejemplo; era habitual el uso de poleas y palancas para mover objetos.

Dadas las circunstancias de evolución de la industria, esta requería mayor esfuerzo y mecanismo de procesos para el trabajo. Es así como el humano comienza a usar formas de energía renovables, por ejemplo; se implementó la navegación a vela, lo que hace que se sustituya el trabajo de remar lo que anteriormente representaba un esfuerzo repetitivo y mecánico para el humano, pues se tenía que aplicar fuerza con los brazos sobre un par de remos para movilizarse sobre el agua. También se tiene otra innovación en la industria acerca de los molinos, pues este trabajo se desarrollaba en base a la fuerza aplicada por el humano con los denominados molinos de piedra; lo que se da un gran salto a los molinos de agua [10].

La automatización presenta un crecimiento muy rápido, mediante el desarrollo de nuevas innovaciones para la industria. Lo que hace que las empresas de cualquier sector o inclusive cualquier proceso de trabajo repetitivo tengan la necesidad de implementar tecnologías de automatización respondiendo a las tendencias del mundo moderno y a su vez haciendo de las empresas más competitivas entre si [11].

Si se identifica todas las tendencias de la automatización hoy en día, habría una gran variedad pues cada día la tecnología avanza y en función de esto se tendrá mayores aportaciones, por lo que a continuación se presentara algunas de las tendencias de la automatización industrial junto con la inteligencia artificial [12]:

- Integración de inteligencia (inteligencia artificial) para automatizar.
- Aumento de colaboración y productividad.
- Facilidad de adopción tecnológica.
- Aceleración de la automatización basada en la nube.

### **3.2.3. Aplicación de la automatización para un sistema de trabajo**

Las empresas aprovechan el aporte de la automatización industrial, pues las tecnologías de automatización representan una agilidad en el desarrollo de actividades, es así como las empresas programan tareas y procesos que muchas de las veces representan un riesgo contra el ser humano, pero no para una máquina, también se ven involucrados los procesos repetitivos y forzados, la finalidad de automatizar un proceso se traduce en un mejor rendimiento y mayor productividad [5].

Para establecer un proceso de automatización de un trabajo se ve más allá de las ventajas y desventajas que este traería implementarlo, más bien se considera todas las variables que afectarían a cada industria en particular. Entonces habría que considerar ciertos factores a la hora de automatizar una industria o no [6].

- Seguridad para el personal.
- Costo de implementación y beneficios.
- Productividad y paradas de mantenimiento.
- Vida útil del sistema.
- Complejidad de implementación.

#### **3.2.4. Ventajas y Desventajas de automatización industrial**

La automatización e intercambio de datos mediante tecnologías de automatización industriales disminuye mucho el tiempo cuando se requiere obtener información acerca de algún fallo ocurrió en el sistema, receptor informes de funcionamiento, horas de operatividad de máquinas, etc. Es así como la automatización ha evolucionado y en la actualidad se ha introducido un nuevo concepto denominado Industria 4.0, que hace referencia a la cuarta revolución industrial [6].

La automatización industrial y en especial la Industria 4.0 presentan 4 ventajas, pero también desventajas, misma que serán presentadas a continuación.

##### **3.2.4.1. Ventajas de la automatización industrial [6]**

- Procesos repetitivos.
- Óptimos niveles de calidad.
- Ahorro de costes.
- Mejoramiento de tiempo de producción.
- Seguridad para el personal.
- Sistemas de producción flexibles.
- Industrias competitivas.

##### **3.2.4.2. Desventajas de la automatización industrial [6]**

- Se requiere personal capacitado y especializado.
- Gran coste de inversión.
- Dependencia de la tecnología.

- Obsolescencia tecnológica.
- Personal adecuado para mantenimiento.

### **3.3. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL INDUSTRIAL**

En la actualidad con el fin de dar confort a los profesionales de la industria se han renovado los sistemas tradicionales de control y automatización, es así como se han surgido distintos sistemas que facilitan la operación en una industria.

Normalmente los distintos Sistemas de Control Industrial (SCI) presentan un dominio de operación global o local, es decir que habrá un servicio restringido a un único ámbito o área de la industria.

Un SCI es el conjunto de elementos que se encargan de administrar, regular u ordenar los procesos de una actividad, con el fin de reducir la probabilidad de fallos y aumentar la productividad del sistema.

De acuerdo con [9], existen tres tipos de SCI de mayor relevancia en el ámbito industrial que han sido definidos por el Instituto de Normalización de Estándares de los Estados Unidos (NIST):

- SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos): Es un sistema de control industrial que permite supervisar y controlar procesos en la industria, incluye la elaboración, el control de procesos, generación energética, tratamientos de aguas, alcantarillados, parques eólicos, distribución de energía, etc. En definitiva, se abocan varios procesos industriales para la supervisión, control y adquisición de datos, pues ofrece un control más global y no únicamente dentro de un solo procesos sino de los que se requiera [17].
- PLC (Controlador Lógico Programable): Este sistema ofrece un control tipo local acerca de un proceso, se constituye únicamente por un solo elemento que es el cerebro de todo el sistema de control. Es así como, dispone de entradas y salidas y que los resultados se dan en respuesta de las entradas dentro de un intervalo de tiempo [9].
- DCS (Sistema de Control Distribuido): Corresponde a un sistema dedicado al control de procesos en sistemas industriales de manera específica y autónoma [9].

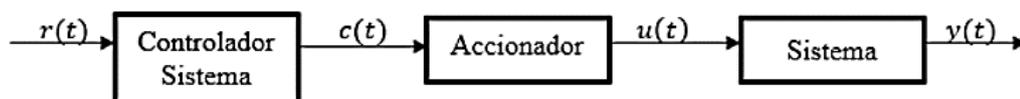
Los sistemas de control mencionados anteriormente corresponden a un sistema de control automático que contiene componentes físicos conectados o relacionados entre sí, de manera

que regulen o dirijan su funcionamiento por sí mismos sin intervención humana, corrigiendo los errores que se presenten en su funcionamiento[18].

Estos sistemas se dividen en dos grupos: sistemas de control de lazo abierto y de lazo cerrado, el caso de estudio del presente proyecto investigativo se centra en los sistemas de control de lazo cerrado.

- **Sistema de control de lazo abierto**

Estos sistemas poseen una acción de control independiente de la salida, se los considera como sistemas que no satisfacen los requerimientos de desempeño crítico, por ende, se los aplica a desempeños no críticos [18].



**Figura 3.1.** Sistemas de control de lazo abierto [18].

En la Figura 3.1 se muestran los componentes y señales de un sistema de control de lazo abierto, donde:

$r(t)$ : Entrada del proceso.

$c(t)$ : Variable controlada.

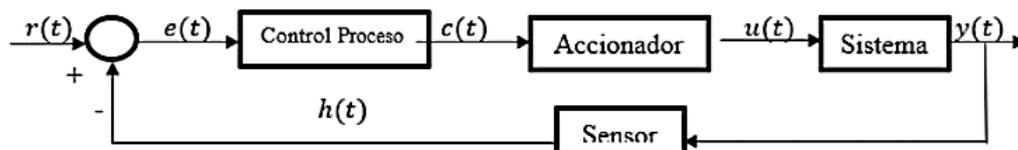
$u(t)$ : Variable manipulada.

$y(t)$ : Variable de proceso.

- **Sistema de control de lazo cerrado**

En este sistema la acción de control es dependiente de la salida, ya que la señal controlada es realimentada y comparada con el valor de referencia, se debe enviar una señal actuante proporcional a la diferencia de la entrada y salida a través del sistema para corregir el error [18].

Este sistema es el que se utilizara en la investigación, de donde se recopilara datos del prototipo propuesto ya que pertenece a un sistema de lazo cerrado, como se muestra en la Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Sistema de control de lazo cerrado [18].

Donde:

$r(t)$ : Valor de consigna (set point).

$e(t)$ : Error ( $r(t) - h(t)$ ).

$c(t)$ : Variable controlada.

$u(t)$ : Variable manipulada.

$y(t)$ : Variable de proceso.

$h(t)$ : Variable de proceso medida.

- **Tipos de sistemas de control de lazo cerrado**

Los sistemas de control de lazo cerrado se pueden clasificar en diversas formas dependiendo de los tipos de señales usados en el sistema, se hace referencia a sistemas en tiempo continuo o tiempo discreto, o sistemas modulados o no modulados, a continuación, se presentan los tipos de sistemas [18]:

- Sistema de control lineales**

Se considera que en la práctica no existen los sistemas lineales, ya que todos los sistemas físicos son no lineales en algún grado. Los sistemas de control realimentados son modelos ideales fabricados por el analista para simplificar su análisis y diseño [18].

- Sistemas de control no lineales**

Cuando las magnitudes de las señales se extienden más allá del intervalo de porción lineal, dependiendo de la severidad de la no linealidad, el sistema no se puede seguir considerando lineal [18].

**c. Sistemas de control variantes en el tiempo.**

Cuando los parámetros de un sistema de control varían de acuerdo con el tiempo durante la operación del sistema, el sistema se considera variante en el tiempo [18].

**d. Sistemas de control invariantes en el tiempo.**

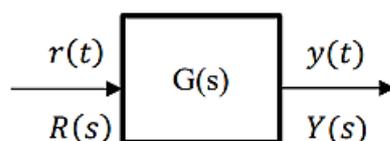
Cuando los parámetros de un sistema de control son estacionarios con respecto al tiempo durante la operación del sistema, el sistema se considera invariante en el tiempo [18].

**e. Sistemas de control en tiempo discreto.**

Estos sistemas se subdividen en sistema de datos muestreados y sistema de control digital. Los sistemas de datos muestreados se refieren a señales que están en forma de pulsos de datos. Un sistema de control digital se refiere al uso de una computadora o controlador digital en el sistema, de tal forma que las señales están en código digital, tal como binario [18].

- **Función de transferencia.**

La función de transferencia de un sistema lineal e invariante en el tiempo se define como el cociente de la transformada de Laplace de la señal de salida y la transformada de Laplace de una señal de entrada, suponiendo todas las condiciones iniciales nulas [18]:



**Figura 3.3.** Función de transferencia.

Como se puede apreciar en la Figura 3.3, la función de transferencia del sistema  $G(s)$  es:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)}$$

Las raíces del polinomio del numerador de  $G(s)$  son los ceros del sistema, las raíces del polinomio del denominador de  $G(s)$  son los polos del sistema y el orden del sistema corresponde al grado del polinomio del denominador de  $G(s)$  [18].

- **Control ON – OFF**

La salida del controlador ON – OFF, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor. El controlador no tiene la capacidad para

producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado, pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia.

### **3.4. ELEMENTOS PARA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE BOMBEO**

#### **3.4.1. Centros de bombeo**

Son un conjunto de infraestructura civil, de equipos hidráulicos, tuberías y accesorios de control. Estos centros de bombeo captan el agua directa o indirectamente desde una fuente de abastecimiento y la impulsan hacia un tanque de recepción que muchas de las veces se encuentran alejado del centro de bombeo [10].

Por lo general los sistemas de bombeo cuentan con un control de paro y encendido para los equipos de bombeo, además cuenta también con un sistema hidráulico de protección como válvulas aliviadoras de presión, o válvulas anticipadoras contra golpe de ariete.

##### **3.4.1.1. Elementos de los centros de bombeo**

Estos sistemas inicialmente comprenden los siguientes requisitos de manera general, cabe recalcar que no todos los requisitos enlistados a continuación son implementados pues muchas de las veces se requiere un gran coste de implementación [10]:

- Caseta de bombeo, diseños que deberán cumplir con las exigencias de normas vigentes de seguridad y condiciones ambientales aplicadas en el Ecuador.
- Cisterna de bombeo, tanques de compensación.
- Equipos de bombeo, capaz de operar con la máxima eficiencia posible.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz, dependiendo el nivel de complejidad del sistema para caso de emergencias o sectores alejados.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Equipos para cloración.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.
- Sistema de ventilación, natural o mediante equipos.
- Área para el personal de operación, capaz de garantizar la ergonomía del personal cumpliendo lo establecido en normas de Calidad & Salud ocupacional.

- Seguridad de la infraestructura, implementación de Cerco de protección para la caseta de bombeo, y mecanismos de detección de intrusos enlazados a un sistema de monitoreo continuo.
- Sistema de control y monitoreo a distancia SCADA.

#### **3.4.1.2. Cuartos de control**

El cuarto de bombeo corresponde a una de las partes más importante del sistema de bombeo, pues desde aquí se manipulará manualmente y/o automáticamente los controles para el encendido o apagado de las bombas. Por lo que el cuarto no solo constara de elementos hidráulicos sino también de elementos eléctricos para control y potencia [10].

#### **3.4.1.3. Tanques reservorios**

Por lo general corresponden a cuerpos de forma circular, cuadrada o rectangular su función principal es la de almacenar agua previa posterior al bombeo desde un punto de recolección, ver la Figura 3.4.

Las tuberías que interconectan el tanque de recepción con el centro de bombeo deben poseer dimensiones mínimas de tubería para facilitar el asentamiento de minerales o piezas que puedan transcurrir en el agua bombeada, evitar grandes velocidades y agitación de aguas, y a la vez permitir un fácil acceso para el mantenimiento correspondiente [10].



**Figura 3.4.** Tanque de recepción de  $40m^3$ , Recinto Santa Marianita.

#### **3.4.1.4. Sistemas de bombeo**

Para la adecuada etapa de bombeo de realizarse un análisis de concepción acerca del sistema de abastecimiento que va de la mano con respecto a las etapas para la implementación del sistema como tal, para ello se considera los siguientes factores:

##### **a. Periodo de bombeo**

Las horas de funcionamientos dependerán del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, disponibilidad de energía y el costo de operación. Por factores económicos y operativos los sistemas de bombeo funcionaban en base a periodos de trabajo de 8 horas diarias, las cuales serán distribuidas de acuerdo con las horas más beneficiosas de funcionamiento. Por otra parte, también entran en operación cuando la reserva de agua baje el nivel establecido.

##### **b. Tipo de abastecimiento**

Se consideran dos escenarios posibles:

- Cuando el sistema de abastecimiento de agua incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo; la capacidad de la tubería de succión, equipo de bombeo y tubería de impulsión deben ser calculadas con base en el caudal máximo diario y el número de horas de bombeo [10].
- Cuando el sistema de abastecimiento de agua no incluye reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema de bombeo debe ser calculada en base al caudal máximo horario y las pérdidas en la red distribución [10].

#### **3.4.1.5. Sensores de nivel**

##### **a. Sensor ultrasónico**

Este tipo de sensor emite un pulso de sonido a una alta frecuencia que luego se ve reflejado sobre la superficie del flujo o solido según sea el medio de aplicación, dado que la densidad es más alta en comparación con la densidad del aire u algún otro tipo de gas que se explore sobre él, por lo que no tienen ningún contacto directo con el medio. La manera de trabajo de este tipo de sensor se basa en tomar el tiempo de lectura de una señal una señal reflejada y relaciona con la distancia que viaja [15].

Generalmente la frecuencia de trabajo de este tipo de sensores está en un rango de 12 a 70 kHz, presente algunas desventajas entre ellas es la sensibilidad a la suciedad, ruido

del ambiente, superficies turbulentas e inclusive el efecto del mismo material con el que está construido sobre el emisor. Las señales que presenta este tipo de sensor son tipo analógicas en un rango de corriente de  $0\text{ mA} - 20\text{ mA}$  o  $4\text{ mA} - 20\text{ mA}$ , por lo que se puede tomar con facilidad el nivel del líquido y reflejar en una interfaz humano-maquina (HMI), ver la Figura 3.5. Su costo es muy elevado [15].



**Figura 3.5.** Sensor de nivel ultrasónico [24].

#### **b. Sensor de nivel tipo radar**

Al contrario del sensor ultrasónico, este sensor hace uso de microondas electromagnéticas en un rango de frecuencia de  $6\text{ a }26\text{GHz}$ , ver la Figura 3.6. La señal que emite este tipo de radas es dirigida a la superficie del medio a medir mediante una especie de bocina cónica y luego es refleja desde este punto debido al cambio en la matriz dieléctrica del material con relación al medio sobre la superficie [23].



**Figura 3.6.** Sensor de nivel tipo radar [25].

La onda que se refleja se detecta y se relaciona con el tiempo de viaje respecto a la distancia recorrida. Las señales que presenta este tipo de sensor son tipo analógicas en un rango de corriente de  $0\text{ mA} - 20\text{ mA}$  o  $4\text{ mA} - 20\text{ mA}$ , por lo que se puede tomar con facilidad el nivel del líquido y reflejar en una interfaz humano-maquina (HMI), su costo es muy elevado.

### c. Sensor de nivel por vibración

Su principio se basa en el cambio de frecuencia de vibración de un diapasón, pues este elemento es muy sensible y cambia con la densidad del material con el que entre en contacto, su aplicación se encuentra mayormente en la medición de nivel de líquidos, ver la Figura 3.7. Presenta salidas de señales analógicas [23].



**Figura 3.7.** Sensor de nivel por vibración [26].

### d. Sensor de nivel de sonda capacitiva

Su trabajo consiste en enviar una señal eléctrica de CA a una alta frecuencia hacia un sensor, de modo que la magnitud de corriente que fluye mediante el dispositivo dependerá de la capacitancia del material y la profundidad que el sensor se encuentre sumergido, ver la Figura 3.8. Normalmente se lo usa en aplicación de medición de líquidos y sólidos, sin embargo se puede aplicar en otros materiales previa una correcta calibración [23].



**Figura 3.8.** Sensor de nivel de sonda capacitiva [27].

### e. Sensor de nivel por presión

La ubicación óptima de este tipo de sensor es en el fondo del almacenamiento que se desea tomar la lectura, pues el sensor detecta la profundidad del líquido mediante el principio que presenta la ecuación (3.1). Puede suceder que el peso específico varíe como efecto de la temperatura del medio o composición del material [23].

$$\Delta p = \gamma * h * g \quad (3.1)$$

Donde:

- $\Delta p$ : variación de presión
- $\gamma$ : peso específico del fluido
- $h$ : profundidad sobre el sensor
- $g$ : gravedad



**Figura 3.9.** Sensor de nivel por presión [28].

#### f. Sensor tipo boya o flotador

La fuerza de flotación que actúa sobre un sensor tipo boya hace que se eleve o descienda a medida que el nivel del líquido cambia, de acuerdo con la posición que este el flotado este actúa como un interruptor que abre cierra el circuito, dicho de otra manera, emitirá una señal digital de CA o DC según sea el caso mediante la conexión eléctrica correspondiente. La limitante de este tipo de sensor es que únicamente dicta un límite superior e inferior y de acuerdo con ello abre o cierra el circuito para que se accione una bomba de agua, ver la Figura 3.10. Su precio su costo es relativamente bajo en comparación a los anteriores sensores de nivel [23].

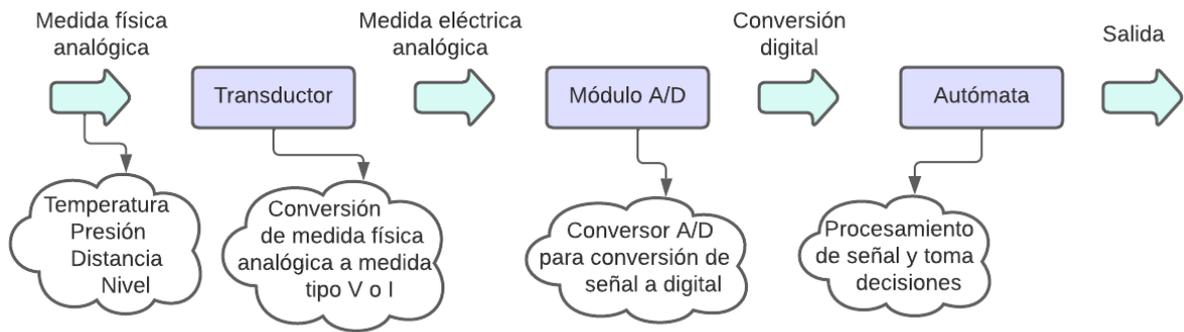


**Figura 3.10.** Sensor de nivel tipo boya o flotador [29].

### 3.5. INSTRUMENTACIÓN

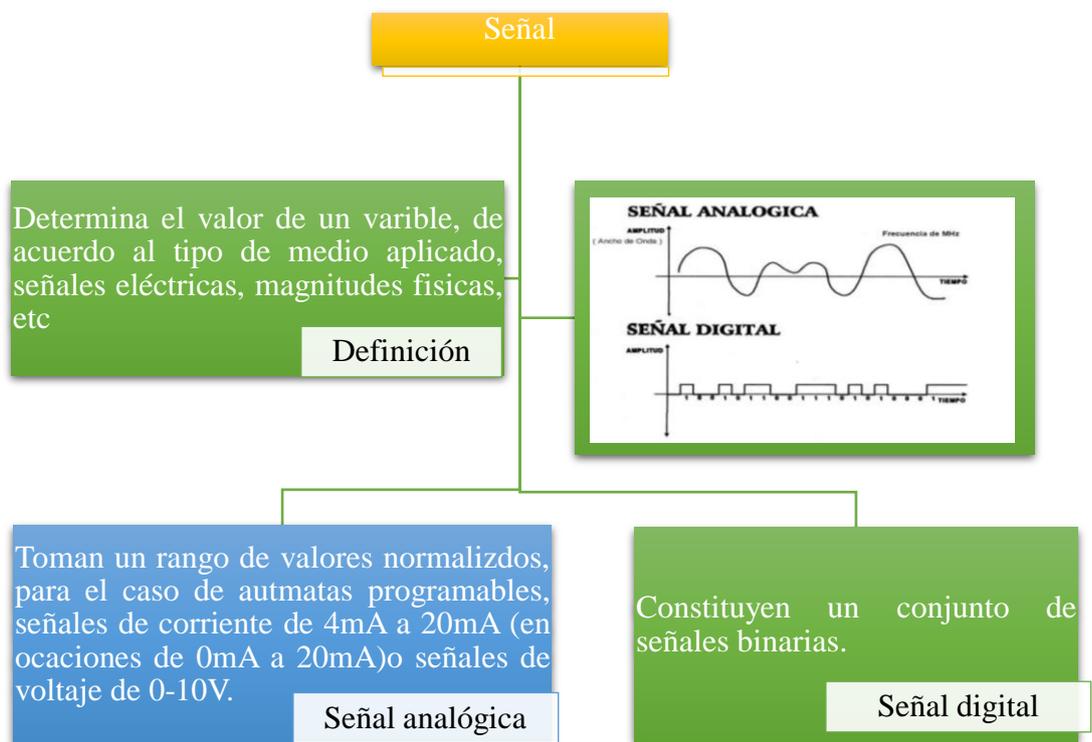
La instrumentación permite la inserción de tecnología en procesos industriales, pues automatizar un proceso requiere la aplicación de elementos que puedan censar o transmitir señales hacia un medio interceptor típicamente un autómeta que toma señales digitales previamente procesadas por un transductor que toma originalmente medidas físicas y las pasa a señales analógicas, ver la Figura 3.11. Posterior a este pequeño proceso el autómeta realiza una acción de acuerdo con la programación guardada en su memoria.

Los instrumentos pueden ser muy sencillos como: transmisores, válvulas, sensores y también puede llegar a ser muy complejos como controladores, analizadores, etc.



**Figura 3.11.** Tratamiento de señal analógica [30].

En lo que compete a la instrumentación este se compone de dos tipos señales típicas, señales analógicas y digitales [19], ver la Figura 3.12.



**Figura 3.12.** Tipos de señales.

### 3.6. REDES DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

#### 3.6.1. Funciones de la comunicación industrial

En la industria la comunicación entre autómatas programables es vital, pues se diseña un sistema de comunicación industrial tal que pueda mantener a los autómatas en la red para lograr intercambiar información necesaria para realizar actividades propias de la industria, ver la Figura 3.13.

Típicamente el uso más común se aplica para; Controladores Lógicos Programables (PLC), Sistemas de control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) y Sistemas de Control Distribuido (DCS) [26].

La comunicación industrial generalmente se realiza entre PLCs y dispositivos de campo, PLCs y computadoras industriales.

Para establecer un medio de comunicación e interacción entre dispositivos de campo y el sistema se aplican: Sistemas/controladores de E/S distribuidos, HMI y PC de supervisión y control (PCs industriales).



**Figura 3.13.** Niveles de comunicación en la industrial [32].

De acuerdo con la Figura 3.13 y con [32], los sistemas de comunicación industrial se pueden resumir en tres grupos:

**a. Nivel de información**

Representa al nivel superior de una industria, se usan controladores de nivel de planta los mismos que captaran información para gestionar niveles del área donde se pretende monitorear y a la vez gestiona el sistema de automatización [33].

**b. Nivel de control**

Típicamente para el nivel de control se involucran Controladores Lógicos Programables (PLC), mismo que mantendrán comunicación entre sí y también con los sistemas informativos de la industria, utilizarán protocolos estándares como Ethernet TCP/IP, Intranet e Internet.

Los controladores recibirán generalmente señales desde los sensores y/o actuadores de nivel de campo, cada uno habilitara acciones a tomar de acuerdo con cómo se haya programado al PLC [33].

El paquete de información requiere de paquetes de datos y un protocolo de comunicación, pudiendo ser Profibus, Profinet, Ethernet, etc. Mediante estos protocolos se enviará la información necesaria para que interactúen los PLC con él envío y recibimiento de señales como variables de tipo Bytes.

**c. Nivel de campo**

Representa un nivel inferior a los demás, pero muy importante, pues este nivel contiene dispositivos que tomaran lectura, datos, señales de un medio para remitir señales eléctricas hacia los controladores, típicamente los PLC trabajan con señales digitales o analógicas (de  $4\text{ mA} - 20\text{ mA}$  o  $0\text{ v} - 10\text{ V}$ ).

Se constituye de manera general en sensores (entradas) y actuadores (salidas), módulos de E/S y unidades de accionamientos de maquinarias. Por lo tanto, se requiere un sistema de comunicación en tiempo real y a gran velocidad. La transmisión de los datos es cíclica y se caracteriza por un ciclo de bus corto. La duración real del ciclo de bus depende de la aplicación. Varía desde la décima de microsegundo hasta cientos de milisegundos [33].

A modo de preferencia los protocolos Profibus DP (Periféricos Descentralizados) y Profinet IO (Entradas y Salidas) cumplen con las exigencias y criterios de la industria por lo tanto ofrecen las soluciones universales tanto para la automatización de fábricas como para la automatización de procesos, ver la Figura 3.14.

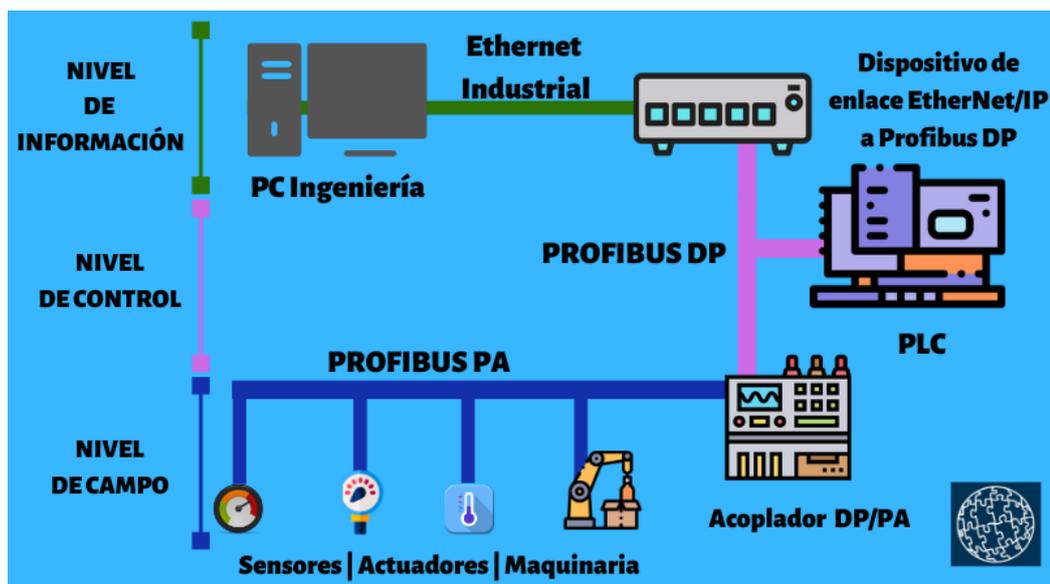


Figura 3.14. Infraestructura típica de comunicación industrial.

### 3.6.2. Protocolos de comunicación industrial

La comunicación industrial se basa en el intercambio de información entre dos o más partes, es decir que la información será enviada y recibida repetidamente, se procesa y se almacena y/o realiza acciones de acuerdo como se haya establecido.

Llevando el concepto de comunicación en la industria, resulta más complejo de entender pues interfieren variables de distintas tipo y jerarquía para la toma de decisiones. Es decir que se transfiere datos que por lo general son de tipo digitales, se muestra en la Figura 3.11 un ejemplo de un transmisor hacia un receptor mediante un enlace (medio de transporte, cable de cobre, cable coaxial, fibra óptica o de manera inalámbrica) [28].

### 3.6.3. Protocolos de comunicación en la industrial

Los protocolos de comunicación industrial se componen de un conjunto de normas para la comunicación entre distintos dispositivos en red. Los protocolos más utilizados en la industria son:

- **Profinet**

Pertenece a uno de los protocolos más usados en la industria, se basa en el protocolo estándar ethernet que es muy utilizado en la industria de la automatización. Es un protocolo flexible que permite personalizar programas y dispositivos manteniendo una alta precisión y calidad de comunicación [35].

Una característica llamativa de este protocolo es el monitoreo en tiempo real de los dispositivos mediante el bus de campo.

- **Profibus**

Es un protocolo estándar abierto, se destaca por presentar altas velocidades de transmisión de datos, la aplicación en ambientes hostiles hace que este protocolo sea confiable.

- **AS-i**

Es un “bus” de comunicación robusto y flexible, se aplica para niveles bajos en los procesos de control. Se basa en el estándar IEC 62026-2, entonces presenta una sencilla conexión a distintos controladores [35].

- **Modbus**

Fue desarrollado por Modicon y funciona sobre una red RS-485, mantiene un rendimiento limitado sobre su infraestructura en serie. Se lo usa para establecer una comunicación entre cliente y servidor. Actualmente en la industria de la automatización se tiene dos subcategorías:

- Modbus RTU

Este protocolo de comunicación representa un paquete de datos de código binario de manera compacta. Es decir que se puede llevar hacia una red remota de monitoreo y control.

- Modbus TCP/IP

Es un protocolo de comunicación que permite a los equipos industriales tales como PLC, PC, microcontroladores de motores, etc. Que son dispositivos físicos de entradas y salidas (E/S) comunicarse sobre una red de Ethernet [35].

En definitiva, el protocolo Modbus puede permitir el control de una red de elementos, es decir que, los equipos de medición tales como sensores de temperatura, nivel, caudal, humedad, etc. Puede emitir una señal hacia una PC.

- **EtherNet/IP**

El protocolo Ethernet/IP (Ethernet Industrial Protocol) es un estándar en las redes de comunicación y es capaz de manejar gran cantidad de datos a velocidades 10 Mbps hasta 1500 Bytes por paquete. En la industria este protocolo de comunicación es muy común para

aplicaciones de automatización y control ya que es fácil de configurar y operar. Además, es compatible con la mayoría de los conmutadores Ethernet [36].

- **EtherNet TCP/IP**

Por sus siglas TCP/IP se refiere al conjunto de protocolos para transmisión de datos, refiere su nombre dos protocolos previos. TCP (Transmission Control Protocol) y el IP (Internet Protocol). TCP/IP funciona sobre cualquier tipo de medio sin importar si es una red Ethernet, conexión DSL o fibra óptica.

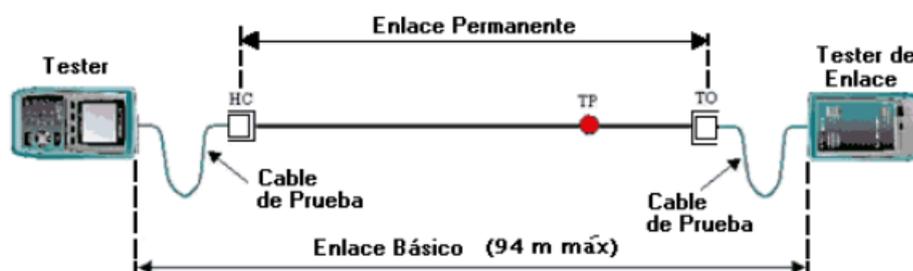
### 3.7. MEDIOS DE COMUNICACIÓN

En el presente proyecto se utilizará diferentes tipos de comunicación, los cuales están limitados por factores propios del conductor o medio de comunicación según la normativa correspondiente.

A continuación, se presentan las limitaciones de los tipos de comunicación a utilizar en los prototipos diseñados para el caso de estudio [37].

#### 3.7.1. Cable UTP

Las pruebas realizadas por la norma TSB – 67 presenta los procedimientos de medición y certificación de enlaces de cables UTP ya instalados regidos por la norma TIA 568 - A, para esto se define un modelo de configuraciones de enlace que se presenta en la Figura 3.15 [37].



**Figura 3.15.** Modelo de configuración de enlace [37].

Este modelo nos proporciona una idea de cómo se realiza la prueba para determinar los parámetros máximos de transmisión de datos establecidos por la normativa TIA 568 – A, la cual determina una longitud máxima de 94 m de enlace básico, tomando en consideración

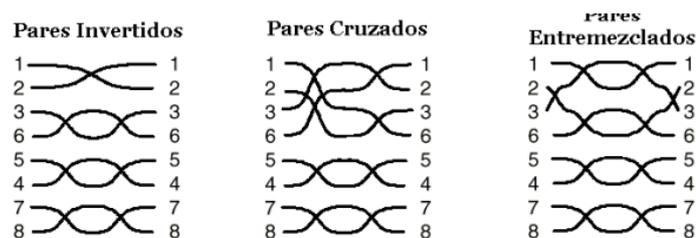
también los cables de prueba, sin embargo, la norma ISO 11801 AM2 considera una longitud máxima de 100 m sin considerar los cables de prueba [37].

Los parámetros requeridos por la norma TIA 568 – A que deben ser medidos en un enlace son:

### 3.7.1.1. Mapa de cableado

La prueba del mapa de cableado asegura la adecuada conectividad del enlace, esta prueba considera la continuidad de cada pin de un extremo a otro para verificar que no exista conexión con otro conductor o con el blindaje.

Si los pares trenzados están conectados a pines cruzados no habrá una adecuada comunicación, esto se conoce como un error de entre – cruzado como se aprecia en la Figura 3.16, lo que provoca errores en la transmisión de datos debido a la excesiva intermodulación alta. Este tipo de defecto solo es detectado por la medición del NEXT, ya que se presentaras un valor de NEXT típicamente mayor a 22 dB limitando seriamente el ancho de banda disponible [37].



**Figura 3.16.** Ejemplos de errores de cableado en cables UTP/STP [37].

### 3.7.1.2. Longitud de enlace

La medición de longitud es usualmente usada para encontrar cortos, circuitos abiertos o roturas. La determinación del exceso de longitud es más comúnmente usada en cables coaxiales que en UTP, pero los principios de medición son los mismos [37].

La medición de la longitud se la realiza mediante una técnica denominada TDR (Time Domain Reflectometry – Reflejometría en el dominio del tiempo), para este proceso el probador envía un pulso sobre el extremo de un cable, si este no presenta discontinuidad o cambio de impedancia, no hay reflexión de energía. Si ocurre alguna perturbación del cable, habrá una energía reflejada que es detectada por el probador.

Esta longitud de la discontinuidad del cable está basada en la medición del retardo de propagación del enlace y el valor del NVP del cable (Nominal Velocity of propagation- velocidad nominal de propagación). La NVP expresa la velocidad con la cual las señales eléctricas viajan en el cable relativa a la velocidad de la luz en el vacío. El NVP se expresa en porcentaje de la velocidad "c", por ejemplo 80% o 0.8 c. Todos los tipos de cables UTP/STP tendrán un NVP comprendido entre 0.6c a 0.9c [37].

Las distancias máximas de los cables recomendados son:

- Cable UTP (24 o 22AWG) de 100  $\Omega$ , para transmisión de voz 800 m.
- Cable UTP (24 o 22 AWG) de 100  $\Omega$ , para transmisión de datos 90 m (UTP cat. 3 desde 5 a 16 MHz, cat. 4 de 10 a 20 MHz y cat.5 de 20 a 100 MHz).
- Cable STP de 150  $\Omega$ , para transmisión de datos y BW de 20 a 300 MHz 90 m.

### 3.7.1.3. Atenuación

La atenuación es la medida de la reducción de la potencia de señal debido a las pérdidas a lo largo del cable de enlace expresada en decibeles cada 100 m (dB/m). el valor de la atenuación es un valor negativo en dB, indicando este signo negativo, que ha habido una reducción de la amplitud de la señal generada por el transmisor [37].

El efecto SKIN y la pérdida dieléctrica son los elementos que más influyen en la atenuación. El efecto SKIN afecta debido a las altas frecuencias y las pérdidas eléctricas por la energía disipada en el material bajo la influencia de campos eléctricos.

Por lo tanto, se puede considerar que la atenuación debe ser especificada a 20 °C, y para los enlaces se tienen en cuenta los siguiente:

- Para enlaces de un canal CAT 5, la atenuación necesita ser verificada en el rango de señales de 1 MHz a 100 MHz en pasos máximos de 1 MHz.
- Para enlaces de CAT 3, el rango de frecuencias a checar es de 1 a 16 MHz, y para la CAT 4 el rango es de 1 a 20 MHz.

La normativa TBS – 67 define tablas con valores de atenuación permisibles a 20 °C ya que la atenuación se incrementa con la temperatura en un valor típico de 1.5% por grado Celsius para el cable CAT 3 y un 0.4% para la CAT 4 y 5 [37].

De manera concluyente se puede resumir las categorías con los siguientes aspectos:

- **Categoría 1 y 2:** estos cables se utilizan para voz y transmisión de datos de baja capacidad (hasta 4 Mbps).
- **Categoría 3:** Admiten frecuencias de hasta 16 MHz. Se suelen usar en redes Ethernet IEEE 802.3 10 BASE – T a 10 Mbps, y IEEE 802.5 a 4Mbps para redes Token – Ring 4 Mbps.
- **Categoría 4:** Admiten frecuencias de hasta 20 MHz, y velocidades de 10 Mbps para Ethernet 10 BASE T y de 4 Mbps para Token – Ring. Al igual que la categoría, usa la misma configuración de cuatro pares trenzados.
- **Categoría 5:** La norma que lo especifica es ANSI/EIA/TIA 568 – A (1995) y por ISO/IEC 11801:1995 Clase D (“Information Technology: Generic Cabling for Customer Premises”). Admiten frecuencias de hasta 100 MHz, siendo válido este cableado por las anteriores aplicaciones y para Ethernet 100 BASE T con velocidades de 100 Mbps y para aplicaciones como TPDDI (FDDI sobre par trenzado). Hace uso de dos pares trenzados en transmisión de Full Dúplex, usando un par para la transmisión, y otro para la recepción y detección de colisiones [37].

### 3.7.2. Fibra óptica

Las ventajas de la fibra óptica residen en la resistencia total que ofrece a interferencias electromagnéticas, en ser un soporte físico muy ligero y, sobre todo, a que ofrece distancias más largas de transmisión que los anteriores soportes [38]. El tipo de fibra que se plantea utilizar es la siguiente:

Fibra Óptica monomodo, solo se propagan los rayos paralelos al eje de la fibra óptica, consiguiendo el rendimiento máximo (en concreto un ancho de banda de 50 GHz). Las especificaciones mecánicas y ambientales para el cable de fibra óptica deberán concordar con la norma ANSI/ICEA – S 83- 596 Fiber Optic Premise Distribution Cable que se presenta a continuación en la Tabla 3.1 [38].

**Tabla 3.1.** Características mecánicas y ambientales de la fibra [39].

Pruebas	Requisito	Unidad	Fibra monomodo	Fibra multimodo
Mecánica	Compresión	Carga: 1000 N Longitud: 10 cm	Variación de atenuación $\leq 0.4$ dB.	Variación de atenuación $\leq 0.6$ dB.
	Impacto	20 ciclos Altura: 150 mm Peso de impacto	No debe presentar ruptura.	
Ambiental	Ciclo térmico	$-20^{\circ}C + 65^{\circ}C$	$1310/1550 \text{ nm}$ $\leq 0.4 \frac{dB}{km}$	$850/1300 \text{ nm}$ $\leq 0.6 \frac{dB}{km}$
	Estanqueidad	24 hs *(un metro de columna de agua)	No debe tener fugas.	

En resumen, se propagan rayos paralelos al eje de la fibra óptica, consiguiendo el rendimiento máximo, en concreto un ancho de banda de hasta 50 GHz, este tipo de fibras necesitan el empleo de emisores laser para la inyección de la luz, lo que proporciona un gran ancho de banda y una baja atenuación con la distancia, por lo que son utilizadas en redes metropolitanas y redes de área externa. Puede operar con velocidades de hasta los 622 Mbps y tiene un alcance de transmisión de hasta 100 km [38].

### 3.7.3. Radio enlace

Las especificaciones mencionadas a continuación son de la propia antena, ya que cada antena cuenta con diferentes características y parámetros, por lo ende, para este proyecto se va a utilizar una antena de la marca MikroTik LHG5 la cual nos menciona lo siguiente:

El LHG 5 es un dispositivo inalámbrico de 5GHz compacto y liviano con una antena de rejilla de 24,5 dBi de polarización dual integrada, es perfecta para enlaces punto a punto. El diseño de rejilla garantiza la protección contra el viento, y el hecho de que el elemento de la antena este integrado en la unidad inalámbrica significa que no hay pérdidas en los cables [40].

Tiene una temperatura ambiente de trabajo de  $-40^{\circ}C$  a  $70^{\circ}C$ , con una velocidad de transmisión de datos de 300 Mbps a una frecuencia de 5 GHz de banda ancha [40].

### 3.8. FILTROS PARA LAS ATENUACIONES

El filtro es un sistema cuya función es modificar, deformar y manipular en general, el espectro en frecuencia de una señal de entrada (excitación) de acuerdo con unos determinados requerimientos (especificaciones). Los filtros se emplean para atenuar o amplificar componentes de la entrada con frecuencias dentro de un rango determinado, o para rechazar o aislar componentes en frecuencias específicas [41].

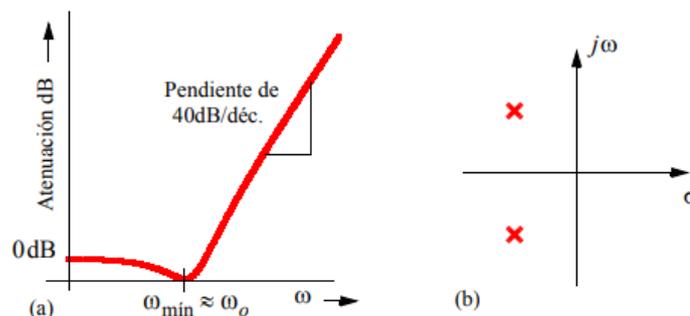
Estos filtros se pueden clasificar en varios tipos expuestos a continuación:

#### 3.8.1. Filtros paso de baja

La función básica de un filtro paso de baja (LP) es pasar las frecuencias bajas con muy pocas pérdidas y atenuar las altas frecuencias. El filtro LP debe pasar de señales entre DC y la frecuencia de corte  $\omega_p$ , con una atenuación máxima de  $A_p$  dB. La banda de frecuencia entre DC y  $\omega_p$  se conoce como banda de paso. Las frecuencias por encima de  $\omega_s$  deben tener al menos  $A_s$  dB de atenuación. Las frecuencias por encima de  $\omega_s$  y infinito se denomina banda de rechazo y  $\omega_s$  se denomina frecuencia límite de la banda de rechazo. Las frecuencias entre  $\omega_p$  y  $\omega_s$  se denomina banda de transición. Los parámetros  $\omega_p$ ,  $\omega_s$ ,  $A_p$ , y  $A_s$  describen completamente las especificaciones del filtro LP [41].

Una función de transferencia de segundo orden que implementa una característica paso de bajo es:

$$Ganancia = \frac{V_0}{V_i} = \frac{b}{s^2 + as + b} = \frac{\omega_0^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (3.2)$$



**Figura 3.17.** Función LP de segundo orden: (a) Atenuación; (b) Posición de polos y ceros en el planos [41].

Como se muestra en la Figura 3.17 la atenuación a bajas frecuencias se aproxima a la unidad (0dB) mientras que a altas frecuencias aumenta como  $s^2$ , es decir 40dB/década. La función de transferencia tiene dos polos, como se muestra en la Figura 3.17(b). La localización de los polos determina el aspecto de la respuesta del filtro en la banda de paso. Para polos de alta  $Q$ , el pico de la banda de paso ocurre a la frecuencia del polo  $\omega_p$ . A medida que aumenta la del polo, el pico será más alto y estrecho [41].

Una aplicación bastante común de filtros LP es el control del tono de amplificadores de alta fidelidad.

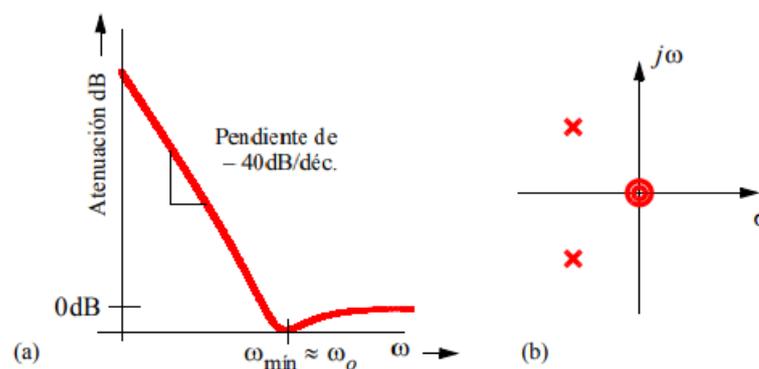
### 3.8.2. Filtros paso de alta.

Un filtro paso de alta (HP) pasa las frecuencias por encima de una frecuencia dada denominada frecuencia de corte. Los parámetros mencionados de  $\omega_p$ ,  $\omega_s$ ,  $A_p$ , y  $A_s$  también caracterizan completamente las especificaciones del filtro HP [41].

Una función de transferencia de segundo orden con característica paso de alta es:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{s^2}{s^2 + as + b} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (3.3)$$

La ganancia tiene un par de polos complejos y un cero doble en el origen como se muestra en la Figura 3.18(a). La atenuación a alta frecuencia se aproxima a la unidad mientras que a baja frecuencia aumenta a 40dB/década [41].



**Figura 3.18.** Filtro HP de 2 orden: (a) Atenuación; (b) Posición de polos y ceros en el plano.

### 3.8.3. Filtros paso de banda

Un filtro paso de banda (BP) pasa las señales en una banda de frecuencias con atenuación muy baja mientras que rechaza las frecuencias a ambos lados de esta banda, como se muestra en la Figura 3.19, la banda de paso de  $\omega_{p1}$  a  $\omega_{p2}$  tiene una atenuación máxima de  $A_p$  dB y las bandas de rechazo, de DC a  $\omega_{s1}$  y de  $\omega_{s2}$  a  $\infty$ , tienen una atenuación mínima de  $A_s$  dB [41].

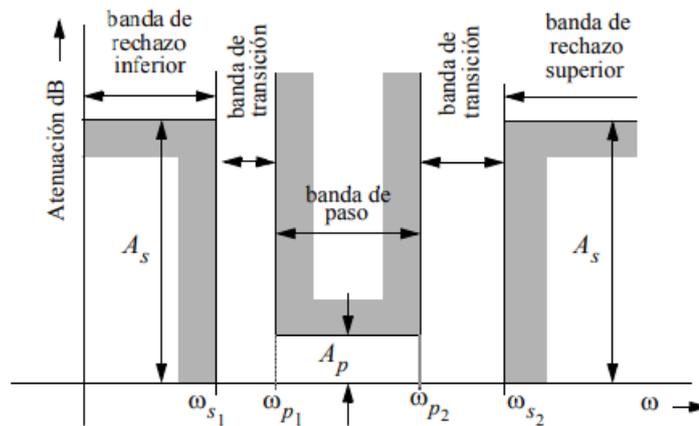


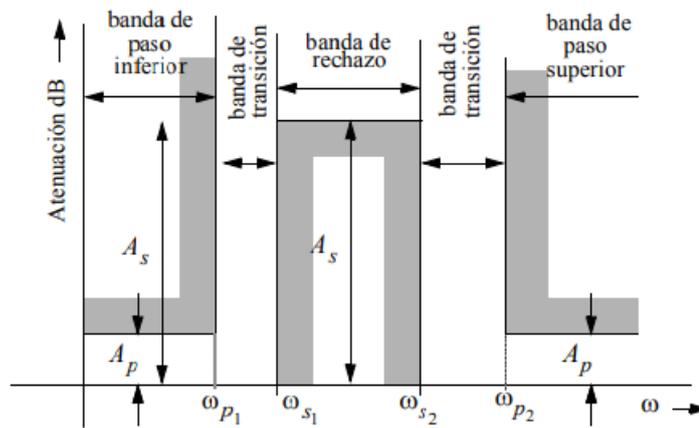
Figura 3.19. Especificaciones típicas de filtro paso de banda [41].

Una función de transferencia de segundo orden con característica paso de banda es:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{\frac{\omega_0}{Q} s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q} s + \omega_0^2} \quad (3.4)$$

### 3.8.4. Filtros rechazo de banda

Los filtros rechazo de banda (BR) se usan para rechazar una banda de frecuencia de una señal, como se aprecia en la Figura 3.20, la banda de frecuencias a rechazar es la banda de rechazo entre  $\omega_{s1}$  y  $\omega_{s2}$ . La banda de paso se extiende por debajo de  $\omega_{p1}$  y por encima de  $\omega_{p2}$  [41].



**Figura 3.20.** Especificaciones de filtro rechazo de banda [41].

Una función de segundo orden con característica rechazo de banda es

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{s^2 + \omega_z^2}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_0^2} \quad (3.5)$$

### 3.9. TOPOLOGÍAS DE RED INDUSTRIAL

La topología de red es una representación gráfica que presenta como se encuentran conectados los distintos dispositivos. Se presentan los enlaces y nodos que componen la infraestructura de comunicación. En la topología de red se asocian también la topología física y topología lógica, donde la primera se refiere a la ubicación de los distintos componentes de la red, instalación de los cables, etc. Y la segunda presenta como fluye los datos dentro de la red (independientemente del diseño físico) [30].

A continuación, se presentan las topologías red para comunicación industrial:

- **Redes punto a punto**

Representa a una manera de comunicación sencilla, pues físicamente se unen en los extremos del cable los dos dispositivos que pretenden comunicarse, ver la Figura 3.21. A manera de ejemplo se toma la implementación de un “Proyecto de red entre dos PLC” [42].

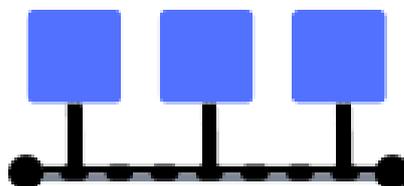
La desventaja de este tipo de topología es que, si uno de los dos dispositivos ya comunicados requiere comunicarse con otro tercer dispositivo, se tiene que realizar una nueva y distinta conexión para cada elemento [30].



**Figura 3.21.** Topología de red punto a punto [32].

- **Topología de bus**

La disposición de esta conexión presenta un modelo en serie para formar una topología lineal consecutiva, ver la Figura 3.22, es decir que todos los dispositivos involucrados mantienen una conexión a un medio de transmisión en común, los sistemas de “bus” de campo clásicos como por ejemplo Profibus presentan este tipo de topología [42].

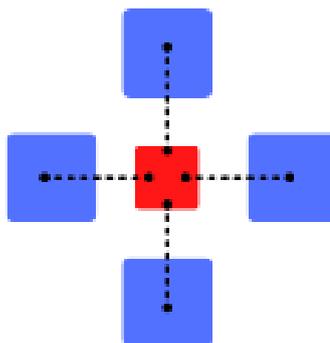


**Figura 3.22.** Topología de bus [32].

- **Topología en estrella**

Esta topología requiere de un elemento que distribuya los datos de ingreso y salida de acuerdo con los requerimientos de cada sensor, el elemento de distribución compone un punto central para recibir y transmitir datos, ver la Figura 3.23.

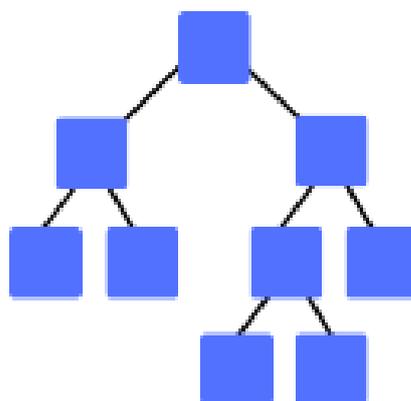
Los elementos se conectan de manera individual al punto central, este elemento puede ser un switch de comunicación. Se requiere de más cables de conexión, la ventaja de este sistema es que si un nodo (elemento) se pone fuera de servicio solo ese nodo es el afectado [42].



**Figura 3.23.** Topología en estrella [32].

- **Topología de árbol**

La topología de árbol mantiene a varios dispositivos de distribución (switch) como dispositivos secundarios de comunicación, ver la Figura 3.24. Por tal motivo se encuentra un parentesco entre la topología en estrella, es así como también a la topología de árbol la conocen como topología de estrella expandida. Por ejemplo, se puede considerar la red de ethernet típica de un centro de internet, pues se utilizará switches como medios de distribución [42].



**Figura 3.24.** Topología de árbol [32].

### 3.10. ESQUEMAS INDUSTRIALES

#### 3.10.1. Esquemas eléctricos

Los esquemas o diagramas eléctricos son representaciones simplificadas de determinados circuitos eléctricos, permiten definir una previa de la ubicación de accesorios y elementos que compondrán al sistema eléctrico, así como la interconexión entre los mismos [43].

Los esquemas eléctricos permiten que las personas con un previo conocimiento en el ámbito eléctrico logren interpretar como está compuesto el esquema eléctrico, instalar el sistema indicado o e incluso modificar al sistema con el fin de mejorar o adicionar algún nuevo elemento al sistema.

La correcta aplicación de la simbología eléctrica en proyectos de diseño eléctrico es muy indispensable, pues es la manera de comunicación entre las personas que se dedican al diseño y ejecución de proyectos de automatización.

**Tabla 3.2.** Normas electrotécnicas para el diseño eléctrico [44].

AEE	Asociación Electrotécnica Española
ANSI	Institutos de normalización nacional de U.S.A.
BS	Prescripciones británicas
CENELEC	Comité europeo para la normalización electrotécnica
DIN	Normas alemanas para la industria
IEC	Comisión electrotécnica internacional
JIS	Prescripciones japonesas
NEMA	Asociación de fabricantes de productos eléctricos U.S.A.
UNE	Una norma española
UTE	Asociación electrotécnica alemana
VDE	Código nacional de electricidad
CNE	Código Nacional de Electricidad (Perú)

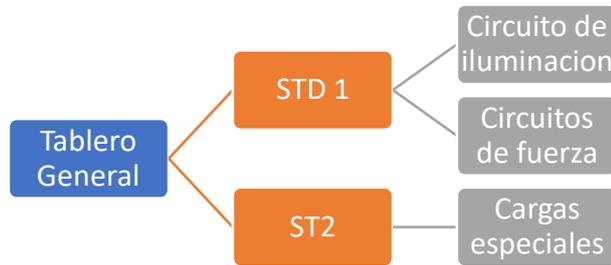
##### 3.10.1.1. Tipos de esquemas eléctricos

Los esquemas eléctricos de acuerdo con su aplicación pueden ser:

###### a. Esquemas explicativos

Es usado al inicio del diseño de un sistema eléctrico, no se emplea ninguna simbología en específica por lo que el modelo del esquema no representa nada más allá de la relación entre

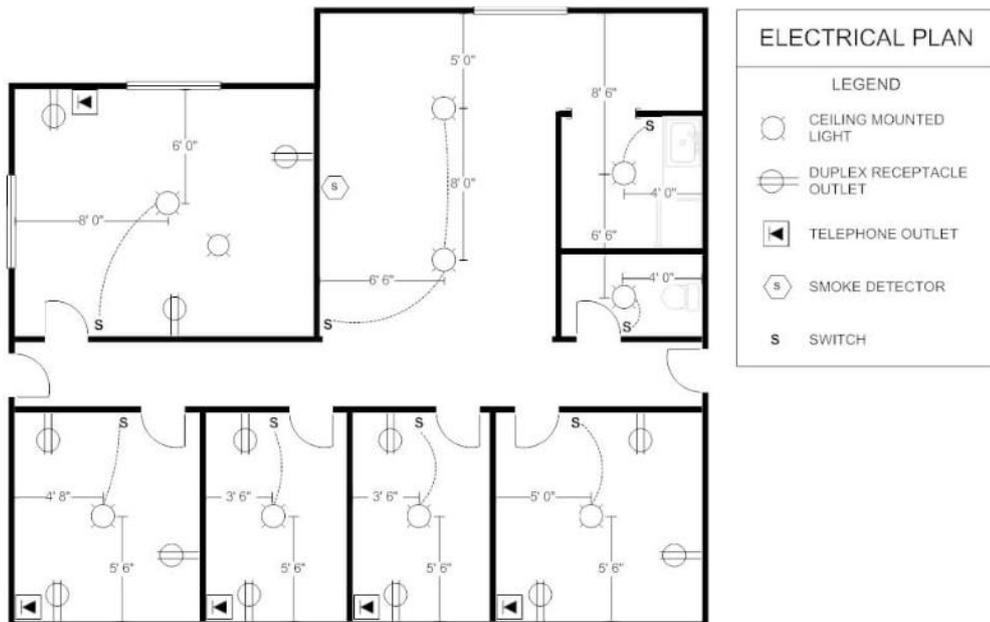
los elementos que lo conforman, ver la Figura 3.25, es decir, que se puede asemejar a un diagrama de flujo [37].



**Figura 3.25.** Ejemplo de un esquema eléctrico explicativo.

### b. Esquemas topográficos

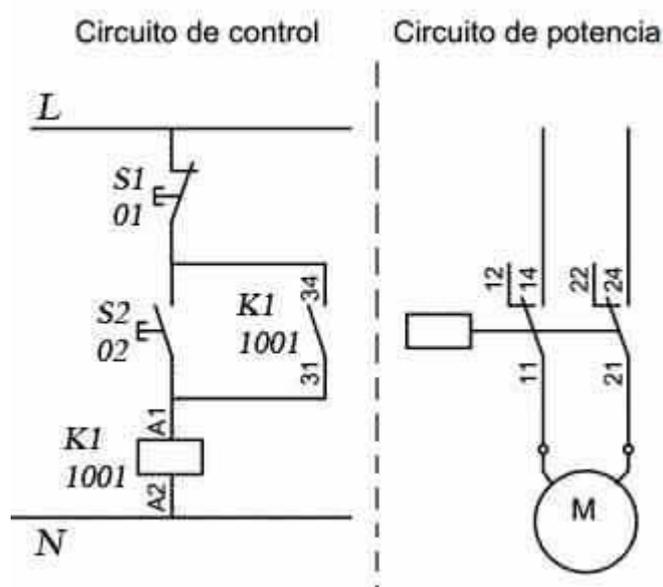
Para este tipo de esquemas es necesario presentar los principales elementos que componen la instalación eléctrica en lo que sería la ubicación física del lugar, ver la Figura 3.26. Es decir, que permite un apoyo con los demás responsables de la obra y que pertenecen a otra área de la construcción [43].



**Figura 3.26.** Ejemplo de un esquema eléctrico topográfico [45].

### c. Esquemas funcionales o de circuito

Es un esquema muy usado en el mundo de la electricidad. Es muy importante durante la fase de diseño, pues permite verificar el funcionamiento del esquema eléctrico, normalmente es usado en softwares de simulación, ver la Figura 3.27. Presentan la interconexión de los elementos que conforman el sistema [43].



**Figura 3.27.** Ejemplo de un esquema eléctrico funcional [46].

### d. Esquemas de conexiones o instalación

Este tipo de esquema es muy utilizado en la fase de instalación (ejecución de la obra), es más complicado de entender ya que el esquema diseñado corresponde a las conexiones de los elementos, lo que hace que en el plano de diseño se encuentren varias “líneas” representando a los conductores eléctricos y creara una confusión a la persona encargada de ejecutar la obra, ver la Figura 3.28, [43].

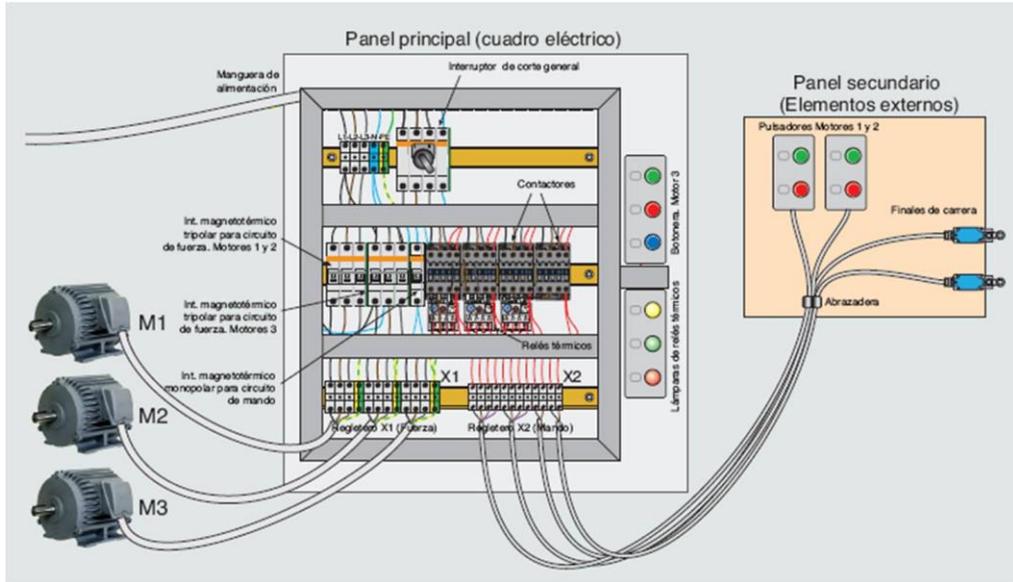


Figura 3.28. Ejemplo de un esquema eléctrico de conexión [47].

### e. Esquema unifilar

En este tipo de esquema se presenta la conexión de todos los elementos que componen al circuito eléctrico de manera muy simplificada, ver la Figura 3.29, es así como el número total de conductores que pasan por un ducto puede ser representado por una única línea [43].

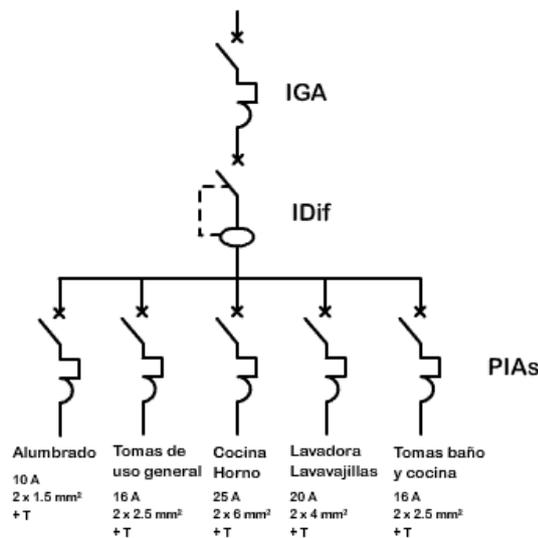
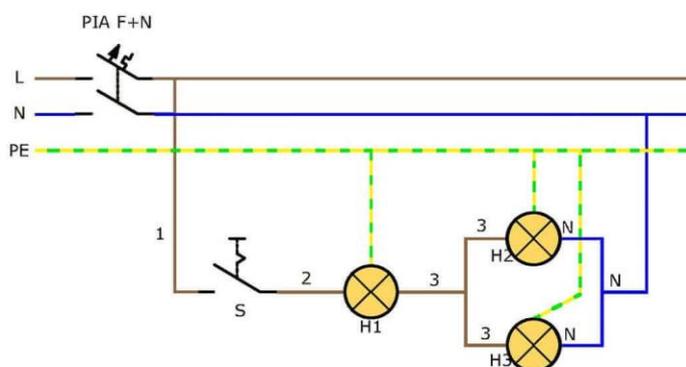


Figura 3.29. Ejemplo de un esquema eléctrico unifilar[48].

### f. Esquema multifilar

En este tipo de esquema se pretende presentar un diagrama más pegado a la realidad de las conexiones, el número de conductores, puntos de conexión, etc. de cómo se conectar los

elementos que componen el sistema de una manera un poco más sencilla, ver la Figura 3.30, [43].

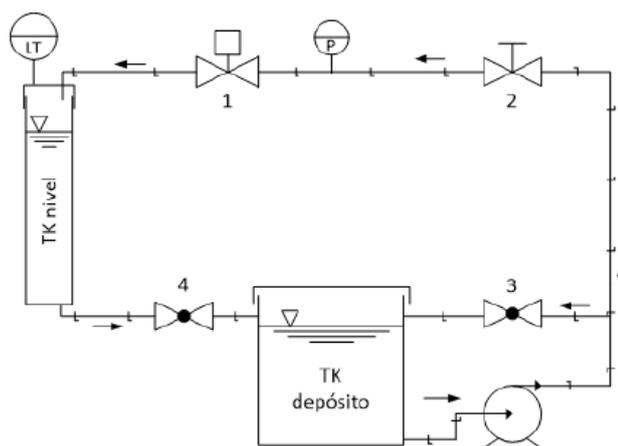


**Figura 3.30.** Ejemplo de un esquema eléctrico multifilar [49].

### 3.10.2. Esquemas P&ID

Los diagramas P&ID son la representación de tuberías e instrumentación (DTI) que se ocupa en una instalación generalmente en el ámbito de la automatización, ver ejemplo de la Figura 3.31. Los diagramas de este tipo se componen por un conjunto de símbolos que permitirán identificar los elementos que conforman un proceso [44]. Entre los elementos más usados en estos tipos de diagramas se encuentran los siguientes:

- Tuberías
- Número de líneas por tubería
- Válvulas
- Control
- Alarmas
- Equipos
- Sensores de nivel
- Presostatos
- Sistemas de drenaje
- Purgas de líquidos
- Bombas
- Etc.



**Figura 3.31.** Ejemplo de un esquema P&ID para un sistema de bombeo [51].

### 3.11. LISTADO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA PROPUESTA DE AUTOMATIZACIÓN

#### 3.11.1. Sensor de presión hidrostático de nivel

El sensor de nivel aplicado a este proyecto es un sensor de presión hidrostático o también llamado de presión diferencial, ver la Figura 3.32, presenta una gran ventaja respecto a los demás sensores de nivel que existen en el mercado. El sensor se sumergirá directamente en el agua donde la presión ejercida del líquido dentro del tanque de recepción será tomada mediante lecturas y ara que este sensor envíe señales de corriente a sus salidas.

Las señales de salida típicas son  $4mA - 20mA$ , estas señales serán tomadas por uno de los LOGO! y serán pasadas a señales de voltaje mediante la caída de tensión en una resistencia de  $500\Omega$ , la alimentación de este sensor es de  $24VDC$ . Con eso se garantiza una vida de tensión de  $0VDC - 10VDC$  que el LOGO! si puede tomar lectura en sus entradas analógicas.



**Figura 3.32.** Sensor de presión diferencial para nivel de agua TL-136 [52].

**a. Comparación entre distintos sensores de nivel**

En el mercado existen varios tipos de sensores de nivel puesto que estos se emplean para la medición de niveles continuos de líquidos. La propuesta de simulación se basó en dos tipos de sensores: ultrasónico y de presión sumergible, los cuales se encuentran en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, sus características, ventajas y desventajas se presentan a continuación en la Tabla 3.3 y Tabla 3.4:

**Tabla 3.3.** Descripción del sensor ultrasónico [53], [54].

Equipo		Características	Ventajas	Desventajas	Costos [\$]
Sensor de nivel ultrasónico.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rango: 0~5m.</li> <li>- Zona ciega: 0.2m~0.5m.</li> <li>- Precisión: 0.3%.</li> <li>- Salida digital: Interfaz RS485, BUS Mod acuerdo o costumbre.</li> <li>- Salida analógica: 4~20mA.</li> <li>- Tensión de alimentación: DC 24 V – 120mA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición sin contacto.</li> <li>- Medición precisa.</li> <li>- Autolimpieza, exento de mantenimiento.</li> <li>- Amplio rango de medición.</li> <li>- Fácil de instalar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensible a las variaciones de temperatura.</li> <li>- Sensible a presiones y temperaturas extremas.</li> <li>- Inadecuado para productos espumosos o que liberan polvo.</li> </ul>	Tiene un precio actualmente en el mercado de \$157.48 dólares.

**Tabla 3.4.** Descripción del sensor de presión diferencial [53], [55].

Equipo		Características	Ventajas	Desventajas	Costos [\$]
Sensor de nivel de presión sumergible.		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sellado herméticamente.</li> <li>- Señal de salida de voltaje: 0 – 10V, 0 – 5V</li> <li>- Señal de la salida de corriente de 4 – 20mA</li> <li>- Todo el acero inoxidable estructura integrada.</li> <li>- Presión varia en calibre o absoluta de 0.05 hasta 20 bar.</li> <li>- Sensor de 2 hilos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición precisa.</li> <li>- Insensible a la espuma y la viscosidad.</li> <li>- Fácil de instalar.</li> <li>- Amplio rango de medición.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mantenimiento regular.</li> <li>- Vaciado del tanque para el montaje, el desmontaje y el mantenimiento del sensor.</li> </ul>	Tiene un precio actualmente en el mercado de \$49 dólares.

### 3.11.2. Bomba sumergible de agua

Se compone de un motor de alto “empuje”, además su cobertura consta de un encapsulamiento epóxico que disipa el calor y previene vibraciones en el estator. La potencia de la bomba aplicada es de 5HP con un consumo de corriente nominal de 27,5 A a 220VAC correspondiente a un sistema trifásico, el diámetro de la bomba junto con el motor es de 4”, ver la Figura 3.33.



**Figura 3.33.** Motor de 5HP de bomba sumergible Franklin Electric.

NOTA: El motor y la bomba descrita en este apartado corresponde a la bomba existente en el lugar de aplicación, por lo que no será sujeta al análisis de costos.

### 3.11.3. Siemens Simatic HMI KTP700 Basic

El panel Siemens Simatic HMI KTP700 Basic, ver la Figura 3.34, mantiene una tendencia para la visualización de alta calidad de las imágenes diseñadas para el control entre hombre-maquina. El panel de operador HMI permite el manejo de la configuración, control y visualización de procesos que requieran los usuarios finales. Mantiene protocolos de comunicación como PROFINET o PROFIBUS de acuerdo con las necesidades del profesional a cargo de montar un sistema de control [56].

Se ha elegido un panel de operador Siemens Simatic HMI KTP700 Basic por las dimensiones que tiene este panel de operador frente a los de menor pulgadas ya que permitirá

el fácil acceso a las pantallas de navegación y su costo es medio respecto a los demás paneles de operador que ofrece la misma marca en mayor proporción de pulgadas. El panel de operador Siemens Simatic HMI KTP700 Basic tiene una alimentación de 24 VDC y un protocolo de comunicación ethernet.



**Figura 3.34.** HMI Siemens Simatic KTP700 Basic [56].

#### 3.11.4. Fuentes de voltaje AC/DC 24Vdc

Se hará uso de dos fuentes de voltaje AC/DC 24VDC, ver la Figura 3.35 pues los autómatas que se usaran son dos LOGO! 12/24 RC, es decir que requieren una alimentación de 12VDC o 24VDC, además el sensor de presión sumergible también requiere una alimentación de 24VDC.



**Figura 3.35.** Fuente de voltaje AC/DC [57].

### 3.11.5. Variador de frecuencia de 7.5HP

Para el presente proyecto es esencial el cambio del arreglo de condensadores (ver la Figura 4.2) por un elemento más sofisticado que tenga prestaciones en cuanto respecta eficiencia energética, entonces se plantea incorporar un variador de frecuencia de Relkom de 7.5HP, ver la Figura 3.36 en el sistema. Con ello se suprime dos grandes inconvenientes que tiene el sistema de potencia actual:

- 1) El variador de frecuencia puede funcionar como un arrancador suave, previamente se debe configurar las rampas de aceleración y desaceleración en segundos.
- 2) El variador de frecuencia tiene la ventaja de disponer una alimentación bifásica y a sus salidas entregar un sistema trifásico balanceado.

Con los dos puntos mencionados anteriormente también se tiene grandes ventajas:

- Control de velocidad de los motores para procesos requeridos.
- Presenta protección hacia el motor, internamente un variador de frecuencia cuenta con mecanismos de protección que permitiendo al motor extender su vida útil mediante la reducción de impactos mecánicos en el par de arranque y en el momento de parada.
- Reducción de armónicos en la red, mediante los filtros ubicados dentro del variador de frecuencia para reducir los armónicos ocasionados producidos por el mismo motor.



**Figura 3.36.** Variador de frecuencia bifásico Relkom de 7.5HP [58].

### 3.11.6. LOGO! V8.3 12/24 RCE

Para la aplicación del presente proyecto se hará uso de dos LOGO! 12/24 RCE, ver la Figura 3.37, donde:

- 1) **LOGO! 1 (receptor):** Será utilizado en el centro de control, será el logo maestro encargado de accionar el sistema de bombeo (sistema de potencia) de acuerdo con los bloques de programación realizados en el software Logo!Soft Comfort V8.3. Estará comunicado mediante radio enlace al LOGO! (emisor) a una distancia aproximada de 239m. Además, presentara también la comunicación con el panel operador HMI mencionado anteriormente, todos los dispositivos estarán comunicados mediante un switch industrial de comunicación.
- 2) **LOGO! 2 (emisor):** Será utilizado en el tanque de recepción junto con el sensor de presión diferencial para tomar la lectura del nivel de agua que se encuentre al interior del tanque y emitir dicha información hacia el LOGO! principal (receptor) para que tome las decisiones de operación de acuerdo con los bloques de programación realizados en el software Logo!Soft Comfort V8.3.

Se ha optado por la aplicación del LOGO! 12/24 RCE, ya que el LOGO! 2 requiere una entrada analógica física para tomar lectura del nivel de agua, por consiguiente los demás LOGO!s no disponen de entradas analógicas por esta razón se tiene que adquirir un módulo de expansión analógico, acarreado más costos de implementación.

Entonces, debido a esto se plantea el uso del LOGO! 12/24 RCE ya que este tiene una característica particular que permite configurar 4 de sus 8 entradas físicas digitales (DI) a entradas físicas analógicas (AI). Por otro lado, la aplicación del LOGO! también se considera el modelo 12/24 RCE ya que tiene prestaciones de protección contra fallos eléctricos, pues al alimentarse de tan solo 24VDC en caso de ocurrir una falla eléctrica el voltaje de falla no será elevado y las protecciones tendrán mayor facilidad al momento de abrir la falla.

El LOGO! presenta un puerto de comunicación ethernet lo que facilita aún más la comunicación entre los distintos dispositivos que se van a incorporar al sistema de automatización.



**Figura 3.37.** LOGO! 12/24 RCE [59].

### 3.11.7. Protecciones

#### b. Disyuntor de Potencia

El disyuntor de potencia será el elemento de protección general y de potencia, tiene una capacidad de nominal de 50A, este elemento distribuirá la corriente hacia los demás elementos de consumo. En la Figura 3.38 se muestra las protecciones que actualmente se encuentran protegiendo al sistema, por que dichos elementos no serán catalogados dentro del análisis de costos.

El disyuntor existente es de la marca ABB serie SACE A1.

#### c. Breaker de 2 polos

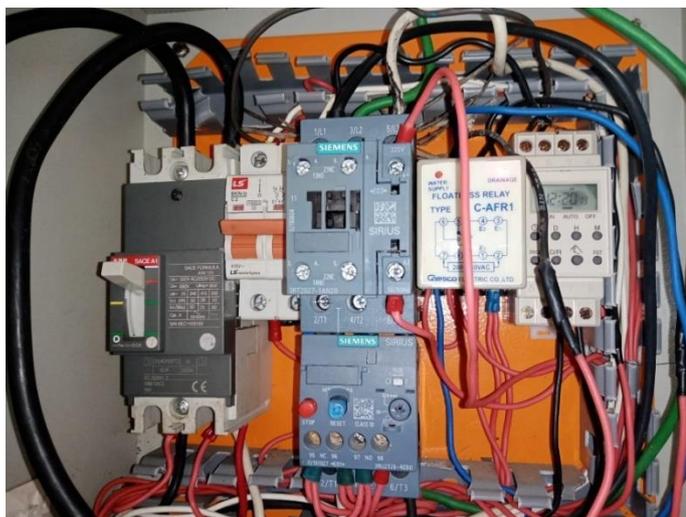
Este breaker es utilizado para la protección de cargas de menor relevancia, como muestra la Figura 3.38, sin embargo para el nuevo diseño del sistema de control y fuerza (potencia) automatizado este breaker protegerá a la fuente de voltaje AC/DC que alimentará al LOGO! 1 y la antena de radio enlace.

#### d. Portafusibles

Para el nuevo sistema de control y fuerza (potencia) será indispensable incorporar un portafusibles para protección de las cargas que consumen una corriente minina como es el caso del LOGO!

### e. Contactor y relé térmico

Todo sistema de potencia debe estar accionado por un elemento que permita la maniobra de apertura y cierre bajo carga, es por ello por lo que se usará el contactor junto con el relé térmico que ya dispone el sistema de control actual (ver Figura 3.38). De esta manera a este circuito de potencia se incluirá el variador de frecuencia para la disminución de picos de corriente demasiado elevados por lo tanto no se tiene la necesidad de implementar protecciones con una capacidad superior de apertura.



**Figura 3.38.** Protecciones del sistema control y potencia.

NOTA: En la Figura 3.38 se puede observar las protecciones del sistema de control y potencia. A excepción del porta fusible, los demás elementos de protección citados en este apartado son elementos existentes en el lugar de aplicación, por lo que no serán sujetos al análisis de costos.

#### 3.11.8. Antenas de radio enlace MikroTik

Considerando la distancia y las mínimas posibilidades de logística para tendido de red (cables aéreos) presentadas en las Figura 4.3 y Figura 4.4 se plantea montar un sistema de comunicación por radio enlace para transmisión de datos entre los dos LOGO! (emisor y receptor).

Por lo tanto, una forma efectiva de transmitir datos es el uso de antenas de radio enlace, para este proyecto presenta un sistema de comunicación entre dos antenas MikroTik, ver la Figura 3.39.

Para la comunicación entre los dos puntos: 1) Centro de Control y 2) Tanque de recepción se requieren dos antenas que actúen como emisor (punto de acceso “AP”) y receptor (modo puente) respectivamente.

La antena MikroTik LHG5 tiene las siguientes características:

- Es un dispositivo Wireless ligero y compacto con una antena grid integrada de 27dBi.
- Es perfecto para ser usado como Equipo Local del Cliente (CPE) en largas distancias o para enlaces Punto a Punto de hasta 40km.
- Esta antena con radio integrada soporta enlaces Punto a Punto y modo cliente/estación,
- Su diseño asegura protección contra el viento y no tiene pérdidas.
- La antena MikroTik LHG-5HPnD-XL (Internacional) soporta un rango de 5150MHz – 5875MHz



**Figura 3.39.** Antena de radio enlace, MikroTik LHG5 [40].

### **3.11.9. Switch de Ethernet y cables de red con conector RJ45**

El switch de ethernet, ver la Figura 3.40 y los cables de red serán utilizados para la conexión entre las antenas con los LOGO!, para el caso del LOGO! 1 que estará ubicado en el centro de control se incluirá el switch de ethernet, pues este elemento permitirá la comunicación del LOGO!, el panel de operador HMI, la antena de radioenlace y adicional la conexión mediante Ethernet de un computador para cargar los programas correspondientes a los LOGO!s.



**Figura 3.40.** Switch industrial [60].

### 3.11.10. Selectores, pulsadores y luces piloto

Los selectores y pulsadores, ver la Figura 3.41 son elementos de control. Los selectores actúan como un interruptor, mientras que los pulsadores solo emitirán un pulso durante el tiempo que se los tenga presionados. Son elementos que serán incluidos en el sistema de control físico, como un modo de operación externo. Las luces piloto serán un indicador visual de que ocurrió una acción, los elementos estarán funcionando en conjunto con el LOGO! correspondiente.



**Figura 3.41.** Selectores, pulsadores y luces piloto.

### 3.11.11. Gabinetes de control

Los gabinetes de control, ver la Figura 3.42 son elementos empleados que alojarán a todos los elementos de control, instrumentación, media que componen al sistema de automatización. Se plantea el uso de dos gabinetes que para el centro de control y para el tanque de recepción.

- f. Gabinete 1: Estará ubicado en centro de control alojará la mayor parte de elementos del sistema de automatización: LOGO!, switch industrial, variador de frecuencia, protecciones, elementos de potencia.
- Gabinete 2: Se ubicará en el tanque de recepción, alojará unos cuantos elementos: LOGO! y protecciones.



**Figura 3.42.** Gabinete de control [61].

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN**

El presente proyecto de investigación se basa principalmente en una investigación de tipo aplicada, ya que se tiene como objetivo resolver un determinado problema de la realidad, necesidad del área donde se ubica el objetivo de estudio, se enfoca en la búsqueda y consolidación del conocimiento para la aplicación de una solución viable al problema. Los investigadores realizaron una visita insitu del entorno, tomaron fiel testimonio de los operadores encargados de maniobrar el sistema de bombeo y realizaron ensayos de funcionamiento del sistema propuesto.

#### **4.1.1. Método bibliográfico**

Se asumió el método bibliográfico ya que previo a los ensayos de funcionamiento del sistema de automatización del sistema de bombeo de agua, los investigadores sustentaron la investigación en una base teórica mediante: fuentes bibliográficas, textos, manuales de dispositivos, blogs tecnológicos, fuentes informativas válidas para el proyecto de investigación, con esto se permitió a los investigadores corroborar datos técnicos acerca de los distintos elementos que se involucraron en el montaje del sistema de bombeo.

#### **4.1.2. Método de campo**

Se recopiló datos fiables sobre el sistema de bombeo del Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito con ello se conoce los problemas reales que presenta el sistema de bombeo, por lo tanto, se logró comprender y observar cómo opera el sistema de bombeo. Además, se verificó las magnitudes eléctricas que rodean al sistema de bombeo hacia dónde va propuesto el modelo de automatización descrito en el transcurso de este documento.

#### **4.1.3. Método de aplicación**

Se considero el método de aplicación pues el presente proyecto contemplo una nueva infraestructura de automatización para que el sistema opere bajo la supervisión y control en tres modos de operación: 1) control automático, 2) control semi manual/automático y 3) control manual., además se permite el monitoreo visual mediante una interfaz HMI brindando de esta manera un control en tiempo real del centro de bombeo del Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito.

#### 4.1.4. Desarrollo del proyecto

- Visita insitu a las instalaciones del centro de bombeo d agua potable del Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito con el acompañamiento del personal cargo de operar el sistema.
- Toma de datos, testimonio de los encargados acerca del funcionamiento del sistema, mediciones de magnitudes eléctricas, revisión de las características de los elementos.
- Selección de elementos de acuerdo con la necesidad de los beneficiarios del proyecto.
- Propuesta y socialización sistema de automatización a los beneficiarios del proyecto.
- Diseño de planos eléctricos para la automatización correspondiente.
- Programación de los autómatas que controlan el nivel de agua en el tanque de recepción.
- Ensayos de prueba y evaluación de funcionamiento del sistema de automatización propuesto (llevado a cabo en el laboratorio de Automatización de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas - Universidad Técnica de Cotopaxi).
- Presentación de la propuesta del modelo final del sistema automático de bombeo de agua potable para el Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito, a los beneficiarios.

## 4.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

### 4.2.1. Técnicas de instrumentos para recolectar información

- **Técnicas**

**Observación:** Se toma en consideración el escenario de funcionamiento actual del sistema de bombeo de agua potable del Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito para la propuesta de automatización más adecuada.

**Medición:** Se realiza las mediciones de las magnitudes eléctricas mediante dispositivos de medida para comprobar que el sistema de control y fuerza funcione adecuadamente.

- **Instrumentos**

**Software:** Se hace uso de los softwares Logo!Soft Comfort V8.3, TIA PORTAL V17 y Winbox para realizar las simulaciones pertinentes, creación de una interfaz HMI y también la comunicación en red de los distintos elementos que conformaran el sistema de control y comunicación.

**Multímetro:** Mediante el uso de este instrumento de medida se comprueba el voltaje en los puntos de conexión y el consumo de corriente de los distintos dispositivos.

#### 4.2.2. Técnicas para el procedimiento y análisis de datos

- **Técnicas:**

**Observación:** Se basa en el monitoreo constante mediante la interfaz HMI desarrollada que permite configuración de tiempos de parada y arranque del sistema automático, modos de operación y un apartado para monitoreo del nivel del tanque de recepción de agua.

#### 4.2.3. Visita técnica al Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito

La información redactada en este apartado corresponde a la fecha de la visita 03 de noviembre de 2022.

##### 4.2.3.1. Información general

**Ubicación:** Recinto Santa Marianita, Cantón Puerto Quito, Provincia de Pichincha.

**Ubicación geográfica:** Coord. UTM - X= 0.111466, Y= -79.189991



**Figura 4.1.** Vista satelital, Recinto Sta. Marianita.

La visita realizada, mantuvo como objetivo recopilar información acerca del sistema eléctrico de bombeo de agua potable del Recinto Santa Marianita, mismo que se encontró con ciertas fallas en el sistema de control, entre las que destacan:

- Dos motores del sistema de bombeo, condición fuera de servicio.
- Una bomba de agua del sistema de bombeo, condición fuera de servicio.
- Picos de corriente demasiado elevados y desbalanceo de corrientes operativas.
- Recalentamiento de conductores (cables).
- Sistema de control mediante temporizador, condición fuera de servicio.
- Caída de tensión en las noches (condición mencionada por el encargado de operar el sistema de bombeo).
- Gabinete de control parcialmente operativo, funcionamiento de para y arranque mediante intervención manual.

#### **4.2.4. Diagnóstico de la visita**

##### **4.2.4.1. Sistema de control**

El sistema de control a la fecha de la visita técnica realizada (03/11/2022) es accionado manualmente por un periodo de 01:30 h hasta 02:00 h aproximadamente, cada día, esto porque existe un daño en el temporizador horario existente.

Considerando que el temporizador horario este en pleno funcionamiento, existe el problema que tal dispositivo acciona la bomba por un rango de tiempo determinado y por 3 veces durante el día, esto sin tener en cuenta el nivel el nivel actual del agua en el tanque de recepción.

Con ello se tiene dos escenarios problemáticos cuando se acciona la bomba con este tipo de sistema que no conocer cómo se encuentra el nivel de agua en dicho momento de accionarse:

- 1) El nivel de agua reservada se encuentra bajo el nivel mínimo deseado para encender la bomba de agua (2/4 del tanque de recepción), entonces el tiempo programado en el temporizador horario no es suficiente para llenar el tanque hasta el nivel deseado (3/4 del tanque de recepción), entonces el agua reservada se agotará más pronto y posteriormente el llenado del tanque tomará más tiempo.
- 2) El nivel de agua reservada se encuentra sobre el nivel mínimo deseado para encender la bomba de agua (2/4 del tanque de recepción), entonces el temporizador al no tener un control proporcional se limita encender la bomba de agua lo que ocasiona un llenado más rápido del tanque de recepción y hace que este se desborde.

#### 4.2.4.2. Alimentación del motor

Además, se observó que la acometida principal corresponde a un sistema monofásico de 2 hilos (220V/120V), mientras que la acometida de alimentación que sale del gabinete de control hacia el motor tiene un pequeño arreglo de capacitores o banco de capacitores que simulan una tercera fase como muestra la Figura 4.2, lo cual indica que el motor es alimentado por un sistema trifásico (simulando la tercera fase mediante el arreglo de condensadores, 220V entre fase) posterior a la salida del gabinete.



**Figura 4.2.** Arreglo de condensadores.

El problema del arreglo de condensadores (ver la Figura 4.2) es que es un método práctico temporal y no permanente, pese que existen formas matemáticas de obtener los condensadores adecuados para incorporar al sistema y que generan una tercera fase. Esto altera el sistema monofásico y fuerza la salida transformándolo a un sistema trifásico, se lo considera como una mala práctica ya que trae consecuencias graves, como inserción de armónicos a red, desbalance de corrientes, desbalance de voltajes, recalentamiento de conductores, desfase angular de la tercera fase simulada solo de  $90^\circ$  [62].

También existe inconvenientes directamente con el motor como reducción del par de arranque de aproximadamente el 40% del par nominal de arranque, reducción de la potencia de trabajo aproximadamente del 30% de la potencia nominal. Siendo así, que el motor a instalar en este tipo de sistema debería suponer un sobredimensionamiento, para que las

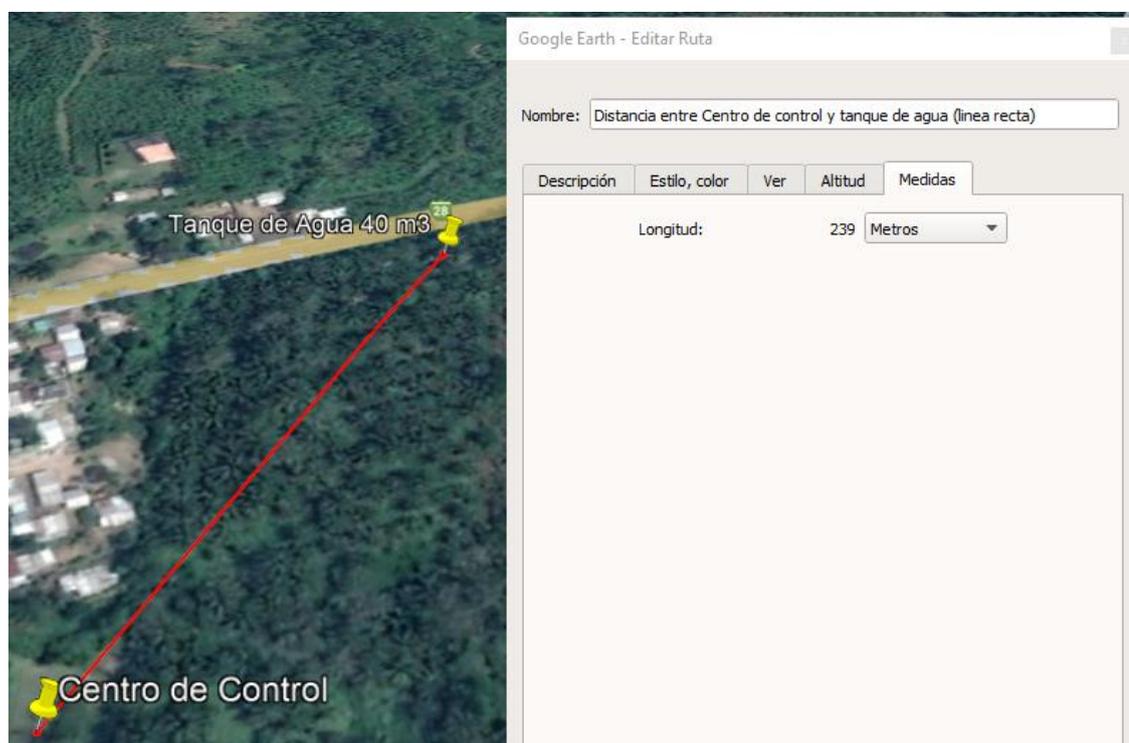
perdidas por par de arranque y potencia puedan compensar a la potencia que realmente se desea, pero también esta potencia para aplicación de condensadores como tercera fase tiene un límite de 5hp máximo [63].

#### 4.2.4.3. Distancia entre el centro de bombeo y el tanque de recepción

Con la ayuda de coordenadas georreferenciadas tomadas insitu, se estimó la distancia existente entre el centro de control y el tanque de recepción, entonces de estimado dos distancias:

##### a) Distancia en línea recta

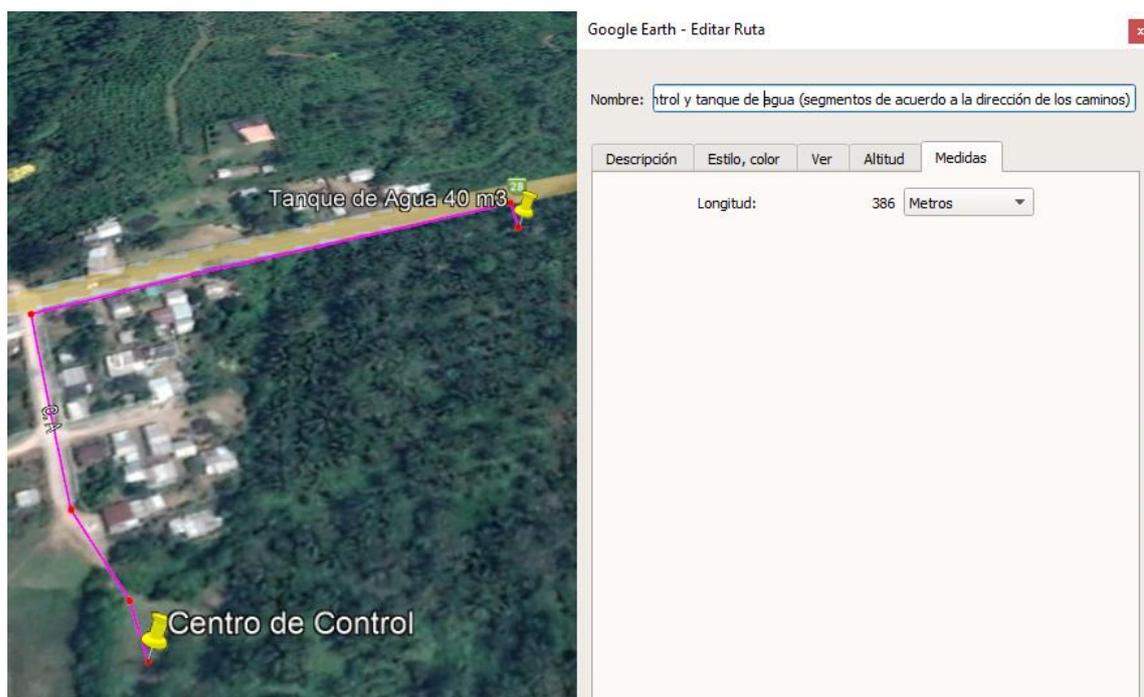
Se tiene una distancia aproximada de 239m de manera lineal entre el centro de bombeo y el tanque de recepción, ver la Figura 4.3, mismo que comprende una trayectoria que cruza por terrenos privados y que la flora del lugar no permiten un libre acceso.



**Figura 4.3.** Trayectoria lineal.

##### b) Distancia de acuerdo con la topología de camino

Se tiene una distancia aproximada de 386m por segmentos lineales entre el centro de bombeo y el tanque de recepción, ver la Figura 4.4, esta trayectoria comprende como guía la topología del camino público y se tiene mayor facilidad de accesibilidad.



**Figura 4.4.** Trayectoria por segmentos lineales.

Las distancias que se indican en la Figura 4.3 y Figura 4.4 corresponden a una vista satelital obtenida por Google Earth, por lo que las distancias no consideran los relieves del terreno lo que acarrea un error, sin embargo, para efecto demostrativos mantiene una distancia aproximada.

### **4.3. PROPUESTA DE AUTOMATIACIÓN PARA EL SISTEMA DE BOMBEO**

En base a la información recopilada, la necesidad de automatizar el sistema de bombeo, las restricciones de operación existentes, la necesidad de un sistema de alimentación trifásico al motor y control del nivel de agua subterránea, se presenta la propuesta de automatización para un sistema de bombeo, se enlistarán los elementos más relevantes para el desarrollo del trabajo y posteriormente en base a la visita técnica se tomarán las consideraciones necesarias para la implementación.

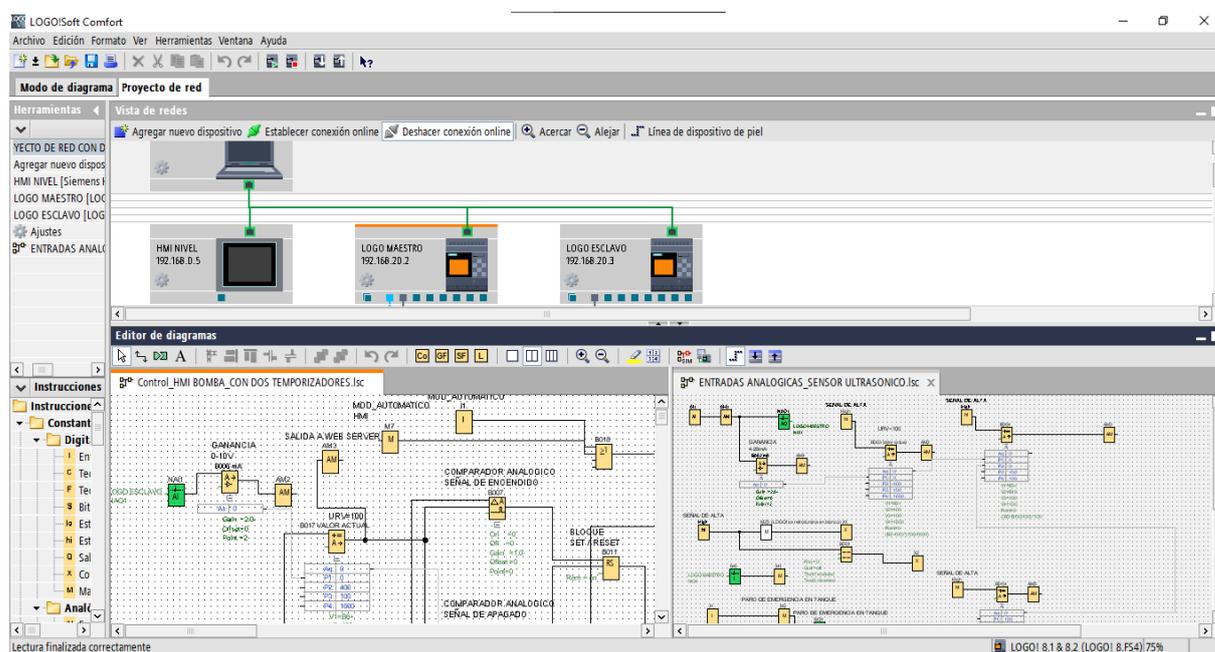
#### **4.3.1. Metodología de la lógica de programación**

La programación de la lógica de control para la automatización del sistema de bombeo se realizó en el software Logo! Soft Comfort V8.3, mediante el lenguaje de programación FUP.

El lenguaje FUP permite la creación de proyectos de red que en esta ocasión es indispensable para la comunicación entre dos puntos distanciados, para iniciar la lógica de programación se plantea los requerimientos del sistema a automatizar, entonces:

- Sistema de bloqueo cuando el nivel de agua en el pozo se encuentre a un valor mínimo.
- Visualización del nivel de agua en el tanque de recepción mediante interfaz HMI.
- Control del sistema de potencia por medio de interfaz HMI.
- Configuraciones de tiempos de trabajos, bloqueos, pantalla de avisos, parametrización de rango de trabajo en el tanque de recepción mediante interfaz HMI.

Con el uso del software Logo! Soft Comfort V8.3, se emplea el desarrollo de los bloques de programación en lenguaje FUP.



**Figura 4.5.** Proyecto de red en el software Logo!Soft Comfort V8.3.

- **LOGO! Maestro**

Se encuentra en el punto del centro de bombeo, contiene la mayor parte de bloques de programación, en el Anexo 12 se presenta la totalidad de bloques usados en la lógica de programación así también como una descripción específica del trabajo que cumplen.

De acuerdo con el Anexo 12 existen en total 69 bloques de programación en la lógica de programación del LOGO! maestro.

- **LOGO! Esclavo**

Se encuentra en el punto del tanque, contiene la mayor parte de bloques de programación, en la Tabla 4.1 se presenta la totalidad de bloques usados en la lógica de programación así también como una descripción específica del trabajo que cumplen.

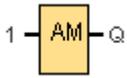
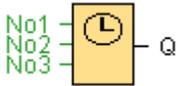
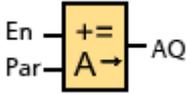
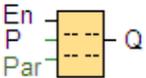
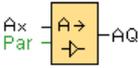
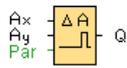
**Tabla 4.1.** Bloques de programación usados en el LOGO! Esclavo.

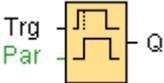
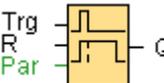
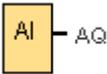
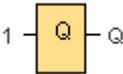
Bloques de lenguaje FUP usados en el LOGO! Maestro			
Índice	Bloque	Descripción	Función
1	AI1	Entrada física analógica	Lee la señal de 4-20mA que emite el sensor de presión diferencial
2	AM1	Marca analógica	Almacenamiento de la información de AI1 para enviar al LOGO! maestro
3	AM2	Marca analógica	Conector abierto del bloque B003
4	AM3	Marca analógica	Conector abierto del bloque B004
5	AM4	Marca analógica	Conector abierto del bloque B002
6	AM5	Marca analógica	Conector abierto del bloque B019
7	B001	Texto de aviso	Configuración de texto en pantalla de LOGO! físico
8	B002	Amplificador analógico	Lee la señal analógica
9	B003	Instrucción aritmética	Valor del nivel en porcentaje del tanque de recepción
10	B004	Instrucción aritmética	Cambia el porcentaje de nivel a metros
11	B005	NOT	Niega Q2 para conectar a una salida de luz piloto
12	B019	Instrucción aritmética	Conversión de centímetros a metros
13	High	Estado 1 (alto)	Mantiene una señal de 1 lógico en todo momento
14	I1	Entrada física digital	Paro de emergencia
15	M1	Marca/Memoria	Habilita/deshabilita el sistema de acuerdo con B009 y B010
16	M2	Marca/Memoria	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
17	M3	Marca/Memoria	Activa Q2 luego de un tiempo de haberse activado Q1
18	M25	Marca/Memoria	Retro ilumina la pantalla del LOGO! en color blanco
19	NIAQ1	Salida analógica de red	Envía la señal analógica recibida en la entrada en la entrada analógica física (AI1)
20	NI1	Entrada de red	Señal de estado de ON/OFF recibido desde LOGO! maestro (NQ1)
21	NI2	Entrada de red	Señal de estado de ON/OFF recibido desde LOGO! maestro (NQ2)
22	NQ1	Salida de red	Señal de 1 lógico enviado hacia PLC Loco maestro (NI1)
23	Q1	Salida física	Salida hacia luz Piloto, sistema encendido
24	Q2	Salida física	Salida hacia luz Piloto, sistema apagado
25	X1	Conector abierto	Conector abierto del bloque M25
26	X2	Conector abierto	Conector abierto del bloque b001

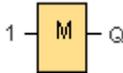
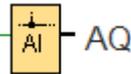
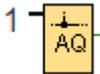
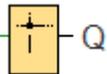
De acuerdo con la Tabla 4.1 existen en total 26 bloques de programación en la lógica de programación del LOGO! esclavo.

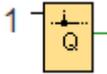
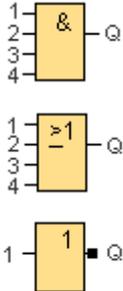
Ya que en el Anexo 12 y Tabla 4.1 se usan bloques de programación similares, se pueden juntar en grupos en común y dar una descripción general quedando de la siguiente distribución, ver Tabla 4.2:

**Tabla 4.2.** Bloques utilizados en el LOGO! Maestro y Esclavo.

Distribución de bloques de programación			
Índice	Tipo de Bloque	Figura	Descripción
1	Marca/memoria analógica		Devuelven a su salida la señal de entrada, se puede interpretar como un bloque de paso y/o almacenamiento.
2	Temporizador semanal		La salida de controla per medio de la activación y desactivación de tiempos configurables de operación. Este bloque soporta varias combinaciones posibles de días de la semana.
3	Instrucción aritmética		Este bloque calcula el valor AQ por medio del planteamiento de una ecuación formada por operados y operadores definidos por el usuario, pudiendo ser valor directamente fijados por el usuario o tomados de la salida de algún otro bloque.
4	Texto de aviso		Cuando el LOGO! está en modo RUN, esta función permite mostrar textos de aviso y parámetros de otros bloques en el display integrado de LOGO! o en un LOGO! TDE.
5	Amplificador analógico		Este bloque amplifica un valor empleado en la entrada analógica y lo devuelve en la salida analógica.
6	Comparador analógico		La salida se activa y se desactiva debido a la diferencia $A_x - A_y$ o también en función de dos valores umbral configurables.
7	Relé autoenclavador		Una señal en la entrada S activa la salida Q. Una señal en la entrada R desactiva la salida Q.

Continuación			
8	Retardo conexión/desconexión		El bloque de función de retardo a la conexión/desconexión puede activar una salida pasado un tiempo de retardo a la conexión configurado y desactivarla tras expirar un segundo tiempo configurado.
9	Retardo a la desconexión		La salida de retardo a la desconexión se desactiva tras haber transcurrido un tiempo configurado en la programación.
10	Estado 1 (alto)		Es parte de los bloques de nivel fijo, siendo en esta ocasión un Estado 1 (alto), es decir que si la entrada de algún bloque debe estar siempre activa, se debe ajustar la entrada Hi.
11	Entrada física digital		Los bloques de entrada representan los bornes de entrada de un LOGO!. Hay 24 entradas digitales disponibles como máximo. En la configuración de bloques puede asignar un borne de entrada diferente a un bloque de entrada, si el nuevo borne no se está utilizando aún en el programa.
12	Entrada física analógica		Los dispositivos LOGO! 12/24RC, LOGO! 12/24RCo, LOGO! 24, LOGO! 24o, LOGO! 24C, LOGO! 24Co y LOGO! 12/24RCE, así como los módulos de ampliación LOGO! AM2 12/24 procesan señales analógicas. Es posible utilizar ocho entradas analógicas como máximo. Algunos bornes de entrada de las versiones LOGO! 0BA6 12/24RC, 12/24RCo, 24/24o, 24C y 24Co tienen una definición dual: pueden utilizarse como entradas digitales o analógicas. En el manual de LOGO! o en la información de producto encontrará más detalles acerca de módulos específicos.
13	Salida física		Los bloques de salida representan los bornes de salida de un LOGO!. Es posible utilizar 20 salidas como máximo. En la configuración de bloques puede asignar un borne de salida diferente a un bloque de salida, si el nuevo borne no se está utilizando aún en el programa.

Continuación			
14	Marca/memoria digital		Devuelven a su salida la señal de entrada, se puede interpretar como un bloque de paso y/o almacenamiento.
15	Entrada analógica de red		<p>Existe la posibilidad de conectar una entrada analógica de red a una entrada de bloque. Se pueden configurar hasta 32 entradas analógicas de red. Las entradas analógicas de red pueden leer valores de los siguientes tipos:</p> <p>VM: Al leer valores de la VM, el rango de la dirección VW está comprendido entre 0 y 849.</p> <p>Dispositivo remoto: Cuando se leen valores de un dispositivo remoto hay que introducir su dirección IP o elegir entre los tipos de dispositivo existentes.</p>
16	Salida analógica de red		<p>Cuando el módulo base LOGO! 0BA7 (o versiones posteriores) está en modo esclavo, se puede configurar una salida analógica de red en el maestro para controlar una salida analógica del esclavo. Es posible configurar hasta 16 salidas analógicas de red.</p> <p>En LOGO! 8 (0BA8.Standard) y versiones posteriores, las salidas analógicas de red pueden escribir valores en los siguientes tipos:</p> <p>VM: Al escribir valores en la VM, el rango de la dirección VW está comprendido entre 0 y 849.</p> <p>Dispositivo remoto: Cuando se escriben valores en un dispositivo remoto hay que introducir primero su dirección IP o seleccionar el dispositivo existente.</p>
17	Entrada de red		<p>Existe la posibilidad de conectar una entrada de red a una entrada de bloque. Se pueden configurar hasta 64 entradas de red. Las entradas de red pueden leer valores de los siguientes tipos:</p> <p>VM: Al leer valores de la VM, el rango de la dirección VB está comprendido entre 0 y 850.</p> <p>Dispositivo remoto: Cuando se leen valores de un dispositivo remoto hay que introducir su dirección IP o elegir entre los tipos de dispositivo existentes.</p>

Continuación			
18	Salida de red		<p>Cuando el módulo base de LOGO! 0BA7 (o un BM de una versión posterior) está en modo esclavo, se puede configurar una salida de red en el maestro para controlar una salida digital del dispositivo remoto. Es posible configurar hasta 64 salidas de red. Las salidas de red pueden escribir valores en los siguientes tipos:</p> <p>VM: Al escribir valores en la VM, el rango de la dirección VB está comprendido entre 0 y 850.</p> <p>Dispositivo remoto: Cuando se escriben valores en un dispositivo remoto hay que introducir primero su dirección IP o seleccionar el dispositivo existente.</p>
19	Conector abierto		<p>Si no utiliza la salida de un bloque (p. ej. en textos de aviso), interconéctela con este bloque. Número de conectores abiertos: 16.</p>
20	Compuertas lógicas AND, OR y NOT		<p>AND: La salida de la función AND solo adopta el estado 1 si todas las entradas tienen el estado 1, es decir, si están cerradas. Si no se utiliza una entrada de este bloque (x), se le asigna el valor <math>x = 1</math>.</p> <p>OR: La salida de una función OR adopta el estado 1 si por lo menos una entrada tiene el estado 1, es decir, si está cerrada. Si no se utiliza una entrada de este bloque (x), se le asigna el valor <math>x = 0</math>.</p> <p>NOT: La salida de una función NOT adopta el estado 1 si la entrada tiene el estado 0. El bloque NOT invierte el estado de la entrada. La ventaja de NOT es p. ej. que para LOGO! ya no se necesitan contactos normalmente cerrados. Solo tiene que utilizar un contacto normalmente abierto y, mediante el bloque NOT, convertirlo en un contacto normalmente cerrado.</p>

El diseño de programación final del LOGO! Maestro y LOGO! Esclavo se presenta en el Anexo 9 y Anexo 10 respectivamente.

Sin embargo para más detalle en la Logo!Soft Comfort V8.3 y TIA PORTAL y Tabla 4.5 se presentan las direcciones internas de los bloques de programación tanto del LOGO! Maestro y Logo Esclavo. El mapeo de variables de entradas, salidas y memorias entre los softwares Logo!Soft Comfort V8.3 y TIA PORTAL V17 mantienen una interpretación a que dirección corresponde, entonces en base al Anexo 2 se presenta la Tabla 4.3 y Tabla 4.5 de

entradas, salidas y memorias utilizadas para la lógica de programación desarrollada en el LOGO! Maestro y LOGO! Esclavo respectivamente.

En la Tabla 4.4 se presenta el mapeo de variables propias de LOGO! y que serán llevadas a TIA PORTAL para la comunicación entre LOGO! Maestro y panel de operador HMI.

- **Gabinete de control principal**

**Tabla 4.3.** Tabla de direcciones usadas en el LOGO! Maestro.

LISTADO DE I/O LOGO SOFT! - SISTEMA DE BOMBEO SANTA MARIANITA					
<b>Sector:</b>	Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito				
<b>Tablero:</b>	001	Logo Mestro			
<b>Fecha:</b>	Octubre 2022 - Marzo 2023				
<b>Módulo:</b>	CPU - Logo				
<b>Modelo:</b>	12/24 RCE				
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN SEÑAL	DIRECCIÓN LOGO	
				LADDER	BLOQUES
<b>ENTRADAS FÍSICAS</b>					
Digitales	MOD_AUTOMATICO	Selector, posición automática	Int selector	I1	I1
	MOD_SEMI MAN/AUT	Selector, posición semi manual/automático	Int selector	I2	I2
	(S3) RUN_MOD SEMI MANUAL/AUT	NO, inicia modo manual cuando se selecciona I2	Pulso star	I3	I3
	(S4) STOP_MOD SEMI MAN/AUT	NC, apaga modo manual cuando se selecciona I3	Pulso stop	I4	I4
	MOD_MANUAL	Interruptor, selecciona modo manual	Interruptor manual	I5	I5
	NIVEL BAJO	NC, abre el sistema en nivel bajo del agua (negado en simulación)	Pulso nivel bajo	I6	I6
	PARO DE EMERGENCIA	NC, paro del sistema de potencia	Paro de emergencia	I7	I7
<b>MARCAS/MEMORIAS</b>					
Digital (Internas)	AUX_GENERAL	Auxiliar NO, enciende Q1	Pulso, star	M1	M1
	AUX_100%_MOD_AUTOMATICO	NC en M3, abertura y bloquea mod man/aut	Pulso, abre M3	M2	M2
	AUX_PROT_SEMI_MAN/AUT	NC en M2, abertura y bloquea mod automático	Pulso, abre M2	M3	M3
	AUX_ON_SEMI_MAN/AUT	Auto enclavamiento M4, inicia mod man/aut	Pulso, enclavamiento M4	M4	M4
	AUX_100%_MOD_MANUAL	NC en M6, abertura y bloquea mod man/aut y aut	Pulso, abre M6	M5	M5
	AUX_MOD_MAN/AUT	NC en M5, abertura y bloquea mod 100% manual	Pulso, abre M5	M6	M6

Continuación					
SALIDAS					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN SEÑAL	DIRECCIÓN LOGO	
				LADDER	BLOQUES
FISICAS					
RELAY	ON_VARIADOR_DE_FRECUENCIA	KM-Variador de frecuencia	Relay	Q1	Q1
	SWITCH_MOTOR	Switcheo señal digital control remoto VF	Relay	Q2	Q2

**Tabla 4.4.** Tabla de direcciones usadas para la comunicación entre LOGO! y HMI.

LISTADO DE I/O HMI KTP700 - SISTEMA DE BOMBEO SANTA MARIANITA					
<b>Sector:</b>	Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito				
<b>Tablero:</b>	001	Logo Maestro			
<b>Fecha:</b>	Octubre 2022 - Marzo 2023				
<b>Módulo:</b>	KTP 700 - HMI (EN TIA PORTAL)				
<b>Modelo:</b>	6AV2123-2GB03-0AX0				
ENTRADAS DIGITALES DE RED					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN SEÑAL	DIRECCIÓN	
				LOGO	HMI
ENTRADAS DE RED					
Digitales	MOD_AUTOMATICO	Selector, posición automática	Int selector	M7	M0.6
	MOD_SEMI MAN/AUT	Selector, posición semi manual/automático	Int selector	M9	M1.0
	(S3) RUN_MOD SEMI MANUAL/AUT	NO, inicia modo manual cuando se selecciona I2	Pulso star	M10	M1.1
	(S4) STOP_MOD SEMI MAN/AUT	NC, apaga modo manual cuando se selecciona I3	Pulso stop	M11	M1.2
	MOD_MANUAL	Interruptor, selecciona modo manual 100%	Interruptor manual	M12	M1.3
	NIVEL BAJO	NC, abre el sistema en nivel bajo del agua	Pulso nivel bajo	M13	M1.4
	PARO DE EMERGENCIA	NC, paro del sistema de potencia	Paro de emergencia	M14	M1.5

<b>Continuación</b>					
<b>MARCAS/MEMORIAS</b>					
Digital	AUX_GENERAL	Marca auxiliar de encendido general	Encendido salidas	M1	M0.0
	AUX_100%_MOD_AUTOMATICO	Activo modo automático, bloquea modo semi man/aut	ActivaM2_BloqueoM3	M2	M0.1
	AUX_PROT_SEMI_MAN/AUT	Activo modo semi manual/automático, bloquea modo aut	ActivaM3_BloqueoM2	M3	M0.2
	AUX_ON_SEMI_MAN/AUT	Bobina de enclavamiento, activo mod semi man/aut	Star mod semi man/aut	M4	M0.3
	AUX_100%_MOD_MANUAL	Activo mod 100% manual, bloquea mod semi man/aut y aut	ActivaM5_BloqueoM6	M5	M0.4
	AUX_MOD_MAN/AUT	Activo mod semi man/aut y aut, bloquea mod 100% manual	ActivaM6_BloqueoM5	M6	M0.5
<b>ENTRADAS ANALOGICAS RED</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL	DIRECCIÓN	
				HMI	
<b>ENTRADAS DE RED</b>					
INTERNO (LOGO)	INSTRUCCIÓN ARIMETICA (INTERNA LOGO)	Trabaja en conjunto con AI1 para escalar la señal a HMI (%)	(B017)	Word	VW17
	INSTRUCCIÓN ARIMETICA (INTERNA LOGO)	Trabaja en conjunto con AI1 para escalar la señal a HMI (m)	(B006)	Word	VW19
<b>SALIDAS FISICAS</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL	DIRECCIÓN	
				LOGO	
<b>FISICAS</b>					
INTERNO (LOGO)	ON_VARIADOR_DE_FRECUENCIA	KM-Variador de frecuencia	Relay	Q0.0	
	SWITCH_MOTOR	Switcheo señal digital control remoto VF	Relay	Q0.1	

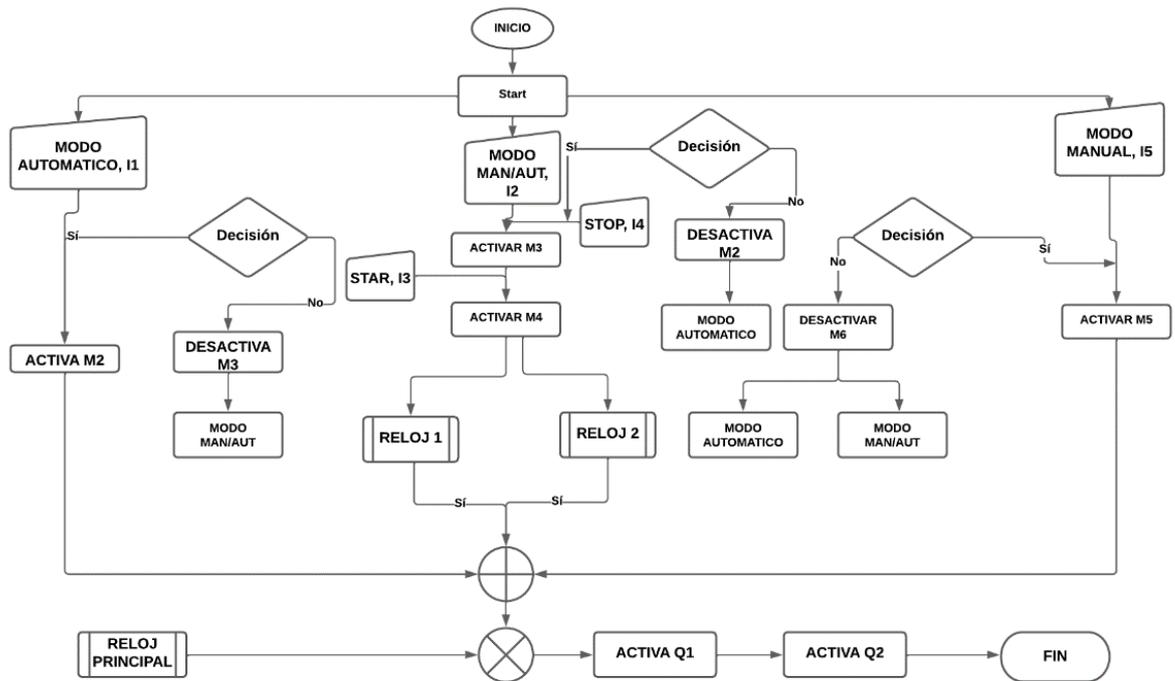
- **Gabinete de control principal**

**Tabla 4.5.** Tabla de direcciones usadas en el LOGO! Esclavo.

LISTADO DE I/O LOGO SOFT! - SISTEMA DE BOMBEO SANTA MARIANITA					
<b>Sector:</b>	Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito				
<b>Tablero:</b>	002	Logo Esclavo			
<b>Fecha:</b>	Octubre 2022 - Marzo 2023				
<b>Módulo:</b>	CPU - Logo				
<b>Modelo:</b>	12/24 RCE				
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL	DIRECCIÓN LOGO	
				LADDER	BLOQUES
<b>ENTRADAS FISICAS</b>					
Digitales	PARO DE EMERGENCIA A TANQUE	Pulsador de paro de emergencia, NC	Interruptor Stop	I1	I1
<b>ENTRADAS ANALOGICAS</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL	DIRECCIÓN LOGO	
				LADDER	BLOQUES
<b>ENTRADAS FISICAS</b>					
Analógicas	SENSOR ULTRASONICO	Sensor de nivel de 4mA a 20mA	Medición	AI1 (I7)	AI1 (I7)

#### 4.3.1.1. Diagrama de flujo del sistema de automatización

Del apartado 3.10.1 correspondiente a los esquemas eléctricos se presenta en el esquema explicativo que deriva en un diagrama de flujo del sistema automatizado presentado en la Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Diagrama de flujo del sistema automatizado

En la Figura 4.6 se detalla la lógica de control que se realiza dentro del autómata programable, las mismas que inician con la selección de un modo de operación elegido por el operador del centro de bombeo. Estas señales son captadas por la lógica interna del LOGO! y de acuerdo con el modo de operación elegido se activarán y desactivarán las compuertas lógicas internas (marcas) bloqueando de esta manera los demás modos de operación para que no exista errores de lectura dentro de la lógica.

#### 4.3.1.2. Interpretación del sistema de automatización

El objetivo primordial de este proyecto es la automatización del sistema de bombeo de agua potable, mediante el uso de autómatas programables, para el abastecimiento del líquido de manera automática para el Recinto Santa Marianita del cantón Puerto Quito.

El sistema de automatización propuesto presenta un panel de operador HMI, dando un salto del control tradicional hacia la tendencia digital. De esta manera se permite la accesibilidad de operador del sistema a la configuración del sistema de automatizado en tiempo real sin la necesidad de intervenir en una reprogramación de los bloques. Es así el sistema estará compuesto de autómatas programables para el montaje de la lógica de control, un variador de frecuencia para un arranque suave y simulación de una tercera fase en el sistema, un panel de operador HMI que permite la visualización del proceso de llenado y

vaciado del tanque de recepción así como también permite la configuración de los relojes de tiempo de trabajo para el modo de operación semi manual/automático, y también lograr controlar todo el sistema desde el mismo panel HMI.

Mediante el panel de operador HMI se establece tres modos de operación:

- 1) **Modo Automático:** El sensor de presión diferencial emitirá una señal de corriente hacia la entrada analógica del LOGO!, que mediante una resistencia de  $500\Omega$  se generará una caída de voltaje la cual el LOGO! tomará lectura y de acuerdo con la programación en bloques tomará las decisiones pertinentes.
- 2) **Modo Semi manual/automático:** Este modo de operación es el respaldo del modo automático en caso de que el sensor de presión diferencial llegara a dañarse. Este modo de operación actuara en función de las levas de tiempo configuradas en el apartado del panel de operador HMI.
- 3) **Modo Manual:** El modo manual trabaja independientemente de la lectura de sensor de presión diferencial, dentro o fuera de las levas de tiempo. Este modo ha sido configurado para el momento que se realice los mantenimientos e los equipos, del tanque de reservorio y/o de la bomba de presión constante.

Para el sistema de comunicación entre los logos se plantea la incorporación de dos antenas de radioenlace.

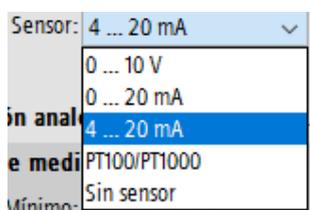
#### 4.3.2. Metodología de escalamiento de señal analógica en LOGO!

De acuerdo con la Logo!Soft Comfort V8.3 y TIA PORTAL Forman en mayor parte son:

- Variables de entrada físicas digitales.
- Variables de salida físicas tipo relay.
- Variable de entrada física analógica.

Las demás variables corresponden a los bloques de programación interna. Sin embargo, un bloque muy importante a considerar es el *BO06* que corresponde a un amplificador analógico. Es el encargado de procesar la señal analógica física, la configuración de este bloque de este bloque de programación es sencilla, en la Figura 4.7 se presenta las diversas señales que puede captar dicho bloque de programación. En el apartado 3.11.1 correspondiente al sensor de nivel utilizado, se indica que el sensor emitirá una señal en corriente de  $4mA - 20mA$ , entonces de acuerdo con esto en el bloque de programación *BO06* se elige que el sensor será

de  $4\text{mA} - 20\text{mA}$ . Adicional la configuración de los rangos de medida del bloque *B006* se establecen de manera proporcional con la señal de corriente del sensor y se multiplica por 100 con el afán de mantener un rango de medida proporcional a la salida de corriente que emite el sensor de presión diferencial, ver Figura 4.8.



**Figura 4.7.** Selección del tipo de señal que emite el sensor.

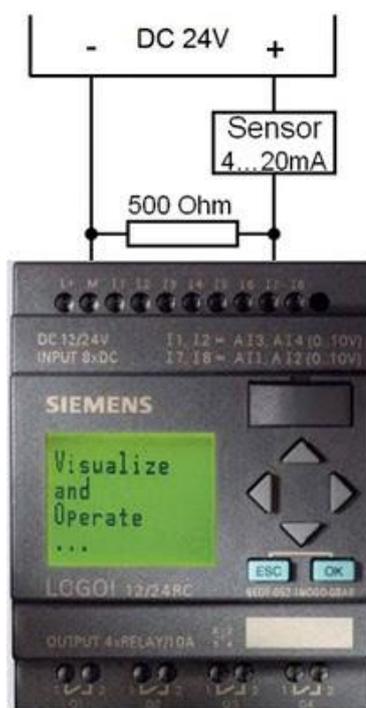
**Figura 4.8.** Configuración del bloque de programación B006.

El número de decimales presentados en la Figura 4.8, han sido dos con el fin de que el rango de medida recorra dos decimales hacia la izquierda de esta manera se tendría una equivalencia justa con la señal de corriente que emite el sensor de presión diferencial.

#### 4.3.2.1. Escalamiento de señales analógicas

Luego de haber configurado el bloque de programación *B006* la señal de salida de este bloque de programación debe ser tratada para establecer el rango en las unidades de medida requeridos. Entonces la señal del bloque *B006* es llevada a otro bloque de programación que corresponde a una instrucción aritmética del bloque de programación *B017*.

Hay que recordar que el LOGO! 12/24 RCE tiene entradas analógicas físicas de  $0V - 10V$  y que el sensor utilizado en este proyecto emite señales de corriente de  $4mA - 20mA$ . Entonces una practica sencilla es conectar una resistencia en el borne de la entrada analógica del LOGO! junto con la señal de corriente que emite el sensor (de dos hilos) de presión diferencial de esta manera se generara una caída de tensión y se pasara de señal de corriente a señal de voltaje.



**Figura 4.9.** Conexión de un sensor de 2 hilos [64].

- **Resistencia aplicada para conversión de corriente a voltaje**

El detalle del arreglo anterior es que la caída de tensión es proporcional al nivel de corriente, por lo tanto, se tiene ciertas consideraciones:

- El sensor de presión diferencial emite una señal de corriente de  $4mA$ , lo interpreta como un nivel mínimo de agua dentro de un recipiente.
- El sensor de presión diferencial emite una señal de corriente de  $20mA$ , lo interpreta como un nivel máximo de agua dentro de un recipiente.
- Al ubicar la resistencia y generar una caída de tensión, esta representará ya un cierto valor que equivale a un nivel de voltaje lo que el logo lo interpretará que ya existe un cierto nivel de agua dentro del repiente, esto será falso.

A modo de ejemplo se presenta en la Tabla 4.6 la correspondencia de magnitudes eléctricas en base a una distancia máxima de 1 metro:

**Tabla 4.6.** Correspondencia de magnitudes eléctricas.

Desconexión		Distancia [m]	
Nivel		0	1
[mA]	0	4	20
[V]	0	2	10
Bytes (Memoria Logo)	0	400	2000

Para que la interpretación de variables de corriente y voltaje debe incluir una resistencia adecuada, es decir que:

- $4mA \rightarrow 2V$
- $20mA \rightarrow 10V$

Por lo tanto, mediante la aplicación de la ley de ohm [65], ver ecuación (4.1):

$$V = I * R \quad (4.1)$$

Donde:

- $V$ : Voltaje [V]
- $I$ : Corriente [A]
- $R$ : Resistencia [ $\Omega$ ]

Se despeja la resistencia que es la que se desea encontrar, ver ecuación (4.2):

$$R=VI \quad (4.2)$$

Considerando los valores límite de voltaje de, se estable una pequeña operación matemática:

- **Para el límite inferior,  $4mA \rightarrow 2V$**

$$R = \frac{2[V]}{4 * 10^{-3}[A]} = 500\Omega \quad (4.3)$$

- **Para el límite superior,  $20mA \rightarrow 10V$**

$$R = \frac{10[V]}{20 * 10^{-3}[A]} = 500\Omega \quad (4.4)$$

De acuerdo con las ecuaciones (4.3) y (4.4) que representan el límite mínimo y límite máximo da como resultado que se requiere una resistencia de:

$$R = 500\Omega \quad (4.5)$$

Hasta este momento se ha obtenido la resistencia que se ocupara para generar la caída de tensión, ver ecuación (4.5).

- **Escalamiento de la señal analógica de  $4mA - 20mA$**

Retomando el ejemplo mencionado en la Tabla 4.6, se dice que:

- $2V \rightarrow 0m$
- $10V \rightarrow 1m$

A simple vista se evidencia un error de lectura, pues la distancia mínima de 0 metros no podría corresponder a  $2V$  ya que esto indicaría que los  $2V$  representan a un valor mínimo de llenado del tanque de recepción.

Sin embargo, este efecto de error se da porque al pasar de señal de corriente a señal de voltaje la interpretación física varia, entonces se tiene que escalar dicha señal (ver la Figura 4.10) por medio de la ecuación de la recta, ver ecuación (4.6):

$$y = mx + b \quad (4.6)$$

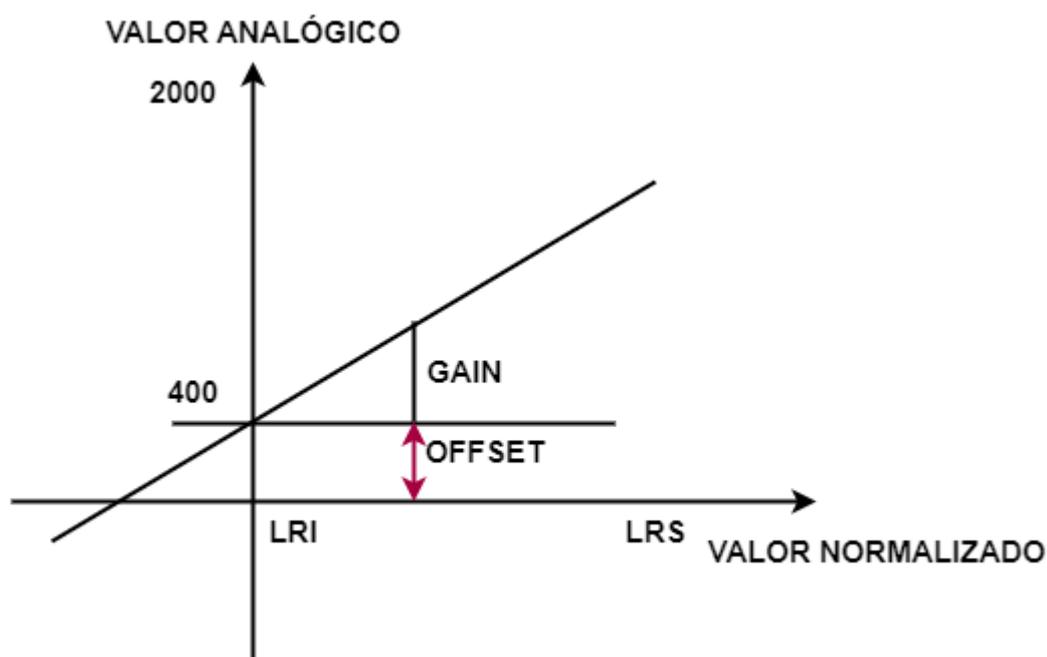
Donde:

- y: valor analógico
- m: valor normalizado
- x: ganancia
- b: pendiente (offset)

Para el escalamiento adecuado del valor de corriente se considera la configuración del rango de medida de la Figura 4.8, donde:

- Rango de media mínimo: 400
- Rango de media máximo: 2000

Junto con la ecuación de la pendiente de establecer la siguiente:



**Figura 4.10.** Recta para escalamiento de la señal de 4mA-20mA.

De la Figura 4.10, se tiene que:

- Y: valor analógico en un rango de 400 a 2000
- X: valor normalizado, rango de medida requerido
- LRI: Limite de rango inferior
- LRS: Limite de rango superior

- Gain: amplifica la magnitud eléctrica
- Offset: permite el cambio del punto cero de la magnitud eléctrica

De la ecuación (4.6), ecuación de la recta se requiere extraer la ganancia o también llamada pendiente. Para lo cual se plantea la ecuación (4.7).

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{LRS - LRI} \quad (4.7)$$

Si se considera que  $LRI = 0$  y con los datos presentados en la Figura 4.10 se tiene que:

- $LRI = 0$  Figura 4.10. Recta para escalamiento de la señal de 4mA-20mA.
- $Y_2 = 2000$
- $Y_1 = 400$  Figura 4.10. Recta para escalamiento de la señal de 4mA-20mA.

Se llega a obtener:

$$m = \frac{2000 - 400}{LRS - 0} \quad (4.8)$$

$$m = \frac{1600}{LRS}$$

Si se reemplaza el resultado obtenido de la ecuación (4.8) en la ecuación (4.6) se obtiene:

$$y = mx + b \quad (4.9)$$

$$y = \left(\frac{1600}{LRS}\right)x + b$$

De la ecuación (4.9),  $b$  es el punto de corte con el eje  $y$  cuando  $x = 0$  por lo que  $x = 400$ .

De la ecuación (4.9) despejar  $x$ , ver ecuación (4.10):

$$x = (y - 400) \left(\frac{LRS}{1600}\right) \quad (4.10)$$

Donde:

- $x$ : nuevo valor obtenido resultado del escalamiento.

- $y$ : valor de corriente, de acuerdo con la Figura 4.8 se tiene el rango de media de 400 – 2000.
- $LRS$ : límite superior, para este caso será un valor constante de 100 unidades que corresponde al nivel de llano del tanque de recepción al 100%.

Para cargar la ecuación (4.10) dentro de la lógica de control se requiere un bloque de instrucción aritmética, que para el caso de este proyecto corresponde al bloque  $B017$ .

**Figura 4.11.** Configuración del escalamiento de 4mA-20mA en el bloque B017.

Explicación, configuración de la Figura 4.11:

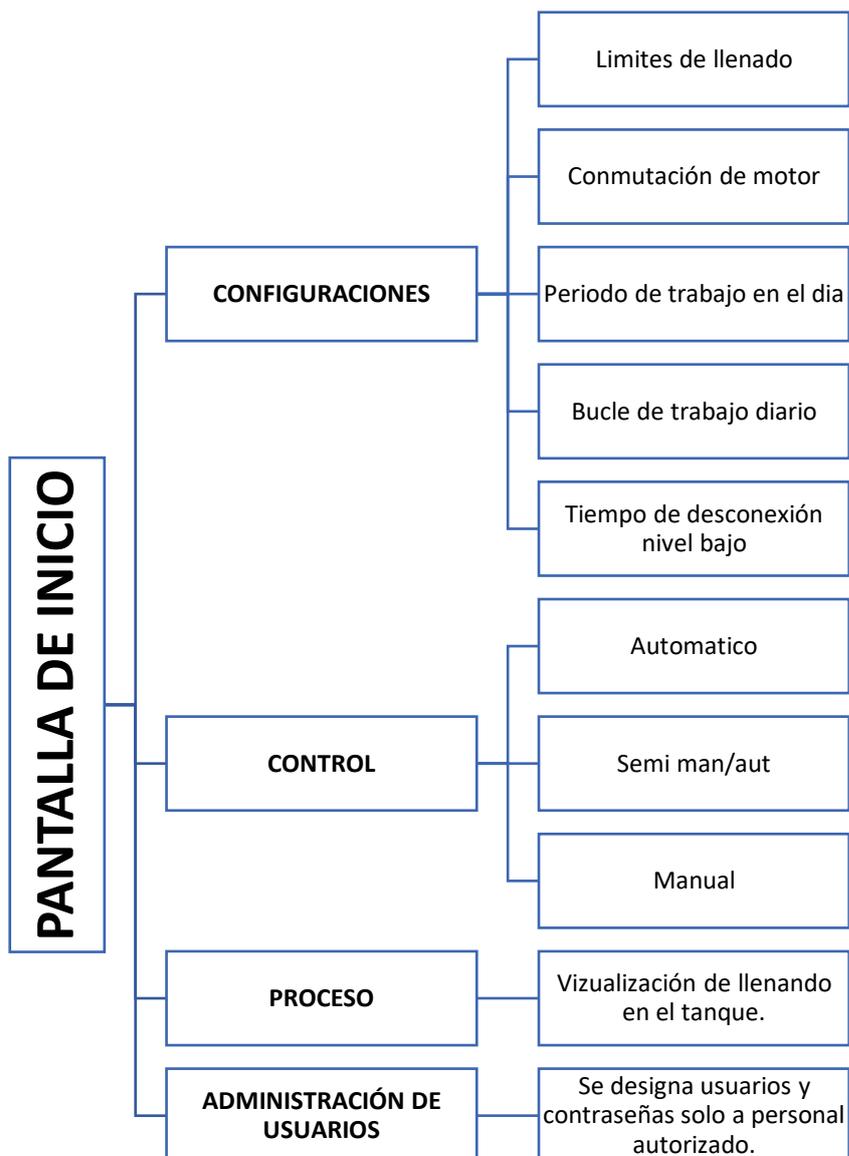
- $V1$ : corresponde al valor de  $y$  que toma el valor directo del bloque B006. Por ende, el valor que llegara a  $V1$  estar sujeto a un rango de 400-2000.

- Los valores 400 y 1600 representan un valor constante en la ecuación (4.10), son valores que permiten el adecuado escalamiento del sistema se ubican en  $V2$  Y  $V4$  respectivamente.
- El valor de 100 que se encuentra en  $V3$  corresponde a  $LRS$  de la ecuación (4.10) que define el valor del 100% del nivel del tanque de recepción, en si es el valor máximo que tendrá el escalamiento, es decir que este valor ira variando de acuerdo con el rango de media requerido.

#### **4.3.3. Metodología del diseño y configuración de panel de operador HMI**

Para la configuración de la interfaz gráfica del panel de operador HMI se consideraron varios aspectos, con la finalidad de que el operador del centro de control pueda modificarlos y manejarlos según lo que requiera, entre estos podemos encontrar: modificación del periodo de trabajo del motor, el tiempo de espera de encendido en caso de nivel bajo de agua subterránea, monitoreo del nivel del agua en el tanque de recepción , niveles mínimos y máximos de llenado del tanque, entre otras cosas más.

Esta interfaz pretende ser amigable con el operador del centro de control ya que también se podrá controlar el encendido y apagado del motor de forma automática, semi manual/automática y manual. Las plantillas utilizadas y lo que contiene se presenta en el siguiente diagrama:



**Figura 4.12.** Distribución de las pantallas del panel de operador HMI.

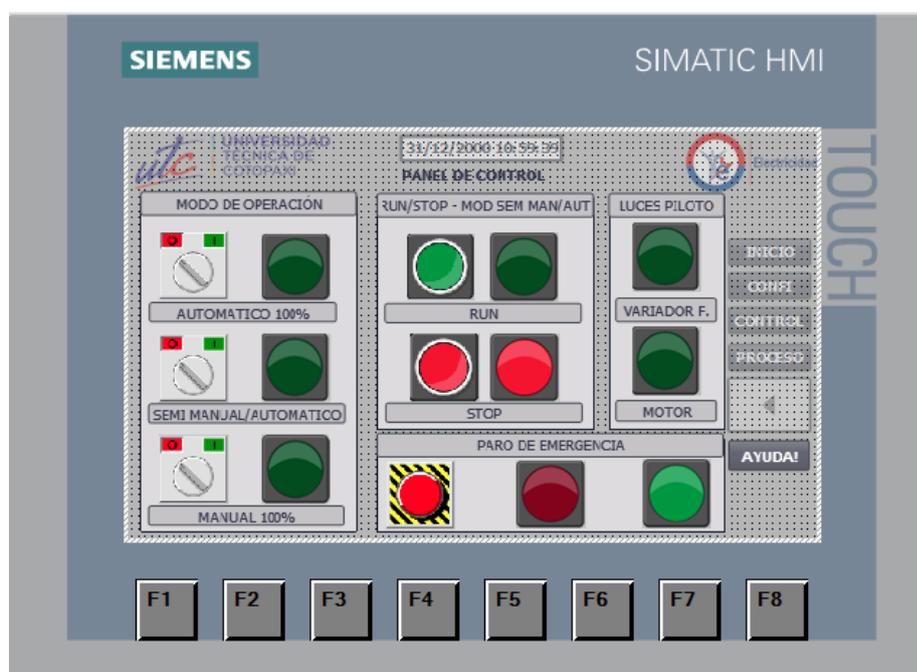
Como se aprecia en la Figura 4.12, las interfases tienen sus propias características y se podrían detallar de la siguiente manera; la interfaz del proceso va relacionado con la medición del sensor de nivel, el cual se encuentra todo el tiempo en el tanque y envía lecturas del nivel de agua en todo momento a la interfaz.

La interfaz de control manipula de manera digital las entradas de accionamiento de cada uno de los sistema utilizados sea automático, semi manual/automático y manual, además, se relaciona al sistema automático con el sensor del nivel puesto que, este controla el encendido y apagado de la bomba de agua mediante la lectura del nivel de agua existente en el tanque de recepción , el sistema semi manual/automático va relacionado con la interfaz del bucle de trabajo diario ya que este sistema trabaja en función de periodos de tiempo en el día.

En la interfaz de configuraciones se pueden encontrar todas las interfaces secundarias que se pueden manipular en función de los requerimientos del operador del centro de control, por medio del cual se puede configurar el rango de nivel de agua, los tiempos de encendido del motor en función del encendido del variador, las horas que va a trabajar el sistema con normalidad, los rangos de trabajo en función de horas que va estar encendido el motor al accionarse el sistema semi manual/automático y finalmente el tiempo de espera del motor para que el nivel del agua subterránea llegue a nivel óptimo para que el motor y la bomba sigan trabajando con normalidad en caso de que el nivel de agua subterránea baje demasiado.

#### 4.3.3.1. Operación del sistema, panel de operador HMI

Mediante el panel de operador HMI se presenta diversas pantallas de navegación que permitirán al usuario interactuar con el sistema. Entre las pantallas se encuentra la presentada en la Figura 4.14 la cual presenta como el usuario desea operar al sistema.

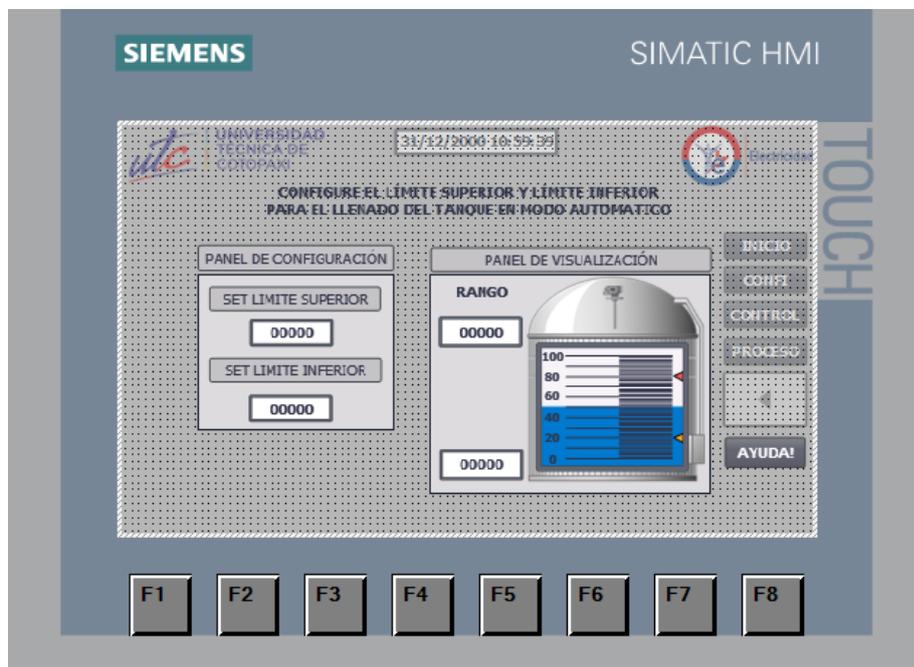


**Figura 4.13.** Pantalla de control, modos de operación.

- **Modo Automático**

Al elegir el modo de operación automático, este trabajara de acuerdo con la lectura tomada del tanque de recepción junto con los rangos de encendido y apagado de la bomba de agua

configurados previamente, en la Figura 4.14 se presenta una pantalla previa de la interfaz de configuración.

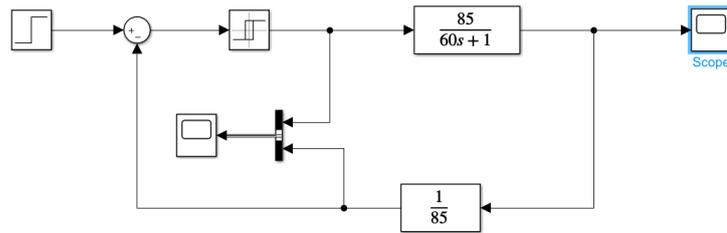


**Figura 4.14.** Pantalla de configuración de límites de llenado y vaciado.

- **Función de transferencia del modo de operación automático**

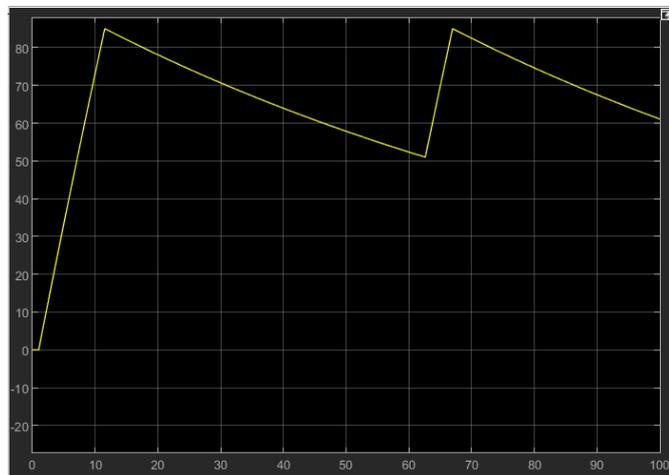
Para considerar una función de transferencia en función del comportamiento del llenado del tanque se debe tomar en cuenta la señal recibida del sensor de nivel, la cual pasa por un proceso de conversión de medida física analógica a medida de corriente o voltaje, las cuales ingresando al LOGO! y tras un proceso de conversión A/D se convierten las señales analógicas en digitales, el proceso explicado completamente se encuentra en el apartado 4.3.2.1.

Tras este proceso se consideran dos variables importantes las cuales son: el límite máximo de llenado que va a tener nuestro tanque (lo consideraremos como una ganancia) y el tiempo estimado de llenado (se consideró como una constante), de manera representativa muestra diagrama de bloques con nuestra función de transferencia quedaría de la siguiente manera:



**Figura 4.15.** Diagrama de bloques del sistema de control.

Como se puede apreciar en la imagen, el diagrama contiene una función de transferencia en donde se puede apreciar la ganancia referencial que en este caso es de 85 cm (límite máximo de llenado) y nuestra constante de tiempo, además se presenta una histéresis con un rango de 40% de trabajo a modo de ejemplo para observar el comportamiento de llenado de nuestro sistema.

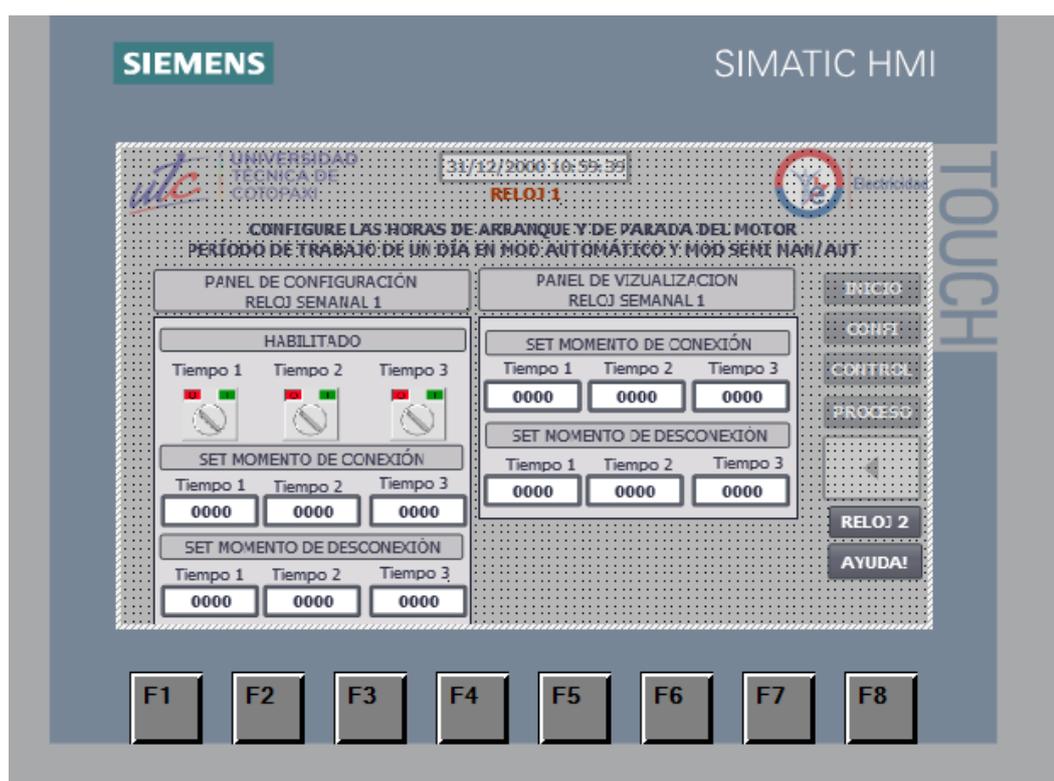


**Figura 4.16.** Control On - Off con histéresis.

Como se puede apreciar en la Figura 4.16, nuestro sistema no comienza de manera inmediata tiene un tiempo de retardo, considerando a manera de ejemplo, si nuestro tanque se encuentra vacío y se enciende el sistema de control automático el motor no entra a trabajar en el instante en que el control empezó a operar, sino que tiene su tiempo de retardo, finalmente, se puede apreciar el rango de trabajo que tiene el sistema de control con la histéresis, ya que esta nos ayuda a crear un intervalo de trabajo para mantenernos a un nivel mínimo hasta un nivel máximo, hay que tomar en cuenta que el valor máximo de llenado colocado en la función de transferencia no es el valor total del tanque, son valores diferentes.

- **Modo Semi manual/automático**

Al elegir el modo de semi manual/automático, trabajara en función de ciertos configurados en la pantalla del panel de operador HMI presentados en la Figura 4.17. Donde se configurará los tiempos de encendido y apagado del sistema. Cabe recalcar que este modo de operación se ha propuesto como un medio de respaldo en caso de que el sensor de presión diferencial llegara a dañarse lo que ocasionaría que el sistema colapse. Por lo tanto, este modo d operación trabajara independientemente de la lectura tomara en el tanque de recepción.

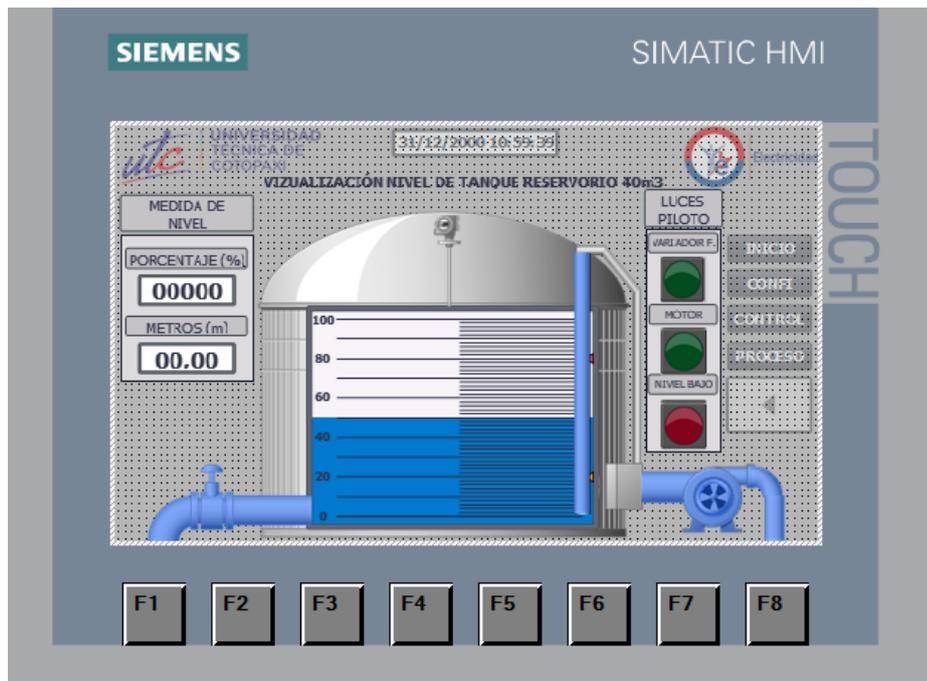


**Figura 4.17.** Levas de operación.

- **Modo Manual**

En este modo de operación se trabajará de manera independiente de la lectura tomada por el sensor de presión diferencial y también de las levas de tiempo configuradas. Pues este modo de operación está dedicado para que los operadores del sistema de bombeo puedan dar mantenimiento a las cañerías, al tanque de recepción o accionar y sistema en algún momento que requiera bombear el sistema de manera imprevista, es decir, que no esté contemplado el accionamiento de la bomba de agua dentro de las configuraciones de los modos de operación automático y semi manual/automático.

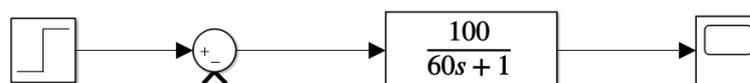
Cualquiera que sea el modo de operación elegido por el operador del centro de bombeo la lógica de programación del autómatas programables del LOGO! esclavo (emisor) tiene la posibilidad de tomar lectura en tiempo real del nivel del tanque y transmitir por medio de las antenas de radio frecuencia hacia el LOGO! maestro (receptor) presentando una figura animada para que el operador monitoree el nivel del tanque que se encuentre en dado momento, ver Figura 4.18.



**Figura 4.18.** Pantalla de monitoreo del nivel de agua.

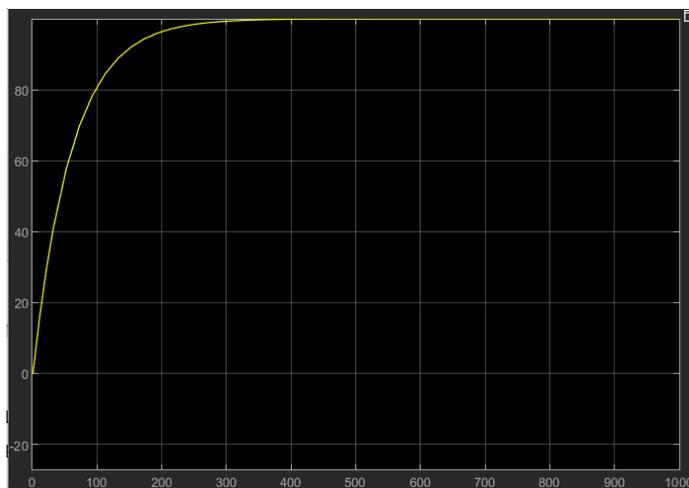
- **Función de transferencia del modo de operación manual.**

Como el sistema manual posee intervención humana nuestro diagrama de bloques quedaría de la siguiente manera:



**Figura 4.19.** Diagrama de bloques del control manual.

Por lo que, al ser un control manual accionado por un operador, si el sistema no es detenido en el tiempo adecuado el nivel de agua llegara hasta la altura máxima del tanque y se derrama, lo cual viene representado por la siguiente imagen:



**Figura 4.20.** Control On- Off del sistema manual.

De esta manera se considera que el sistema manual es el más deficiente de todos puesto que, si no hay intervención del operador, el nivel del agua en el tanque no se detendrá en los niveles requeridos.

#### 4.3.4. Metodología de la configuración de antenas de radio enlace

El sistema ocupara dos antenas de radio enlace descritos en el apartado 3.11.8, mismas que serán útiles para la etapa de comunicación. Entonces:

- **Antena 1:** Corresponde a una antena MikroTik modelo LHG5, actuara como antena en modo emisor junto con el LOGO! esclavo (emisor), es decir, estará configurara en modo Punto de Acceso (AP).
- **Antena 2:** Corresponde a una antena MikroTik modelo LHG5, actuara como antena en modo receptor junto con el sistema de control y potencia que se encuentra en el centro de control, es decir, estará configurara en modo Puente, permitirá la conexión de una o varias antenas.

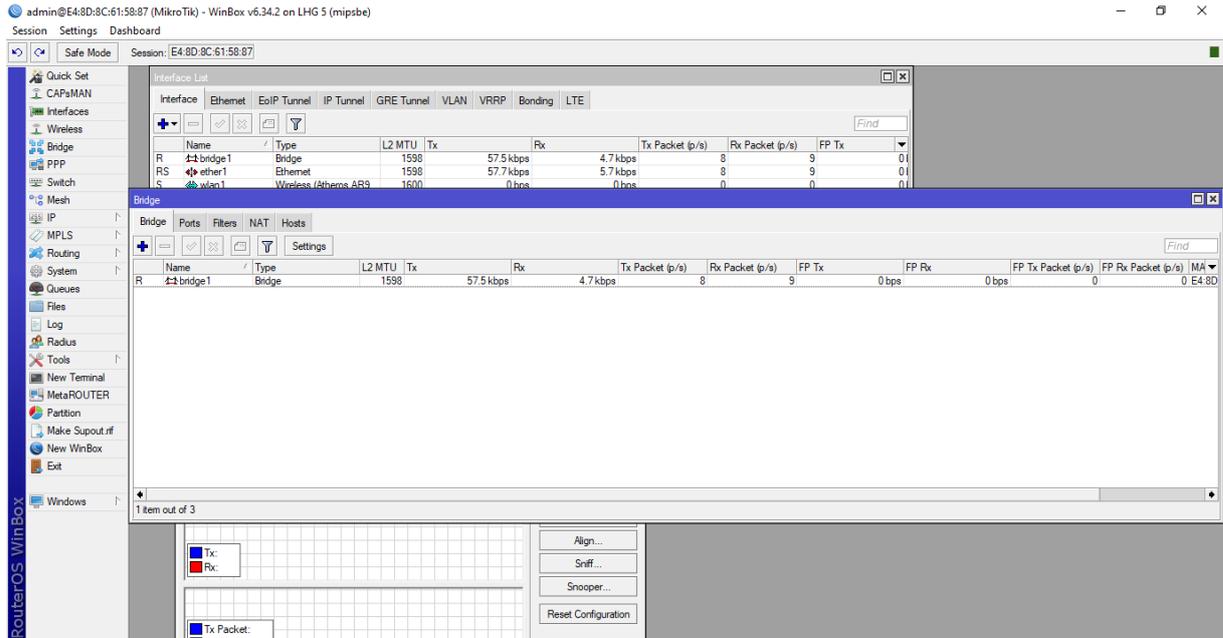


Figura 4.21. Interfaz del software Winbox.

Para la aplicación de las antenas de radioenlace se verifico que en el lugar a implementar tenga la línea de vista adecuada, además existe un perfil de elevación que ayuda considerablemente a la comunicación de las antenas.

La línea de vista adecuada está dada en línea recta por lo tanto se toma como referencia la distancia medida en la Figura 4.3, donde se prevé una vista satelital obtenida por Google Earth.

- **Elevación del centro de bombeo**

De acuerdo con la Figura 4.22, el centro de bombeo se encuentra a una altura de 334 m s. n. m, se encuentra en un punto bajo pues el Recinto Santa Marianita tiene cercanías al mar pues ya se encuentra en una zona costera.

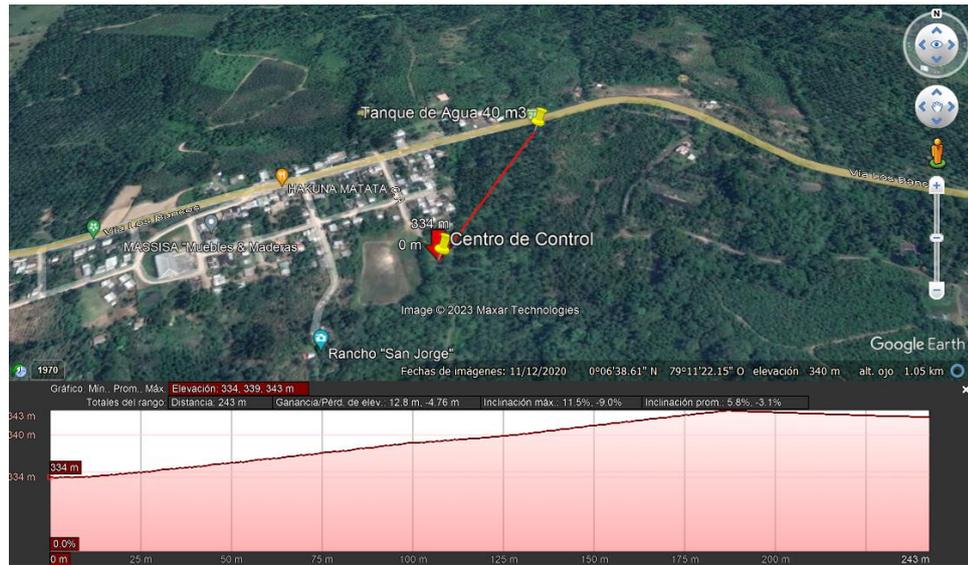


Figura 4.22. Perfil de elevación en [m s.n.m] en el punto del centro de bombeo.

- **Elevación del tanque de recepción**

En la Figura 4.23 se presenta el perfil de elevación del tanque de recepción que se encuentra a una altura de 342 m s. n. m.

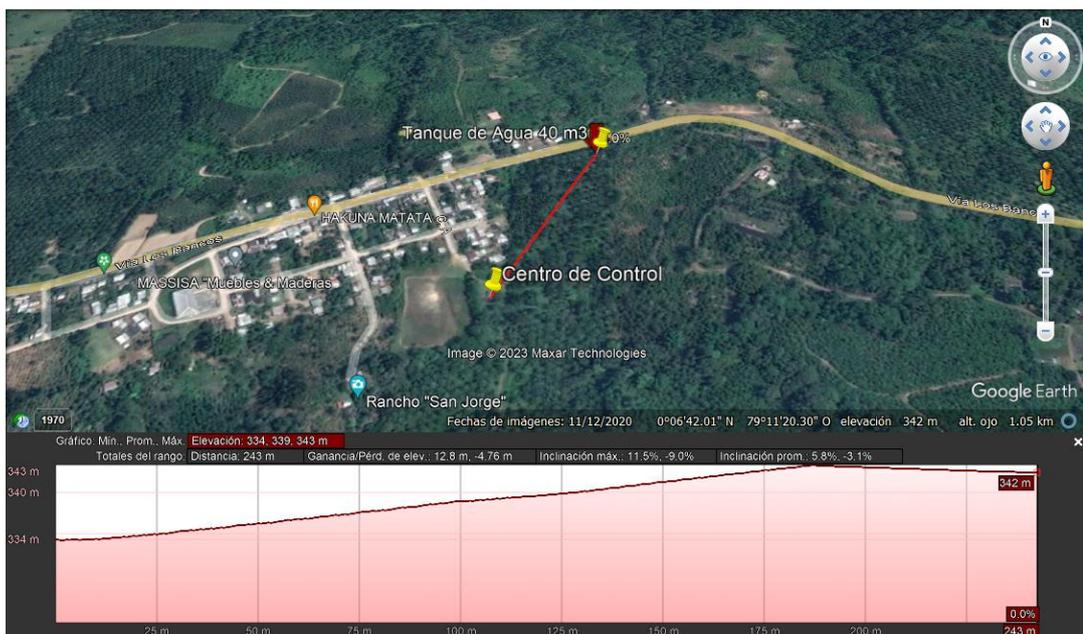


Figura 4.23. Perfil de elevación en [m s.n.m] en el punto del tanque de recepción.

Adicional se presenta un tercer perfil de elevación cercano al punto del tanque de recepción, ver Figura 4.24.

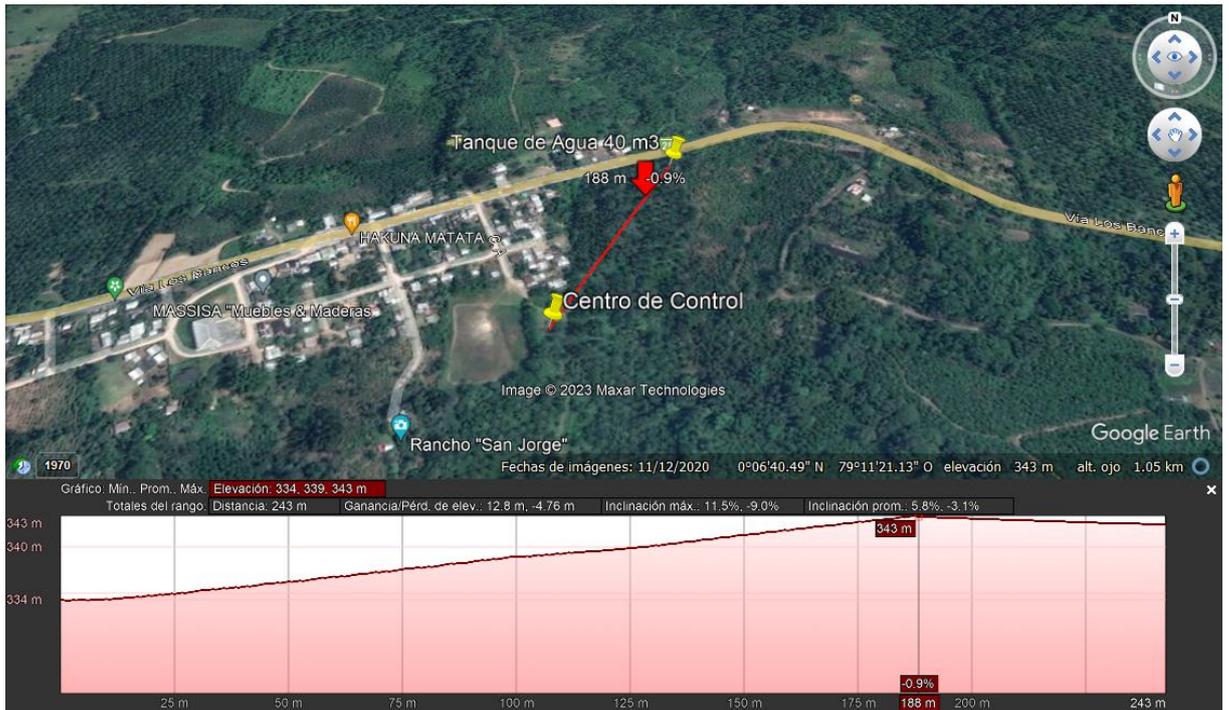


Figura 4.24. Pico de elevación de 1m.

En la Figura 4.24 se presenta un perfil de elevación aproximadamente a 52 m del tanque de recepción con un perfil de elevación de 1 m s. n. m respecto al 342 m s. n. m que presenta el punto de elevación del taque reservorio.

Por lo tanto, los perfiles de elevación obtenidos en la Figura 4.22, Figura 4.23 y Figura 4.24 presentan la siguiente referencia ver Figura 4.25.

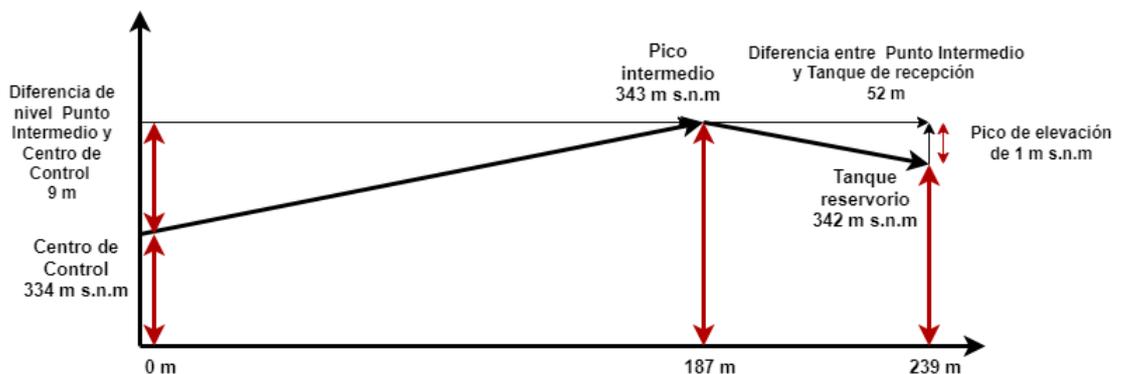


Figura 4.25. Perfil de elevación general.

Por el efecto que se presenta el pico intermedio de  $1\text{ m s. n. m}$  presentado en la Figura 4.24 los autores toman a este punto para ubicar la antena de radiofrecuencia. Pues la diferencia entre el punto intermedio y al tanque de recepción presenta una distancia de  $57\text{ m}$ . Según [66] la distancia máxima para transmisión de datos por cable UTP (ethernet) es de  $100\text{ m}$ , es decir, que la distancia resultante entre el punto intermedio y el punto del tanque de recepción no supera esta distancia máxima admisible. Por lo tanto, se propone que la ubicación adecuada de la Antena 1 (antena que se ubicara junto al LOGO! esclavo) es en el perfil de elevación intermedio pues se eleva  $1\text{ m s. n. m}$  respecto a los  $342\text{ m s. n. m}$  que se tiene en el punto del tanque de recepción, de esta manera facilita aún más que se tenga la línea de vista para la comunicación de las antenas.

Matemáticamente se tiene:

- Punto del tanque de recepción (PTR):  $342\text{ m s. n. m}$
- Punto intermedio (PM):  $343\text{ m s. n. m}$
- Punto del centro de bombeo (PCB):  $334\text{ m s. n. m}$

Para el cálculo la elevación entre los dos puntos de ubicación de las antenas se provee la ecuación (4.11):

Donde:

$Y$ : Diferencia de elevación entre la Antena 2 (centro de bombeo) y Antena 1 (tanque de recepción).

$$Y = PM - PCB$$

$$Y = 343\text{ m s. n. m} - 334\text{ m s. n. m} \quad (4.11)$$

$$Y = 9\text{ m s. n. m}$$

De acuerdo con el resultado obtenido en la ecuación (4.11) se tiene una elevación entre el la Antena 2 (centro de control) y la Antena 2 (tanque de recepción) de:

$$Y = 9\text{ m s. n. m}$$

Por lo tanto, si existe línea de vista adecuado para la comunicación efectiva de las antenas de radiofrecuencia.

#### 4.4. ASIGNACIÓN DE IP

Cada equipo que se conecta a una red de comunicación debe disponer de una dirección IP para el reconocimiento de este en la red. En la actualidad la tecnología tiene prestaciones hasta en equipos de menor relevancia por lo tanto sin menor importancia para la propuesta de del sistema automatizado presentada en este proyecto se utiliza dispositivos que disponen de conectividad en base al protocolo Ethernet.

Las direcciones IP asignadas a los equipos para este proyecto se presentan en la **Tabla 4.7**, es importante mencionar que las direcciones IP son libres de ser asignadas a mejor conveniencia del profesional a cargo.

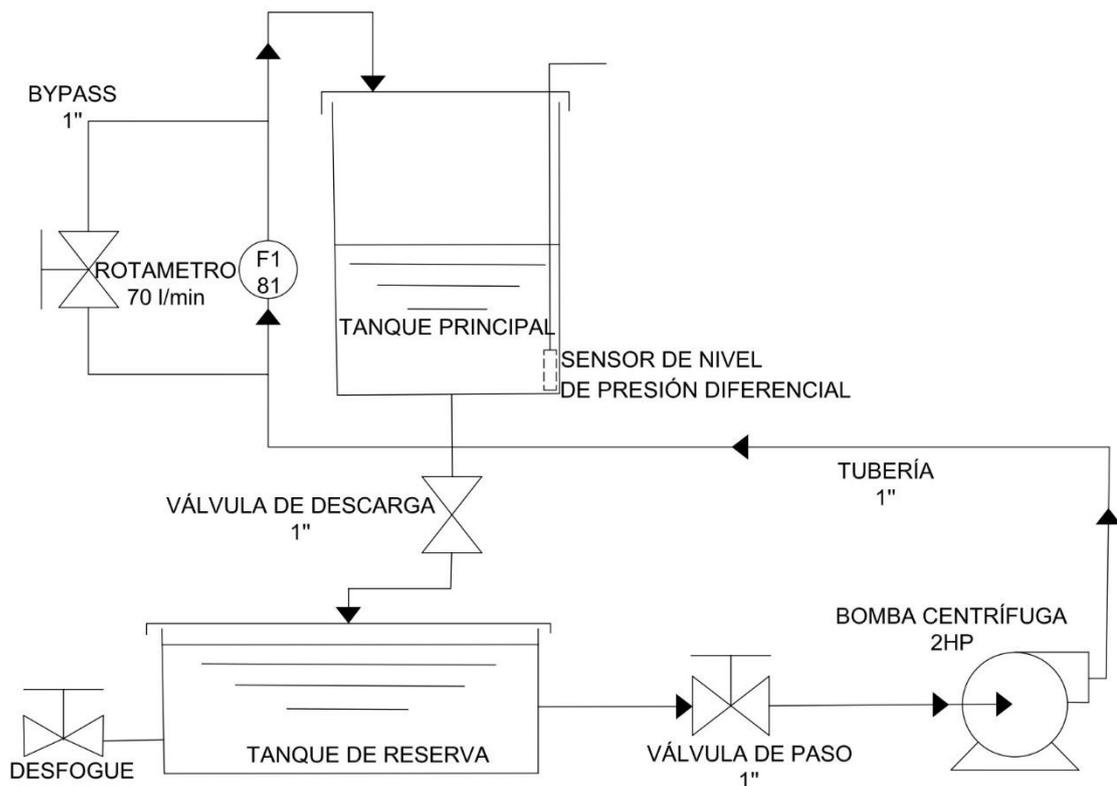
**Tabla 4.7.** Direcciones IP asignadas.

Direcciones IP	
Equipo	IP
HMI	192.168.20.5
Logo maestro	192.168.20.2
Logo esclavo	192.168.20.3
Antena receptora	192.168.20.15
Antena emisor	192.168.20.19
Router	192.168.20.1
PC	192.168.20.4

## 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. DIAGRAMA P&ID DEL BANCO DE PRUEBAS

Para la validación del sistema de automatización propuesto se ha desarrollado los ensayos de prueba en el “Banco de pruebas para instrumentación de medición de nivel y flujo” del Laboratorio de Automatización de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi “F. CIYA-UTC”.



**Figura 5.1.** Diagrama P&ID del banco de pruebas de [67].

Se ha optado por realizar los ensayos de funcionamiento del sistema automático propuesto en el “Banco de pruebas para instrumentación de medición de nivel y flujo”, ver la Figura 5.1 ya que este presenta una estructura de modelo de bombeo a escala del sistema real.

Donde:

- Tanque de reserva  $\approx$  pozo subterráneo de toma de agua
- Tanque de principal  $\approx$  tanque de recepción
- Bomba centrífuga  $\approx$  bomba sumergible

- Válvula de descarga  $\approx$  salida de agua hacia las viviendas
- Tuberías  $\approx$  sistema de tuberías

El fluido que transita desde el tanque de reserva hacia el tanque principal, mediante el sistema hidráulico de tuberías, al llegar al tanque de recepción la lectura que ira tomando el sensor de presión hidrostática será el nivel actual del tanque de recepción, de esta manera junto con el sistema de control y potencia se complementará el sistema de automatización.

## **5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS PROTOTIPOS PROPUESTOS**

### **5.2.1. Análisis de los parámetros de los prototipos propuestos**

Para el siguiente análisis se considera el módulo de la **Figura 5.1. Diagrama P&ID del banco de pruebas de [67]**. Figura 5.1, el cual se considera como un módulo ideal en donde los parámetros de voltaje ya son pre establecidos por los mismo equipos de la Universidad (230 V), por otro lado, la corriente operativa del motor es la establecida en la placa de características, por tanto, no se puede realizar una comparación con el caso de estudio del Recinto Santa Marianita, ya que se requiere un bando de condensadores para poder obtener parámetros de análisis con el módulo que se está trabajando, por ende, los autores propusieron analizar los parámetros de los medios de comunicación de los prototipos para obtener diferencia entre las velocidad entre la recepción de datos.

Por ende, se utilizarán los datos del apartado 3.7 (Medios de comunicación) y se los caracterizará en la Tabla 5.5, en donde se podrá apreciar las velocidades de enlace y las atenuación que tiene la transmisión de los datos en función de los metros pre establecidos por las normas TIA 569 – A, y por la norma de pruebas de enlace TSB – 67, estos resultados se podrán apreciar en el apartado 5.2.3 (Comparación de resultados).

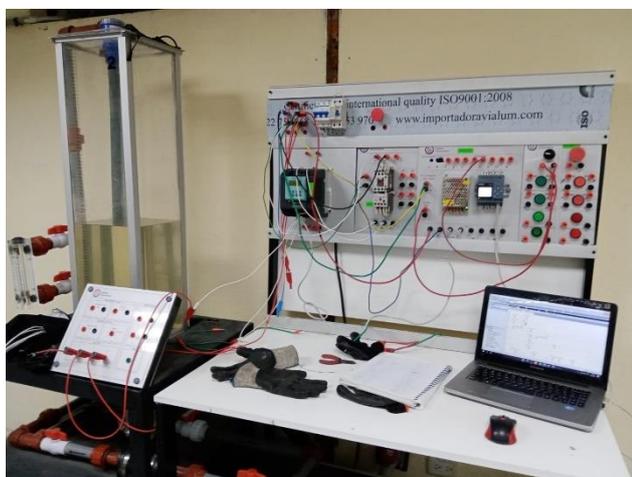
### **5.2.2. Prototipos propuestos**

Los autores propusieron tres prototipos, con sistemas de comunicación diferentes los cuales proporcionaran facilidad en la transmisión de datos de punto a punto. A continuación, se detallan cada uno de ellos:

#### **5.2.2.1. Prototipo 1: Conexión directa entre LOGO! y sensor de nivel**

Se realizo la prueba del primer prototipo el cual constaba de un solo LOGO! 12/24 RCE el cual capta las señales (voltaje o corriente) enviadas del sensor y las interpreta en su proceso lógico interno, ver la Figura 5.2, además de realizar todo el proceso de control, el medio de envío de esta señal de corrientes desde el sensor hasta el LOGO! se propuso que iba a ser por

medio de cable de cobre, también se determinó que la alimentación del sensor (alimentación de  $24 V_{DC}$ ) se lo iba a realizar por este cable, los demás implementos se mantienen sin ningún cambio (variador de frecuencia, contactor, protecciones, fuente de alimentación de  $120V_{AC}$  a  $24V_{DC}$ , pulsadores, selectores y paros de emergencia).



**Figura 5.2.** Conexión directa LOGO! - Sensor.

El funcionamiento del primer prototipo fue el esperado, ya que, el sensor se encarga de determinar el nivel de agua existente en el tanque, por otro lado, el variador de frecuencia se encargaba de suprimir la corriente pico provocada por el arranque del motor además de balancear las corrientes que consume el motor para su funcionamiento.

Tomando en cuenta este prototipo para la cotización de costos, ver la Tabla 5.1 se pudo apreciar el siguiente inconveniente, la comunicación por cable debe tener una longitud mínima de 239 m en línea recta, sin embargo, siguiendo el camino debe tener una longitud mínima 386 m. El nivel de voltaje de alimentación para el sensor es  $24 V_{DC}$  considerando la distancia de las dos formas posibles comentadas anteriormente, se considera una pérdida del 1% en el nivel de tensión, lo cual generaría variación en la operación del sensor, se considera además el costo del cable a utilizar el cual incrementaría el valor de inversión total:

**Tabla 5.1.** Costo total del prototipo 1.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor unitario</b>	<b>Valor Total</b>
1	UND	LOGO!V8.3, 12/24 RCE, Logic module	\$ 160,58	\$ 160,58
1	UND	Variador de frecuencia RELKOM	\$ 520,00	\$ 520,00
1	UND	Fuente de alimentación 100-240 VAC, salida 24 VDC/5 A	\$ 65,00	\$ 65,00
1	UND	Sensor de nivel ultrasónico	\$ 157,48	\$ 157,48
1	UND	Simatic HMI KTP700 Basic - Panel	\$ 865,46	\$ 865,46
2	UND	Porta fusibles	\$ 3,00	\$ 6,00
2	UND	Fusibles cerámicos de 6 A	\$ 0,50	\$ 1,00
400	MTR	VNTC CONTROL UL 7X16 AWG	\$ 5,64	\$ 2.256,00
1	UND	Selector de 2 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Selector de 3 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Pulsador NC	\$ 3,50	\$ 3,50
1	UND	Pulsador NA	\$ 3,50	\$ 3,50
2	UND	botón pulsador paro de emergencia	\$ 4,00	\$ 8,00
1	UND	Riel Din 35mm, 1,5m	\$ 1,50	\$ 1,50
2	UND	Canaleta ranurada 25X25mm	\$ 4,81	\$ 9,62
1	UND	Gabinete 100X70X30 cm	\$ 100,00	\$ 100,00
2	UND	Luces piloto verde y rojo	\$ 7,48	\$ 14,96
1	UND	Rollo de cable calibre 16 AWG	\$ 27,00	\$ 27,00
			Subtotal	\$ 4.205,60
			I.V.A.	\$ 504,67
			Valor Total	\$ 4.710,27

Como se puede apreciar en la Tabla 5.1 el costo total del cable de control por 400 m es de 2.256,00 dólares, este cable de control posee 7 conductores de cobre calibre 16 AWG, con recubrimiento contra la humedad e impurezas, resistente a aceites y flexible. Los autores consideran que este prototipo es demasiado rustico para la implementación, puesto que, si se considera que él envío del cable por línea recta deberá atravesar algunas propiedades privadas y la vegetación del entorno para poder llegar al tanque de recepción, en donde se colocara el sensor con su respectiva alimentación, esto provocaría un malestar entre los usuarios afectados por el paso del cable siendo este subterráneo o aéreo, por otro lado, si se considera ir por el camino con trayectoria de 386 m, se debe tomar en cuenta la existencia de postes para poder llevar el cable por vía aérea, como es una zona rural con muy poca cantidad de habitantes los postes solo pasan por la vía principal y cada cierta distancia, ya que son postes de distribución, por lo que esta idea se descarta, ya que se quiere implementar nuevas tecnologías de comunicación.

### 5.2.2.2. Prototipo 2: Diseño de un proyecto de red con dos LOGO!

Para el prototipo 2 los autores consideraron dos tipos de gabinetes, uno maestro (encargado del control y encendido del motor) y uno esclavo (encargado de la recolección y transmisión de datos) los cuales contienen un LOGO! cada uno, con esto se reduce la utilización del cable de cobre, pero entra en consideración el tipo de comunicación que se va a utilizar, por lo general es por medio de Ethernet, y para eso se plantearon los siguientes tipos de comunicación:



**Figura 5.3.** Prototipo 2 utilización de dos LOGO!. LOGO! maestro y esclavo.

### 5.2.2.3. Comunicación por medio de cable UTP

El cable UTP tiene un límite de transmisión de datos el cual llega hasta los 100 m, por lo tanto, no se lo considera como un medio de comunicación fiable, ya que las distancia en línea recta o siguiendo el camino son: 239 m y 386 m respectivamente, por esta razón los autores no optaron por este medio de comunicación.



**Figura 5.4.** Comunicación del sistema por medio de cable UTP.

El costo de este prototipo es:

**Tabla 5.2.** Costo total del prototipo 2, comunicación por cable UTP.

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor Total
2	UND	LOGO!V8.3, 12/24 RCE, Logic module	\$ 160,58	\$ 321,16
1	UND	Variador de frecuencia RELKOM	\$ 520,00	\$ 520,00
2	UND	Fuente de alimentación 100-240 VAC, salida 24 VDC/5 A	\$ 65,00	\$ 130,00
1	UND	Sensor de nivel de presión sumergible	\$ 49,00	\$ 49,00
1	UND	Simatic HMI KTP700 Basic - Panel	\$ 865,46	\$ 865,46
2	UND	Porta fusibles	\$ 3,00	\$ 6,00
2	UND	Fusibles cerámicos de 6 A	\$ 0,50	\$ 1,00
1	UND	Switch Mercusys MS105, 4 puertos	\$ 10,76	\$ 10,76
1	UND	Selector de 2 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Selector de 3 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Pulsador NC	\$ 3,50	\$ 3,50
1	UND	Pulsador NA	\$ 3,50	\$ 3,50
2	UND	Botón pulsador paro de emergencia	\$ 4,00	\$ 8,00
1	UND	Riel Din 35mm, 1,5m	\$ 1,50	\$ 1,50
2	UND	Canaleta ranurada 25X25mm	\$ 4,81	\$ 9,62
1	UND	Gabinete 100X70X30 cm	\$ 100,00	\$ 100,00
1	UND	Gabinete 30X30X20	\$ 50,00	\$ 50,00
30	UND	Conectores RJ45	\$ 0,50	\$ 15,00
2	UND	Cable UTP Cat 5e Rollo 305 m	\$ 130,00	\$ 260,00
2	UND	Luces piloto verde y rojo	\$ 7,48	\$ 14,96
1	UND	Rollo de cable calibre 16 AWG	\$ 27,00	\$ 27,00
			Subtotal	\$ 2.402,46
			I.V.A.	\$ 288,30
			Valor Total	\$ 2.690,76

Se considera a este prototipo como el más económico con un valor total de 2.690,76 dólares, el inconveniente con este medio de comunicación utilizado es el límite de longitud de la transmisión de datos, ya que como se mencionó anteriormente las longitudes que tiene los tramos superan los 100 m, lo que provoca que la recepción no capte los datos de la mejor manera y el sistema se confunda y trabaje de manera errónea.

#### 5.2.2.4. Comunicación por medio de fibra óptica.

La comunicación de los LOGO! por medio de fibra óptica suele ser más rentable ya que esta tiene una longitud de transmisión de datos de hasta 1km por bobina, por tanto, el presupuesto de inversión para este tipo de prototipo con esta comunicación es la siguiente:

**Tabla 5.3.** Costo total del prototipo 2, comunicación por fibra óptica.

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor Total
2	UND	LOGO!V8.3, 12/24 RCE, Logic module	\$ 160,58	\$ 321,16
1	UND	Variador de frecuencia RELKOM	\$ 520,00	\$ 520,00
2	UND	Fuente de alimentación 100-240 VAC, salida 24 VDC/5 A	\$ 65,00	\$ 130,00
1	UND	Sensor de nivel de presión sumergible	\$ 49,00	\$ 49,00
1	UND	Simatic HMI KTP700 Basic - Panel	\$ 865,46	\$ 865,46
2	UND	Porta fusibles	\$ 3,00	\$ 6,00
2	UND	Fusibles cerámicos de 6 A	\$ 0,50	\$ 1,00
1	UND	Switch Mercusys MS105, 4 puertos	\$ 10,76	\$ 10,76
1	UND	Selector de 2 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Selector de 3 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Pulsador NC	\$ 3,50	\$ 3,50
1	UND	Pulsador NA	\$ 3,50	\$ 3,50
2	UND	Botón pulsador paro de emergencia	\$ 4,00	\$ 8,00
1	UND	Riel Din 35mm, 1,5m	\$ 1,50	\$ 1,50
2	UND	Canaleta ranurada 25X25mm	\$ 4,81	\$ 9,62
1	UND	Gabinete 100X70X30 cm	\$ 100,00	\$ 100,00
1	UND	Gabinete 30X30X20	\$ 50,00	\$ 50,00
30	UND	Conectores RJ45	\$ 0,50	\$ 15,00
1	UND	Cable UTP Cat 5e Rollo 305 m	\$ 130,00	\$ 130,00
4	UND	Conectores de fibra óptica	\$ 2,00	\$ 8,00
2	UND	Convertidores de señal de fibra a cable UTP	\$ 56,95	\$ 113,90
1	UND	Bobina de 1km de fibra óptica	\$ 150,00	\$ 150,00
2	UND	Luces piloto verde y rojo	\$ 7,48	\$ 14,96
1	UND	Rollo de cable calibre 16 AWG	\$ 27,00	\$ 27,00
			Subtotal	\$ 2.544,36
			I.V.A.	\$ 305,32
			Valor Total	\$ 2.849,68

Se toma en consideración la delicadeza de la fibra óptica, puesto que, esta no se puede doblar o torcer en 90° ya que se rompería y dejaría de transmitir los datos de manera eficiente, actualmente no tiene un precio elevado (la bobina de 1km tiene un valor de 150 dólares), hay que tomar en cuenta que el lugar en donde se lo va a utilizar tiene mucha vegetación, suponiendo que exista el desprendimiento de la rama de un árbol y con ello la caída encima de la fibra, esta llegaría romperse, considerando la inexistencia de los postes este sistema no tiene rentabilidad. Su costo de inversión es de 2.849,68 dólares.

### 5.2.2.5. Prototipo 3: Diseño de un proyecto de red con dos LOGO! comunicación por medio de radio enlace.

El prototipo 3 contiene los mismos materiales que el prototipo 2 pero considera un sistema de comunicación por radio enlace el cual para la distancia determinada en línea recta es suficiente ya que, este sistema tiene un rango de 40 km de alcance de transmisión de datos, por ende, requiere menor cantidad de material y su costo de inversión es:

**Tabla 5.4.** Costo total del prototipo 3.

Cantidad	Unidad	Descripción	Valor unitario	Valor Total
2	UND	LOGO!V8.3, 12/24 RCE, Logic module	\$ 160,58	\$ 321,16
1	UND	Variador de frecuencia RELKOM	\$ 520,00	\$ 520,00
2	UND	Fuente de alimentación 100-240 VAC, salida 24 VDC/5 A	\$ 65,00	\$ 130,00
1	UND	Sensor de nivel de presión sumergible	\$ 49,00	\$ 49,00
1	UND	Simatic HMI KTP700 Basic - Panel	\$ 865,46	\$ 865,46
2	UND	Porta fusibles	\$ 3,00	\$ 6,00
2	UND	Fusibles cerámicos de 6 A	\$ 0,50	\$ 1,00
2	UND	Antena Mikrotik Lhg 5 Ac 5Ghz 24.5 dbi, Punto a Punto 867 mbps	\$ 105,00	\$ 210,00
1	UND	Switch Mercusys MS105, 4 puertos	\$ 10,76	\$ 10,76
1	UND	Selector de 2 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Selector de 3 posiciones	\$ 3,00	\$ 3,00
1	UND	Pulsador NC	\$ 3,50	\$ 3,50
1	UND	Pulsador NA	\$ 3,50	\$ 3,50
2	UND	Botón pulsador paro de emergencia	\$ 4,00	\$ 8,00
1	UND	Riel Din 35mm, 1,5m	\$ 1,50	\$ 1,50
2	UND	Canaleta ranurada 25X25mm	\$ 4,81	\$ 9,62
1	UND	Gabinete 100X70X30 cm	\$ 100,00	\$ 100,00
1	UND	Gabinete 30X30X20	\$ 50,00	\$ 50,00
30	UND	Conectores RJ45	\$ 0,50	\$ 15,00
1	UND	Cable UTP Cat 5e Rollo 305 m	\$ 130,00	\$ 130,00
2	UND	Luces piloto verde y rojo	\$ 7,48	\$ 14,96
1	UND	Rollo de cable calibre 16 AWG	\$ 27,00	\$ 27,00
			Subtotal	\$ 2.482,46
			I.V.A.	\$ 297,90
			Valor Total	\$ 2.780,36

Se considera a este prototipo como el más rentable tanto por su costo de inversión como su rentabilidad al transmitir los datos.

### 5.2.3. Comparación de resultados

A continuación, se presenta una tabla de comparación en donde se puede apreciar, los costos de inversión, las velocidades de transmisión de datos y la distancia máxima de cada tipo de comunicación.

Las velocidades de transmisión de datos y distancias máximas de enlace de los tipos de comunicación vienen determinadas por las normas TIA 569 – A e ISO 11801 mencionadas en el apartado 3.7.1 y 3.7.2, esto en cuestión del cable UTP y fibra óptica, por otro lado, para las antenas Mikrotik se consideran los parámetros establecidos por la propia antena mencionadas en el apartado 3.7.3, de esta manera queda representada la siguiente tabla comparativa.

**Tabla 5.5.** Parámetros de los tipos de comunicación.

	Distancia máxima [m]	Velocidad [Mbps]	Atenuación
Por cable UTP	100	100	<6 [dB/m]
Por fibra óptica	100000	622	<0.4[dB/km]
Por radio enlace	40000	300	<24.5[dB/m]

Con estos parámetros podemos determinar el tipo de comunicación más efectiva para nuestro prototipo, en la Tabla 5.5 se puede apreciar que la transmisión de datos más veloz le corresponde a la fibra óptica con una velocidad de 622 Mbps y además con una atenuación muy baja con respecto a la distancia puesto que esta disminuirá cada kilómetro, para tomar una decisión del prototipo a utilizar, se debe tomar en consideración el costo de inversión el cual incluye el tipo de comunicación, para determinar el más económico y fiable.

A manera de ejemplo se puede considerar un costo de inversión que el recinto proporcionaría para poder realizar el análisis respectivo (un valor de 3000 dólares a modo de ejemplo), además, se considerara la distancia en línea recta desde el centro de control hasta el tanque de recepción ya que presenta la mejor eficiencia de comunicación de datos.

**Tabla 5.6.** Comparación de inversiones y velocidades de transmisión de datos.

Prototipo	Tipo de comunicación	Inversión	Velocidad [Mbps]	Diferencia entre costos [%]
1	Por cable de cobre	4710,27		-57,01%
2	Por cable UTP	2690,76	100	10,31%
	Por fibra óptica	2849,68	622	5,01%
3	Por radio enlace	2780,36	300	7,32%

De la Tabla 5.6 se deben considerar dos aspectos importantes los cuales son las velocidades de transmisión y la diferencia entre los costos, esto con el fin de poder tomar una decisión unánime y beneficiosa para el recinto de estudio.

- Las velocidades deben ser altas, siempre correspondiendo a las distancias máximas determinadas y a las atenuaciones del tipo de comunicación.
- La diferencia entre el costo de inversión propuesto por los autores y el costo de inversión dicho por el recinto debe ser lo más cercano a cero o de manera positiva el más lejano.

Tras lo mencionado, los autores descartaron el primer prototipo por el costo de inversión que se planteó ya que es muy alto y tiene una diferencia 57,01% con respecto a la inversión (que se toma como ejemplo) dada por el recinto.

El segundo prototipo considera dos medios de comunicación:

- Por cable UTP se considera que la inversión propuesta es bastante rentable con una diferencia del 10,31% al valor planteado como ejemplo, pero considerando su velocidad, la atenuación por metro y su distancia máxima, Tabla 5.5, el sistema presentaría fallas o lectura de señales erróneas, esto convierte al prototipo en un sistema no rentable.
- Por fibra óptica se considera que la inversión propuesta es bastante rentable con una diferencia del 5,01% al valor planteado como ejemplo, además su velocidad de transmisión de datos es rápida con un valor de 622 Mbps, superando a cualquier tipo de comunicación propuesto, además, su atenuación es muy baja y se presenta cada kilómetro, es decir que nuestra distancia de trabajo se encuentra dentro del rango aceptable de enlace.

Finalmente, el prototipo tres consta con una diferencia entre costos de inversión bastante rentable con 7,32%, además su velocidad de transmisión de datos es muy buena con un valor de 300 Mbps, su atenuación depende de la distancia de trabajo a la cual se va a implementar, considerando la distancia de 239 m, esta se encuentra dentro de la distancia permisible de las antenas, por lo cual su atenuación no es muy pronunciada, y el enlace entre estas dos antenas se realiza de manera efectiva. Los autores optan por este prototipo, tanto por su velocidad de transmisión como su costo de inversión.

#### **5.2.4. Pruebas de los sensores utilizados en los prototipos**

Los prototipos utilizaron dos tipos de sensores los cuales se encontraron en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, las características, ventajas y desventajas que se pudieron observar en el funcionamiento de los prototipos se describen a continuación:

##### **5.2.4.1. Sensor ultrasónico**

El funcionamiento de los prototipos con este sensor tuvo ciertos inconvenientes, primero el nivel medido no correspondía al nivel mostrado en la pantalla del HMI, esto se debía a la zona ciega que tiene (0.25 m) la cual causa que el nivel colocado para censar no sea el mostrado en la pantalla generando un error.

El segundo consistía en la delicadeza del sensor, puesto que este era muy sensible a los ruidos externos, en las pruebas realizadas en el laboratorio de automatización se pudo comprobar que el ruido afectaba gravemente a las medidas del sensor, enviando señales erróneas que provocaban el encendido y apagado de la maquina y en el peor de los casos no permitía que se enviara la señal de apagado al motor cuando el nivel alcanzaba lo establecido.

Por lo tanto, los autores decidieron cambiar de sensor por los problemas generados, también para aumentar la fiabilidad y confiabilidad del sistema automático.

##### **5.2.4.2. Sensor de presión sumergible o hidrostático**

Los prototipos que utilizaron este sensor son el 2 y 3, en los cuales se pudo apreciar una medición más exacta en función al tanque que se estaba utilizando, además, de no tener problemas con la turbulencia del agua y tener recubrimiento ante esta. Los autores optaron por este sensor ya que los valores medidos en comparación con los valores presentados en la pantalla HMI son los más exactos.

#### **5.2.5. Análisis de costos**

El prototipo elegido es el número 3 y su costo de inversión es el presentado en la Tabla 5.4, consta de 26 materiales independientemente de la cantidad del mismo material, además, los precios encontrados de cada material son los del mercado actual ecuatoriano, es decir, que estos precios nos sirven como referencia para poder realizar el análisis de costos y recuperación de la inversión.

También se toma en cuenta el I.V.A. el cual actualmente es del 12 %, ya que los materiales que están destinados a adquirirse deben tener un respaldo legal en caso de compra,

este documento es la factura, lo que permite a los autores demostrar la fiabilidad de la compra y del buen estado de los equipos.

Finalmente se aprecia un valor de inversión estimado de alrededor de \$2780.36 dólares, lo cual se considera como un valor de inversión moderado para el sistema que se está proponiendo. Por otro lado, se considera el costo total que el recinto invirtió por el cambio de los dos motores y la bomba, para realizar una comparativa de costo – beneficio.

**Tabla 5.7.** Comparación entre el costo propuesto y los costos dichos por el recinto.

Inversiones	Costo [\$]
Sistema automático propuesto	\$2780.36
Cambio de motores y bomba por falla o daño.	\$18000.00

El valor de \$18000 dólares presentados en la tabla Tabla 5.7 fue tomado por el fiel testimonio del operador del centro de bombeo, por el motivo de que no existe una factura que verifique los valores mencionados en el testimonio, por tanto, si se considera los valores reales de los equipos esta sería la nueva tabla comparativa:

**Tabla 5.8.** Comparación entre costo real de los equipos y costo propuesto.

Inversiones	Costo [\$]
Sistema automático propuesto	\$2780.36
Cambio de motores y bomba por falla o daño.	\$8536.00

Hay que tomar en cuenta que el valor actual del motor sumergible en el mercado ecuatoriano es de \$3.493,00 dólares y el valor de una bomba del mismo motor es de \$1.550,00 dólares, considerando los dos motores fuera de servicio y la bomba por daño se considera un valor total de \$8.536,00 dólares presentados en la tabla anterior, de esta manera se considera que la inversión del proyecto es rentable.

#### **5.2.5.1. Beneficio y viabilidad del proyecto**

Consideramos al VAN y el TIR como indicadores para saber si es viable o no invertir en un proyecto, el VAN se calcula mediante valores monetarios, mientras que el TIR indica el resultado en forma de porcentaje.

Para considerar el cálculo del VAN se debe tener flujos de ingresos, egresos y caja del caso de estudio del Recinto Santa Marianita, por testimonio del operador del centro de control se conoce que por consumo de agua se cobra un valor el cual se consideraría como ingreso, este valor tiene un rango entre 5 dólares hasta máximo 30 dólares dependiendo de la cantidad de integrantes por familia, para el análisis consideraremos el valor mínimo del costo del consumo de agua el cual es 5 dólares, todo el recinto está conformado por 80 familias, es decir, un ingreso de 400 dólares mensuales que recibe la junta de agua.

Se considera como egreso el valor total de inversión de nuestro prototipo, además del consumo energético que tiene el centro de control (no supera los 30 dólares mensuales) y el costo de mantenimiento preventivo.

El análisis se lo realizara por un periodo de dos años, con un costo de mano de obra por el mantenimiento preventivo de \$450 dólares mensuales, este mantenimiento preventivo se lo realizara solo por horas, es decir, un total de 4 horas cada 6 meses (considerando que la hora de trabajo tiene un costo de \$1,88 dólares en el Ecuador), con estos datos se procede a tener la tabla presente en el Anexo 11.

Hay que tomar en cuenta que los valores de mantenimiento, servicio eléctrico y consumo de agua no cambiaran por estos periodos de análisis, se esta manera la tabla a la que se aplica el VAN y el TIR es la siguiente:

**Tabla 5.9.** Flujos en los periodos de tiempo de estudio.

Flujos	Periodo en años			Total
	Inversión inicial	1	2	
Ingresos	0,00	4800,00	4800,00	9600,00
Egresos	2780,36	363,76	363,76	727,52
Flujo de caja	-2780,36	4436,24	4436,24	8872,48

De esta manera se puede apreciar que de manera anual los ingresos son más altos que los egresos en los dos periodos de tiempo, hay que tomar en cuenta que para la inversión los usuarios no poseen el dinero en ese momento por lo que suelen solicitar un préstamo bancario tomando como representante al presidente de la junta con los intereses establecidos por estas entidades, de manera general, se puede considerar un valor para la tasa de interés nominal del 1% y para la tasa de interés anual del 12%, siendo este último valor el que se tomara para el estudio dando como resultado lo siguiente:

**Tabla 5.10.** VAN y TIR con un periodo de 2 años.

<b>Periodo</b>	2
<b>Tasa de interés</b>	12%
<b>VAN</b>	\$4.717,11
<b>TIR</b>	129%

Como se puede observar el Valor Actual Neto (VAN) es mayor que cero, por lo que se puede decir, que el flujo de carga es mayor que la inversión, por ende, el proyecto es rentable. Por otro lado, la Tasa Interna de Retorno (TIR) nos muestra el beneficio (en porcentaje) que tiene nuestro prototipo, viendo que tiene un valor de 129%, dando a entender que es beneficioso invertir en este proyecto, también da a entender que el número de periodos es muy grande por el valor excesivo del TIR, por lo tanto, se realiza el mismo análisis, pero solo para un año, y los resultados quedan de la siguiente manera:

**Tabla 5.11.** VAN y TIR con un periodo de un año.

<b>Periodo</b>	1
<b>Tasa de interés</b>	12%
<b>VAN</b>	\$1.180,57
<b>TIR</b>	60%

Para un periodo de un año el VAN sigue siendo mayor que cero, por tanto, el proyecto es rentable, por otro lado, el TIR tiene un valor del 60% cuando el VAN tiende a cero y es mayor que la tasa de interés propuesta por el banco por tanto el proyecto es viable.

#### **5.2.5.2. Recuperación de la inversión**

Para determinar el mes de recuperación de la inversión se toma en cuenta el análisis anterior, con mayor referencia la tabla del flujo de caja del primer periodo del Anexo 11, de esta manera se crea una columna adicional llamada flujo de caja acumulada, la cual nos permite conocer el mes exacto en donde se cubrirá el coste de inversión inicial.

**Tabla 5.12.** Determinación del flujo de caja acumulado.

Mes	Flujo	Acumulado
0	-2780,36	
1	370,00	370,00
2	370,00	740,00
3	370,00	1110,00
4	370,00	1480,00
5	370,00	1850,00
6	368,12	2218,12
7	370,00	2588,12
8	370,00	2958,12
9	370,00	3328,12
10	370,00	3698,12
11	370,00	4068,12
12	368,12	4436,24

Como se puede apreciar en la Tabla 5.12 la inversión se recupera al octavo mes, para conocer exactamente el mes con los días se aplica la siguiente ecuación:

$$PRI = A + \left( \frac{B - C}{D} \right) \quad (5.1)$$

En donde:

$A$  = Periodo anterior al que se recupera la inversión.

$B$  = Inversión inicial.

$C$  = Flujo de caja acumulado del periodo  $A$ .

$D$  = Flujo de caja del periodo donde se recupera la inversión.

Y se obtiene el siguiente resultado:

**Tabla 5.13.** Recuperación de la inversión en el mes y día.

<b>PRI</b>	7,52
<b>MES</b>	7,00
<b>DIAS</b>	16

La inversión se recupera en el dieciseisavo día del séptimo mes, como se conoce que el flujo de caja es mensual se redondea al inmediato superior, es decir, la inversión se recupera en el octavo mes.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Mediante la búsqueda de información en fuentes primarias y secundarias se ha permitido definir los aspectos importantes que dieron paso a la lógica de control a implementar y así mismo al medio de comunicación requerido.
- Se concluye que el tipo de sensor más adecuado para la toma de señales del tanque de recepción es el sensor de presión diferencial, presenta mayor fiabilidad en la adquisición de datos ya que es más inmune a perturbaciones externas con respecto al sensor de presión diferencial que es más perceptible a lecturas erróneas causadas por agentes externos como ruidos, el eco dentro del tanque, la espuma que genera el agua, etc.
- La parametrización del variador de frecuencia permite establecer la rampa de aceleración y la rampa de parada, con esto se suprime los picos de la corriente de arranque que incrementaba la corriente 6 veces la corriente nominal, ahora la corriente va aumentando paulatinamente hasta la corriente nominal.
- Se concluye que la hipótesis planteada se cumplió, pues se solventó de manera técnica la inclusión de una tercera fase balanceada. Anteriormente motor mantenía un voltajes desequilibrados y corrientes operativas desbalanceadas, lo que ocasionaba pérdida del 30% de la potencia de trabajo y 40% en el par de arranque. Adicional, se logró obtener mediante pasar de un sistema monofásico a dos hilos (220V) a un sistema trifásico (220V) con ayuda del variador de frecuencia.
- Se concluye que tras las pruebas realizadas con los diferentes prototipos en el laboratorio de Automatización de la Facultad de CIYA en la Universidad Técnica de Cotopaxi, el modelo más eficiente en conectividad, logística y costos es el prototipo que incluye la comunicación por radio enlace, pues de acuerdo con la Tabla 5.6, el costo de este sistema es \$2.780,36 USD.
- La información presentada en la guía de operación es esencial para la puesta en marcha del todo el sistema, ya que los modos de operación tienen un momento específico de accionamiento además de las configuraciones relacionadas a cada uno, por lo que se debe configurar adecuadamente según las necesidades de la población.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Debido a que el caso de estudio considera un escenario actual y es evidente el crecimiento poblacional año tras año aumentando la demanda en metros cúbicos de agua ( $m^3$ ), se plantean las siguientes sugerencias:

- Se recomienda aplicar la propuesta de automatización en el Recinto Santa Marianita del Cantón Puerto Quito, pues actualmente carece de un sistema de bombeo.
- Se debe hacer uso de los planos, esquemas de conexiones, guía de operación previo al montaje del sistema y también antes de la puesta en marcha, ya que dentro de la documentación se encuentra la información necesaria para evitar incurrir en la mala operación del sistema.
- Se recomienda que personal capacitado sea el encargado del montaje del sistema eléctrico, y para la puesta en marcha el operador encargado sea previamente capacitado para operar al sistema.
- Se recomienda que se tramite la adquisición de un transformador trifásico para la alimentación del sistema eléctrico del sistema de bombeo, pese a que el variador de frecuencia tiene sus prestaciones, en un futuro con el crecimiento poblacional del Recinto Santa Marianita se requerirá mayor demanda de metros cúbicos de agua, por lo que un solo motor no abastecerá al tanque de recepción de  $40m^3$  y se deberá incluir otro motor para aliviar la carga lo que considerablemente la demanda eléctrica será mayor y un nuevo variador de frecuencia ya no será la solución óptima.
- Se recomienda realizar un seguimiento demográfico para establecer el crecimiento poblacional del sector Santa Marianita y por medio de este establecer el crecimiento de la demanda del líquido de consumo (agua) en  $m^3$  con esto proyectar la repotenciación al sistema de abastecimiento (bombas, tanque de recepción) ya que el sistema automatizado está proyectado para adicionar más equipos e instrumentación necesaria.
- Se recomienda la implementación de bombas en paralelo, para un arranque alternado y con esto alargar la vida útil de los equipos.

## 7. REFERENCIAS

- [1] A. Palacios Carranzas and A. del V. García, “ECONOMIC ANALYSIS OF SERVICES AND USES OF WATER IN ECUADOR,” Alcalá de Henares, Jan. 2019.
- [2] R. Garces and L. Sigifredo, “Agua Potable y Saneamiento Rural,” Feb. 2020.
- [3] L. V. Jácome López, “Automatización del bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores ER-EMAPA.” Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/19179>
- [4] D. J. Cuenca Satan and M. C. Mariscal Bravo, “Banco de pruebas para instrumentación de medición de nivel y flujo.”
- [5] J. W. Almachi Chiguano and E. A. Naranjo Barrera, “Desarrollo de un sistema SCADA para una estación de bombeo a presión constante.”
- [6] R. M. Zenteno Todovilla, “Automatización y control del sistema de bombeo de agua de la G.R.H.G. y su Visualización en una pantalla”, Accessed: Feb. 22, 2023. [Online]. Available: <http://repositoriodigital.tuxtla.tecnm.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2280/MDRPIEL2013056.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [7] A. Garcia Gomez and E. Sierra Romero, “Automatización de sistemas de agua potable para pequeñas ciudadelas,” Area de subestaciones, Universidad Tecnologica de Bolivar, 2009.
- [8] D. F. Andino Martínez, “Diseño, implementación y puesta en marcha de un radioenlace digital entre la repetidora de Tres Cruces y la estación de bombeo el Salado, mediante un repetidor pasivo, para optimizar la operación del oleoducto Transecuatoriano,” 2011.
- [9] Centro de Formación Técnica para la Industria, “Automatización Industrial.” <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/> (accessed Nov. 16, 2022).
- [10] A. Castillo Atoche and O. Palma Marrufo, “Nuevas Tendencias en Sistemas Mecatrónicos,” 2011. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46719773001.pdf> (accessed Jan. 10, 2023).
- [11] MasContainer, “Tendencias para una automatización industrial.” <https://www.mascontainer.com/tendencias-para-una-automatizacion-industrial/> (accessed Nov. 17, 2022).

- [12] J. J. Rojas, “Tendencias de automatización e inteligencia artificial.” <https://trycore.co/tendencias-tecnologicas/tendencias-de-automatizacion-2021/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [13] Centro de Formación para la Industria, “Tendencias de la Automatización Industrial.” <https://www.cursosaula21.com/tendencias-automatizacion-industrial/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [14] MCR, “Ventajas y desventajas de la automatización industrial .” <https://mcr.es/ventajas-y-desventajas-de-la-automatizacion-industrial/> (accessed Nov. 19, 2022).
- [15] J. M. Escaño Gonzáles, A. Nuevo Garcia, and J. García Caballero, “Integración de sistemas de automatización industrial.” <https://books.google.com.ec/books?id=gj2dDwAAQBAJ&pg=PA172&dq=tendencias+actuales+de+la+automatizaci%C3%B3n+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj5prHs9Lj7AhWHQjABHSt1AVIQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=tendencias%20actuales%20de%20la%20automatizaci%C3%B3n%20industrial&f=false> (accessed Nov. 17, 2022).
- [16] L. Joyanes Aguilar, “Internet de las cosas.” <https://books.google.com.ec/books?id=HE1OEAAAQBAJ&pg=PA129&dq=control+industrial+tipos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj7xND3ruX7AhXWmIQIHUSqDPgQ6AF6BAgMEAI#v=onepage&q=control%20industrial%20tipos&f=false> (accessed Dec. 05, 2022).
- [17] Perez Mario Alberto, Hidalgo Analía Perez, and Berenguer Elisa Perez, “Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo.” San Juan, 2007.
- [18] Á. Steven and Á. Wellington, “Estudio comparativo de control PID y control Fuzzy en un proceso de flujo.” Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2021.
- [19] L. V. Jácome López, “Automatización del bombeo de agua a través del control de nivel de la cisterna de la estación Miraflores EP-EMAPA”, Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19179/1/Tesis\\_t1075id.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19179/1/Tesis_t1075id.pdf)
- [20] Interagua, “Norma Técnica de Diseño para la Construcción de Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.” <https://www.interagua.com.ec/sites/default/files/ntd-ia->

- 002\_estaciones\_de\_bombeo\_agua\_potable\_v-004\_-cnc\_1\_0.pdf (accessed Nov. 20, 2022).
- [21] L. Kessler, “Diseño de un tablero de control de bombas de agua.” <https://afinidadelectrica.com/2020/08/09/disen-de-un-tablero-de-control-de-bombas-de-agua/> (accessed Nov. 20, 2022).
- [22] Organización Panamericana de la Salud, “Guías para e diseño de estaciones de bombeo de agua potable,” 2005, Accessed: Nov. 20, 2022. [Online]. Available: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b%20Guia%20diseño%20de%20bombeo.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b%20Guia%20diseño%20de%20bombeo.pdf)
- [23] R. L. Mott, “Mécánica de Fluidos.” <https://books.google.com.ec/books?id=LbMTKJ4eK4QC&pg=PA498&dq=sensor+de+nivel+tipo+radar&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiPhba1gsP7AhWcRDABHUC1CsQQ6AF6BAgBEAI#v=onepage&q=sensor%20de%20nivel%20tipo%20radar&f=false> (accessed Nov. 21, 2022).
- [24] Pepperls+Fuchs, “Sensores de Medición de Nivel Ultrasónicos | Sensores de Nivel Ultrasónicos | Resumen del grupo.” [https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid\\_492.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_492.htm) (accessed Nov. 21, 2022).
- [25] “Medidores de nivel por radar guiado.” <http://www.interempresas.net/Medicion/FeriaVirtual/Producto-Medidores-de-nivel-por-radar-guiado-142436.html> (accessed Nov. 21, 2022).
- [26] Secoin, “Interruptores de nivel vibratorios para sólidos VEGAWAVE .” <https://www.secoin.com.uy/productos/instrumentaci%C3%B3n-industrial/nivel/interruptores-de-nivel-vibratorios-para-s%C3%B3lidos-vegawave> (accessed Nov. 21, 2022).
- [27] UWT-Control, “Sensor de nivel capacitivo.” <https://www.directindustry.es/prod/uwt-gmbh-level-control/product-25110-1814612.html> (accessed Nov. 21, 2022).
- [28] Bertschi, “Medidor de nivel por inmersión.” <https://www.bertschi.com.ar/nivel.html> (accessed Nov. 21, 2022).
- [29] “Sensor de nivel por flotador.” <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/flujo-y-nivel/sensor-de-nivel-1%C3%ADquido-flota-flotador-sensores-de-nivel-de-1%C3%ADquido-fluido-agua-interruptor-interruptores-boya-flotadores-detail> (accessed Nov. 21, 2022).

- [30] S. Doria, “Señales de salida analógica en la instrumentación.” [https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/senales-de-salida-analogicas-en-la-instrumentacion/?doing\\_wp\\_cron=1677182021.2055830955505371093750](https://www.bloginstrumentacion.com/instrumentacion/senales-de-salida-analogicas-en-la-instrumentacion/?doing_wp_cron=1677182021.2055830955505371093750) (accessed Feb. 22, 2023).
- [31] M. Gutiérrez and S. Iturralde, “Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control”, Accessed: Dec. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.fnmt.es/documents/10179/10666378/Fundamentos+básico+de+instrumentación+y+control.pdf/df746edc-8bd8-2191-2218-4acf36957671#:~:text=INSTRUMENTACIÓN%3A%20Es%20el%20conjunto%20de,los%20Sistemas%20de%20Control%20Automático.>
- [32] SICMA21, “Redes de Comunicación Industrial.” <https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/> (accessed Dec. 28, 2022).
- [33] C. Miranda Valdivia, “Comunicaciones Industriales.” [https://books.google.com.ec/books?id=znuYDwAAQBAJ&pg=PA177&dq=niveles+de+comunicacion+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjLqOGX1Z\\_8AhXbRDABHfkFDHoQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=niveles%20de%20comunicacion%20industrial&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=znuYDwAAQBAJ&pg=PA177&dq=niveles+de+comunicacion+industrial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjLqOGX1Z_8AhXbRDABHfkFDHoQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=niveles%20de%20comunicacion%20industrial&f=false) (accessed Dec. 28, 2022).
- [34] O. A. Nuria, “Redes de Comunicaciones Industriales.” <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4TKJ9IpMSJEC&oi=fnd&pg=PP1&dq=PROTOCOLOS+DE+COMUNICACION+INDUSTRIAL%3B&ots=gUFsyyLpto&sig=QfYVX5GVb9HfoBK4hSonKBaJn00#v=onepage&q&f=false> (accessed Dec. 28, 2022).
- [35] J. Viejo Cortés, “Diseño e implementación sobre FPGA de sistemas digitales de bajo coste para la sincronización de equipos sobre redes de comunicacion usando el protocolo SNTP.,” Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Sevilla, 2011.
- [36] J. Monsalve-Posada, A. Arias-Londoño, and J. Mejía-Arango, “Desempeño de redes inalámbricas y redes industriales inalámbricas en procesos de control en tiempo real bajo ambientes industriales,” vol. 18, no. 34, pp. 87–99, Jun. 2015.
- [37] P. F. Perez, “Parametros de cableado de cobre,” in *Arquitectura de redes*, 2005, pp. 1–20. Accessed: Feb. 26, 2023. [Online]. Available: [http://www1.frm.utn.edu.ar/medidase2/varios/parametros\\_redes1.pdf](http://www1.frm.utn.edu.ar/medidase2/varios/parametros_redes1.pdf)

- [38] Dirección Nacional de Informática y Comunicaciones, “Lineamientos para la elaboración de proyectos de cableado estructurado en la Universidad Nacional,” *Gestión de Información*, vol. 0, pp. 1–38, 2006.
- [39] Furukawa Electric, “Optical Cable Fiber-LAN Indoor\_Outdoor - Exp,” *Technical Specification*, Feb. 12, 2019. <https://www.ds3comunicaciones.com/furukawa/files/26270139.pdf> (accessed Feb. 26, 2023).
- [40] MikroTik, “MikroTik Routers and Wireless - Products: LHG 5 ac.” [https://mikrotik.com/product/lhg\\_5\\_ac](https://mikrotik.com/product/lhg_5_ac) (accessed Feb. 06, 2023).
- [41] Departamento de Electrónica y Electromagnetismo, Ed., “Conceptos fundamentales en el diseño de filtros,” in *Electrónica de Potencia*, vol. 5, Area Electrónica, 2004.
- [42] P. Orellana and A. Orellana, “Topologías de Red .” <https://sites.google.com/site/tecnocompu32/home/topologias-de-red> (accessed Dec. 28, 2022).
- [43] EfectoLED-Blog, “Esquemas eléctricos .” <https://www.efectoled.com/blog/es/esquemas-electricos/> (accessed Jan. 07, 2023).
- [44] F. Panchi, “Simbología en la automatización eléctrica.” <https://prezi.com/2b6yf8qlw54v/simbologia-en-la-automatizacion-electrica/> (accessed Nov. 19, 2022).
- [45] ElectrónicaONLINE, “Planos Eléctricos.” <https://electronicaonline.net/electricidad/plano-electrico/> (accessed Jan. 07, 2023).
- [46] Electrónica ONLINE, “Esquema Funcional.” <https://electronicaonline.net/circuito-electrico/esquema-electrico/esquema-funcional/> (accessed Jan. 07, 2023).
- [47] J. R. Vaello Sancho, “Representación avanzada de esquemas.” <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-6-logica-cableada/representacion-avanzada-de-esquemas/> (accessed Jan. 07, 2023).
- [48] M. Torres Búa, “Ejemplos de circuitos eléctricos domésticos.” [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contenido/55\\_ejemplos\\_de\\_circuitos\\_elctricos\\_domsticos.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947843/contenido/55_ejemplos_de_circuitos_elctricos_domsticos.html) (accessed Jan. 07, 2023).
- [49] ElectrónicaONLINE, “Esquema Multifilar.” <https://electronicaonline.net/circuito-electrico/esquema-electrico/esquema-multifilar/> (accessed Jan. 07, 2023).

- [50] PiroBloc, “¿Qué es un P&ID? .” <https://www.pirobloc.com/blog-es/que-es-un-piping-and-instrumentation-diagram/> (accessed Jan. 07, 2023).
- [51] F. E. Moreno Garcia, B. Medina Delgado, S. Castro, J. Fuentes, and S. Sepúlveda Mora, “Experimentación de controladores digitales clásicos en un sistema embebido aplicado en un proceso térmico,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, no. 1, pp. 81–92, Feb. 2018, doi: 10.18273/REVUIN.V17N1-2018008.
- [52] “Level Sensor Tl-136 Liquid Level Transmitter Water Level.” <https://www.aliexpress.com/item/1005001447225174.html> (accessed Feb. 06, 2023).
- [53] “Qué sensor de nivel elegir - Guías de compra DirectIndustry.” <https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-nivel-elegir/> (accessed Feb. 07, 2023).
- [54] “Medidor de nivel ultrasónico SUP-DP - Supmea Automation Co.,Ltd.” <https://es.supmeaauto.com/ultrasonic-level-meter/dp-ultrasonic-level-meter> (accessed Feb. 07, 2023).
- [55] Ninguai Sendo Sensor Co., “Sensor de presión sumergible para aplicaciones de nivel y profundidad - sensor sendo.” <http://www.pressuresensorsuppliers.com/es/submersible-pressure-sensor-for-level-and-depth-applications-30.html> (accessed Feb. 07, 2023).
- [56] Siemens, “SIMATIC HMI Paneles de operador Basic Panels 2nd Generation,” 2021.
- [57] “Fuente de alimentación de 12/24VDC.” [https://tiendamia.com/ec/producto?amz=B0915XKKK6&pName=Placa%20de%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%2012%20V,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20DC%20600%20W,%20convertidor%20de%20CA%20de%2012%200V,%2050%20A,%20adaptador%20de%20corriente%20continua,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%20conmutaci%C3%B3n%20regulada%20universal,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%2012%20V%20y%20600%20W/&gclid=CjwKCAiAioifBhAXEiwApzCztj3EBUKCjAQ\\_JVQ2oyyZrC5C52TqaSVXsZCfDL3PR3yIfkLwsCaTSRoCEdkQAvD\\_BwE](https://tiendamia.com/ec/producto?amz=B0915XKKK6&pName=Placa%20de%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%2012%20V,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20DC%20600%20W,%20convertidor%20de%20CA%20de%2012%200V,%2050%20A,%20adaptador%20de%20corriente%20continua,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%20conmutaci%C3%B3n%20regulada%20universal,%20fuente%20de%20alimentaci%C3%B3n%20de%2012%20V%20y%20600%20W/&gclid=CjwKCAiAioifBhAXEiwApzCztj3EBUKCjAQ_JVQ2oyyZrC5C52TqaSVXsZCfDL3PR3yIfkLwsCaTSRoCEdkQAvD_BwE) (accessed Feb. 06, 2023).
- [58] Relkom, “Variadores de frecuencia.” <https://relkom.tech/variadores-de-frecuencia.php> (accessed Feb. 06, 2023).
- [59] Siemens, “PLC LOGO! 12/24RCE-Siemens.” <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/instrumentaci%C3%B3n-industrial/automatizaci%C3%B3n/modulo-1%C3%B3gico-logo-controlador->

- controladores-1%C3%B3gicos-plc-automatizaci%C3%B3n-siemens-detail (accessed Feb. 06, 2023).
- [60] “Switch DIN-Rail .” <https://www.trendnet.com/langsp/products/industrial-variable-voltage-switch/8-port-industrial-gigabit-poe-din-rail-switch-24-56V-TI-PG80B> (accessed Feb. 06, 2023).
- [61] “Gabinete metálico.” <https://www.ingelcom.com.ec/shop/product/i35050-gabinete-metalico-para-uso-interior-30x20x15-cm-17162?category=24> (accessed Feb. 06, 2023).
- [62] “¿Cómo transformar un motor trifásico a monofásico? .” <https://todoelectrico.tech/index.php/2021/12/03/como-transformar-un-motor-trifasico-a-monofasico/> (accessed Nov. 21, 2022).
- [63] D. Perez, “Motor trifásico a monofásico .” <https://www.solucionesyservicios.biz/Blog/motor-trifasico-a-monofasico> (accessed Nov. 21, 2022).
- [64] “Lógica & Control: Entradas analógicas en modulo central.” <http://logicaycontrol.blogspot.com/2012/01/entradas-analogicas-en-modulo-central.html> (accessed Feb. 07, 2023).
- [65] G. N. Dima, M. F. Reynoso Savio, and C. A. Glucko, “La Ley de Ohm.” <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12953> (accessed Feb. 28, 2023).
- [66] R. Montañana, “Ethernet.” <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/48/enfoque1.html> (accessed Feb. 08, 2023).
- [67] D. J. Cuenca Satan and M. C. Mariscal Bravo, “Banco de pruebas para instrumentación de medición de nivel y flujo.”

# ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



<b>Anexo 1</b>	Informe Anti-Plagio Proyecto de Titulación												
<b>Facultad:</b>	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas												
<b>Carrera:</b>	Ingeniería en Electricidad												
<b>Nombre del docente evaluador que emite el informe:</b>	Ing. León Segovia Marco Aníbal M. Sc.												
<b>Documento evaluado:</b>	Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico												
<b>Autores del documento:</b>	Sr. Chicaiza Riofrio Alex Hernan Sr. Troncoso Toca Jhonatan David												
<b>Programa de similitud utilizado:</b>	Sistema URKUND												
<b>Porcentaje de similitud según el programa utilizado:</b>	4%												
<b>Observaciones:</b> Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none"><li>• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.</li><li>• El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.</li><li>• El documento no cumple criterios de originalidad.</li></ul>	-X- --- ---												
<b>Fecha de realización del informe:</b>	2/23/2023 4:49:00 PM												
<b>Captura de pantalla del documento analizado:</b>													
<table border="1"><tr><td>Analyzed document</td><td>Chicaiza_troncoso.pdf (D159339932)</td></tr><tr><td>Submitted</td><td>2/23/2023 4:49:00 PM</td></tr><tr><td>Submitted by</td><td>Carlos</td></tr><tr><td>Submitter email</td><td>carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec</td></tr><tr><td>Similarity</td><td>4%</td></tr><tr><td>Analysis address</td><td>carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com</td></tr></table>		Analyzed document	Chicaiza_troncoso.pdf (D159339932)	Submitted	2/23/2023 4:49:00 PM	Submitted by	Carlos	Submitter email	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec	Similarity	4%	Analysis address	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com
Analyzed document	Chicaiza_troncoso.pdf (D159339932)												
Submitted	2/23/2023 4:49:00 PM												
Submitted by	Carlos												
Submitter email	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec												
Similarity	4%												
Analysis address	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com												
 <b>Tutor del Proyecto de Investigación</b> Ing. León Segovia Marco Aníbal M. Sc. C.C. 0502305402													

## Document Information

---

<b>Analyzed document</b>	Chicaiza_troncoso.pdf (D159339932)
<b>Submitted</b>	2/23/2023 4:49:00 PM
<b>Submitted by</b>	Carlos
<b>Submitter email</b>	carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec
<b>Similarity</b>	4%
<b>Analysis address</b>	carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com

## Sources included in the report

---

<b>SA</b>	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS PRE-DEFENSA_correccion.pdf</b> Document TESIS PRE-DEFENSA_correccion.pdf (D143366461) Submitted by: carlos.quinatoa7864@utc.edu.ec Receiver: carlos.quinatoa7864.utc@analysis.arkund.com	 <b>5</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19179/1/Tesis_t1075id.pdf">https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/19179/1/Tesis_t1075id.pdf</a> Fetched: 2/23/2023 4:50:00 PM	 <b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/">https://www.sicma21.com/que-son-las-redes-de-comunicacion-industrial/</a> Fetched: 2/23/2023 4:51:00 PM	 <b>3</b>
<b>SA</b>	<b>submission.pdf</b> Document submission.pdf (D158752584)	 <b>3</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.efectoled.com/blog/es/esquemas-electricos/">https://www.efectoled.com/blog/es/esquemas-electricos/</a> Fetched: 2/23/2023 4:51:00 PM	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-nivel-elegir/">https://guide.directindustry.com/es/que-sensor-de-nivel-elegir/</a> Fetched: 2/23/2023 4:52:00 PM	 <b>2</b>
<b>SA</b>	<b>CARLOS TORIS TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR REV6.docx</b> Document CARLOS TORIS TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR REV6.docx (D157495429)	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://afinidadelctrica.com/2020/08/09/disenio-de-un-tablero-de-control-de-bombas-de-agua/">https://afinidadelctrica.com/2020/08/09/disenio-de-un-tablero-de-control-de-bombas-de-agua/</a> Fetched: 2/23/2023 4:50:00 PM	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_492.htm">https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_492.htm</a> Fetched: 2/23/2023 4:50:00 PM	 <b>1</b>
<b>W</b>	URL: <a href="https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-6-lo...">https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/d-automatizacion/1-6-lo...</a> Fetched: 2/23/2023 4:51:00 PM	 <b>1</b>



Anexo 2

Dirección de entradas, salidas y memorias en Logo!Soft Comfort V8.3 a TIA PORTAL

**Direcciones de Entradas y Salidas de Logo!Soft Comfort V8.3 a TIA PORTAL**

I	Dirección	Q	Dirección	M	Dirección
I1	I0.0	Q1	Q0.0	M1	M0.0
I2	I0.1	Q2	Q0.1	M2	M0.1
I3	I0.2	Q3	Q0.2	M3	M0.2
I4	I0.3	Q4	Q0.3	M4	M0.3
I5	I0.4	Q5	Q0.4	M5	M0.4
I6	I0.5	Q6	Q0.5	M6	M0.5
I7	I0.6	Q7	Q0.6	M7	M0.6
I8	I0.7	Q8	Q0.7	M8	M0.7
I9	I1.0	Q9	Q1.0	M9	F1.0
I10	I1.1	Q10	Q1.1	M10	F1.1
I11	I1.2	Q11	Q1.2	M11	M1.2
I12	I1.3	Q12	Q1.3	M12	M1.3
I13	I1.4	Q13	Q1.4	M13	M1.4
I14	I1.5	Q14	Q1.5	M14	M1.5
I15	I1.6	Q15	Q1.6	M15	M1.6
I16	I1.7	Q16	Q1.7	M16	M1.7
I17	I2.0			M17	M2.0
I18	I2.1			M18	M2.1
I19	I2.2			M19	M2.2
I20	I2.3			M20	M2.3
I21	I2.4			M21	M2.4
I22	I2.5			M22	M2.5
I23	I2.6			M23	M2.6
I24	I2.7			M24	M2.7
				M25	M3.0
				M26	M3.1
				M27	M3.2



Anexo 3

Mapeo de variables de LOGO! Maestro

MAPEO DE VARIABLES DE loGO!Soft Comfort V8.3 - Logo Maestro

Sector:	Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito
Tablero:	-
Fecha:	Octubre 2022 - Marzo 2023
Módulo:	-
Modelo:	-

TEMPORIZADORES SEMANALES

BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL	DIRECCIÓN	
					HMI
INTERN O (LOGO)	BLOQUE B001/SF001 (BLOQUEO GENERAL)				
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	Intervalo de tiempo de trabajo configurado por el usuario	Leva 1	By te	VB12
	TD_MOMENTO_CONEXION	Conecta a todo el sistema, modo de trabajo		W ord	VW13
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	Desconecta a todo el sistema, modo de descanso		W ord	VW15
	BLOQUE B016/SF016 (RELOJ 1)				
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 1	By te	VB21
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		W ord	VW22
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		W ord	VW24
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 2	By te	VB26
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		W ord	VW27
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		W ord	VW29
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 3	By te	VB31
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		W ord	VW32
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		W ord	VW34
	BLOQUE B004/SF004 (RELOJ 2)				
TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-2	Leva 1	By te	VB36	

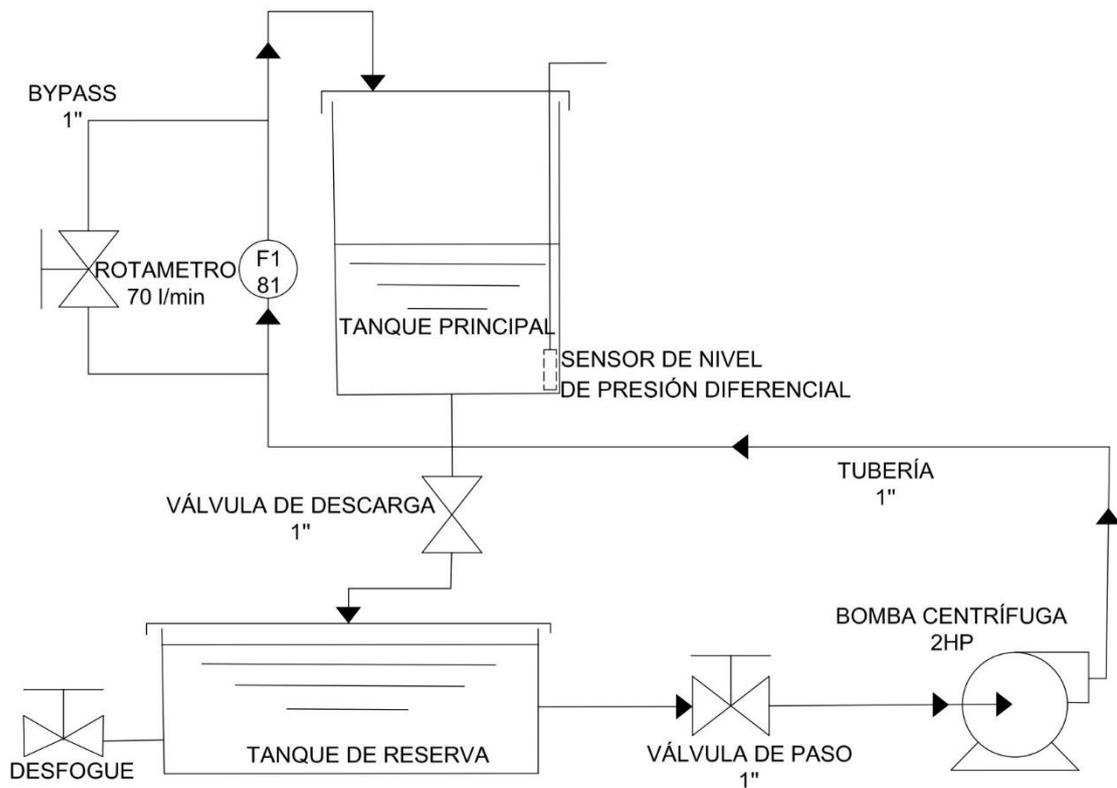
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CO NEXION		W ord	VW37
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DE SCONEXION		W ord	VW39
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TR ABAJO_RELOJ-2	Leva 2	By te	VB41
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CO NEXION		W ord	VW42
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DE SCONEXION		W ord	VW44
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TR ABAJO_RELOJ-2	Leva 3	By te	VB46
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CO NEXION		W ord	VW47
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DE SCONEXION		W ord	VW49
<b>CONTROL ON/OFF</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPC ION SEÑAL	DIREC CIÓN HMI	
INTERN O (LOGO)	BLOQUE B009/SF009 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA SET POINT MINIMO)				
	VA-SET_LIMITE INFERIOR	Fija el valor minimo para encender la bomba en Mod Automatico	V1	W ord	VW4
	VA_LIMITE INFERIOR	Presenta el valor actual configurado	AQ amplifi cada	W ord	VW6
	BLOQUE B010/SF010 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA SET POINT MAXIMO)				
	VA-SET_LIMITE SUPERIOR	Fija el valor maximo para apagar la bomba en Mod Automatico	V1	W ord	VW8
	VA_LIMITE SUPERIOR	Presenta el valor actual configurado	AQ amplifi cada	W ord	VW10
<b>RETARDO CONEXIÓN/DESCONEXIÓN</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPC ION SEÑAL	DIREC CIÓN HMI	
INTERN O (LOGO)	BLOQUE B013/SF013 (ACCIONAMIENTO MOTOR)				
	SET_CONM_MOTOR	Presenta el valor actual configurado	Valor actual	W ord	VW0
	VALOR_ACTUAL_CONM_M OTOR	Fija el tiempo para conectar Q2 luego que Q1 se conecto	Tiemp o de conexi ón	W ord	VW2

ESCALAMIENTO					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL		DIRECCIÓN
					HMI
INTERNO (LOGO)	BLOQUE B002/SF002 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA ESCALAMIENTO DE 0m-2m)				
	INSTRUCCION_ARIMETICA (m)	Presenta el valor del nivel en el taqne desde 0m hasta 2m	AQ amplificada	Word	VW19
	BLOQUE B017/SF017 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA ESCALAMIENTO DE 0%-100%)				
	INSTRUCCION_ARIMETICA (%)	Presenta el valor del nivel en el taqne desde 0% hasta 100%	AQ amplificada	Word	VW17
BLOQUEO NIVEL BAJO					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCION SEÑAL		DIRECCIÓN
					HMI
INTERNO (LOGO)	BLOQUE B022/SF022 (RETARDO A LA DESCONEXIÓN)				
	VA_TIEMPO_DE_ESPERA_D EPOSITO_DE_AGUA	Presenta el valor actual configurado	Valor actual	Word	VW51
	SET_TIEMPO_DE_ESPERA_D EPOSITO_DE_AGUA	Fija el tiempo de espera para reabastacimieento del pozo de agua	Retardo a la desconexión	Word	VW53
	TR_TIEMPO_DE_ESPERA_D EPOSITO_DE_AGUA	Presenta restante para que el sistema se desbloquee	Tiempo restante	Word	VW55



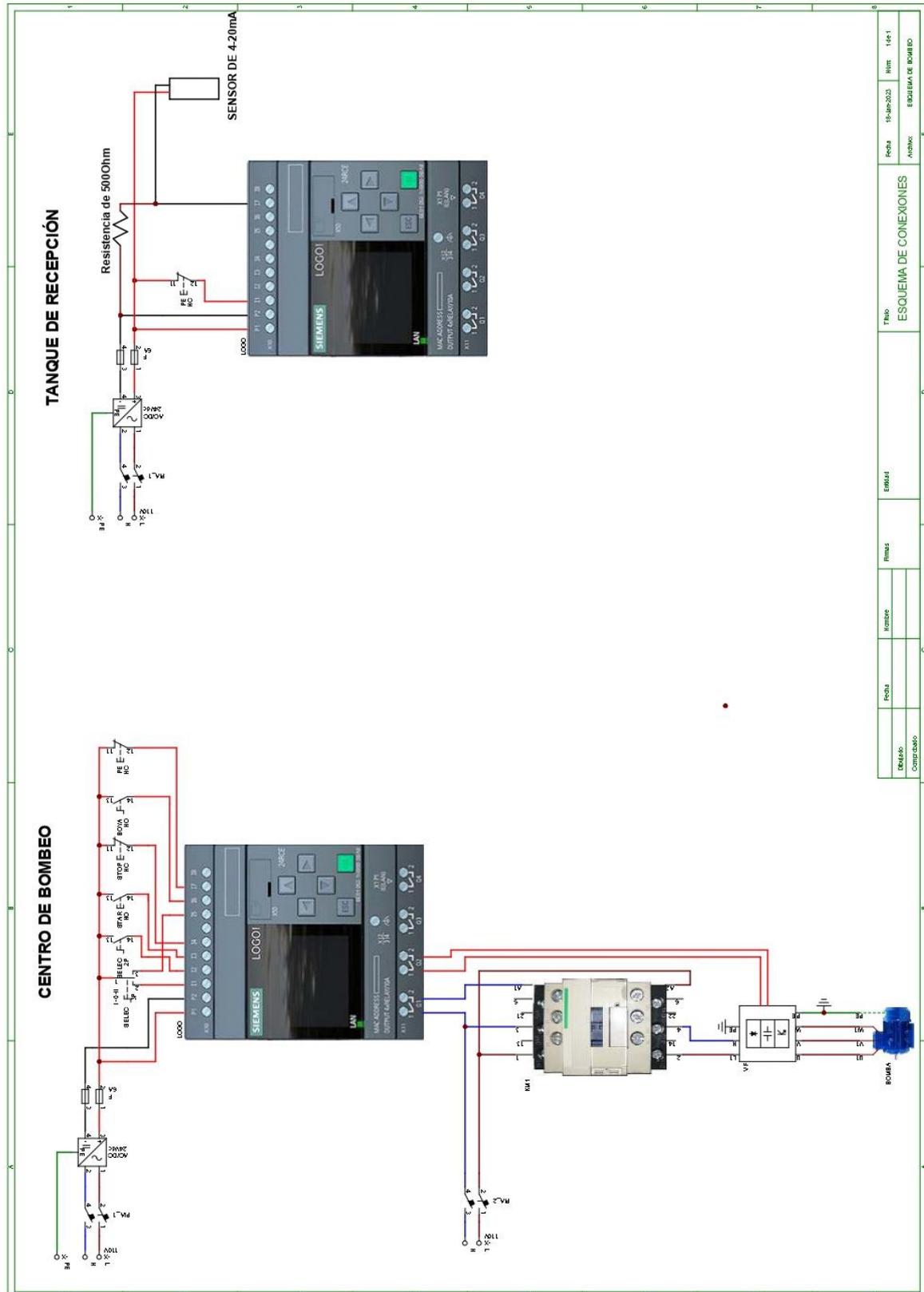
Anexo 4

Diagrama P&ID del banco de pruebas de medición de nivel y caudal.  
Laboratorio de F. CIYA - UTC



Anexo 5

Esquema eléctrico de conexiones de los LOGO!

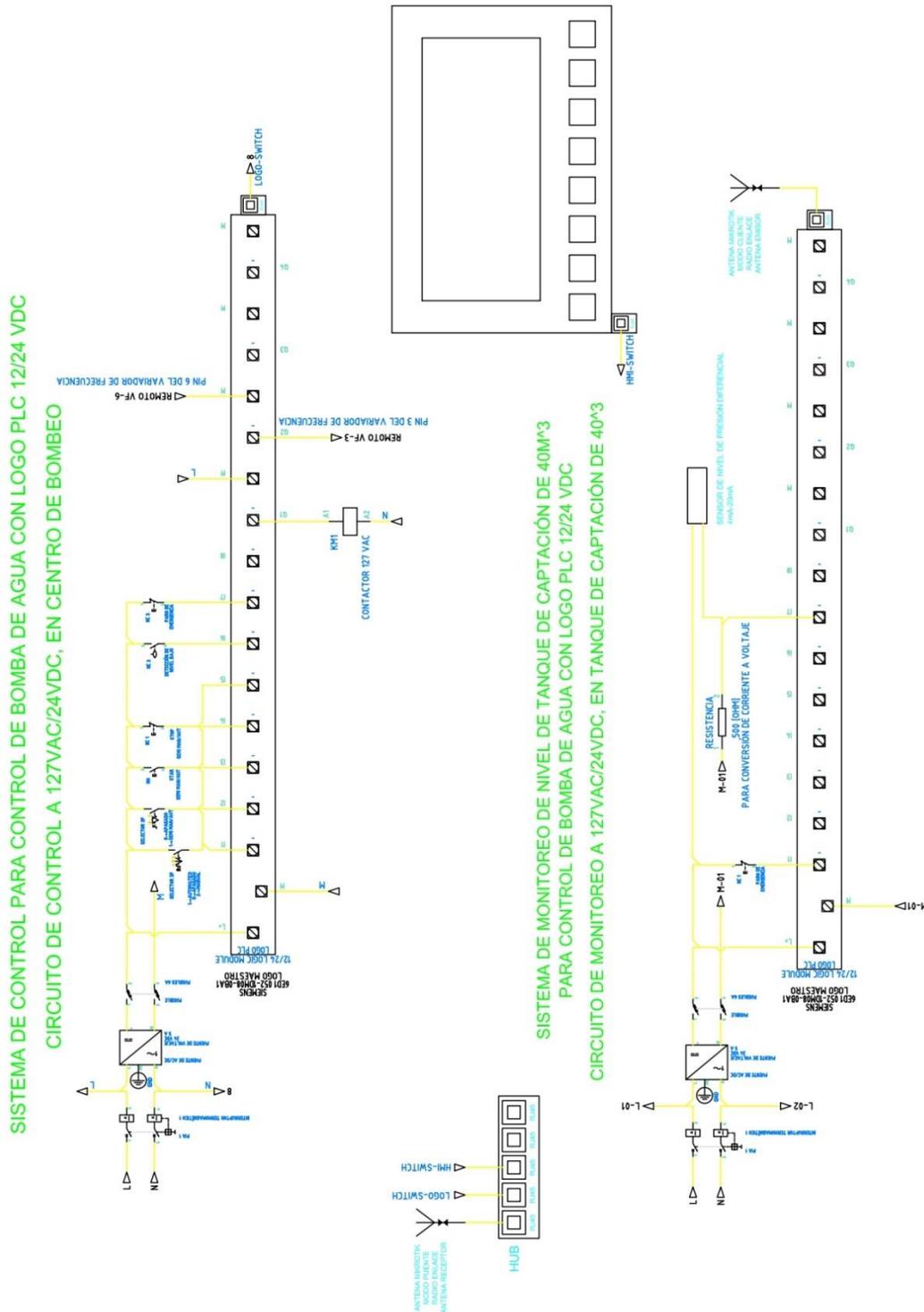


Fecha:	19-Jun-2022	Hora:	16:51
Nombre:	ESQUEMA DE CONEXIONES		
Apellido:	ESQUEMA DE BOMBEO		
Estado:	Finalizado	Comprobado:	

**Anexo 6**

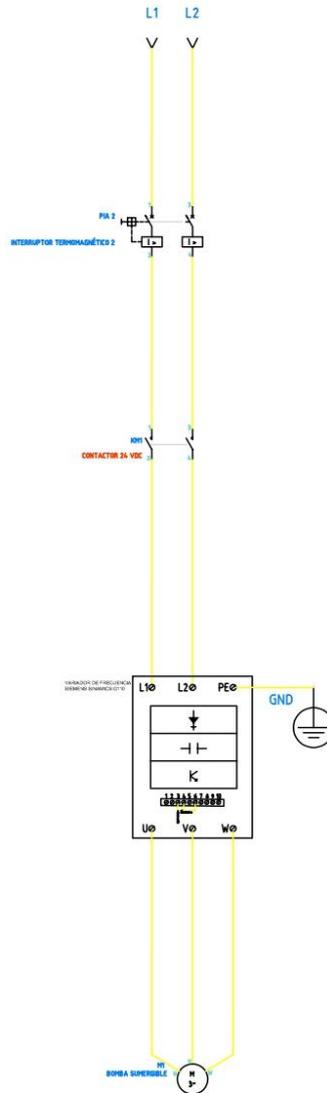
Circuitos eléctricos de Control, Comunicación y Potencia

- Circuito de control y comunicación



- Circuito de potencia

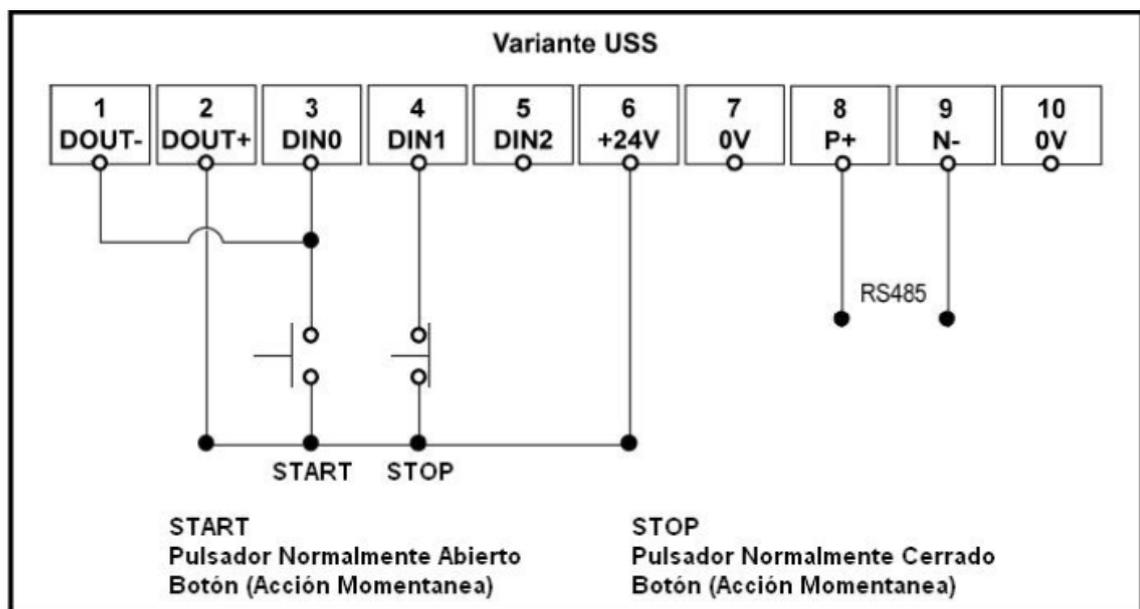
# ARRANQUE DE BOMBA DE AGUA CON VARIADOR DE FRECUENCIA SIEMENS SISTEMATIC G110 CIRCUITO DE POTENCIA A 220 VAC, EN CENTRO DE BOMBEO





**Anexo 7**

Conexión remota para variador de frecuencia SINAMICS G110



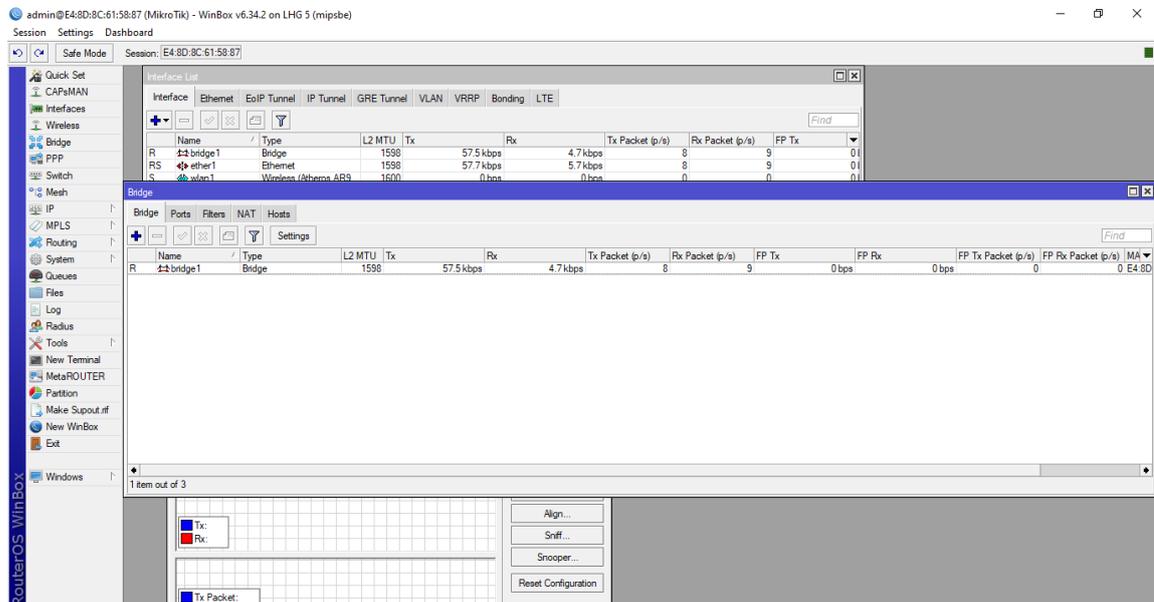
- Lista de parámetros variador de frecuencia SINAMICS G110

<https://studylib.es/doc/6611021/lista-de-parámetros-edición-11-04-sinamics-g110>



Anexo 8

Configuración de antenas MikroTik LGH5 con el programa Winbox



- Video tutorial configuración de antenas en modo cliente y modo servidor

Tutorial 1:

[https://www.youtube.com/watch?v=INWA3d\\_mVJE&t=1075s](https://www.youtube.com/watch?v=INWA3d_mVJE&t=1075s)

Tutorial 2:

<https://www.youtube.com/watch?v=knPPBvmyw28&t=718s>



**Anexo 9**

Lógica de programación del LOGO! Maestro

- Configuración del módulo

<b>Dirección del módulo</b>				
Dirección IP	192.168.20.2			
Máscara de subred:	255.255.255.0			
Pasarela predeterminada	192.168.100.5			
<b>Conexión1 (Servidor)</b>				
Propiedades locales(Servidor)				
TSAP 02.00 Conectar con un panel de operador (OP)				
Aceptar todas las solicitudes de conexión				
Propiedades remotas(Cliente)				
TSAP 02.00				
<b>Conexión2 (Cliente)</b>				
Propiedades locales(Cliente)				
TSAP 21.00				
Propiedades remotas(Servidor)				
Dirección IP192.168.20.3				
TSAP 20.00				
Transferencia de datos (lectura: local<-remoto; escritura: local->remoto)				
ID	Operación	Longitud (bytes)	Dirección (local)	Dirección (remota)
1	Leer	1	VBO	VBO
2	Leer	1	VBO	VBO
3	Escribir	1	VBO	VBO
4	Escribir	1	VBO	VBO
Autor:		Usuario		Cliente:
Comprobado:		Proyecto:		Nº diagrama:
Fecha de creación/modificación:		Instalación:		Página:
25/12/21 11:52:27/02/23 17:48		archivo:		Control_BOMBA_CON DOS TEMPORIZADORES.lsc
				1 / 11

- Mapeado de parámetros, LOGO! Maestro

**Mapeando parámetro VM**

ID	Bloque	Parámetro	Tipo	Dirección
1	B013 [Retardo conexión/desconexión]	Valor actual	Word	0
2	B013 [Retardo conexión/desconexión]	Tiempo de conexión (TH)	Word	2
3	B009 [Instrucción aritmética]	V1	Word	4
4	B009 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	6
5	B010 [Instrucción aritmética]	V1	Word	8
6	B010 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	10
7	B001 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	12
8	B001 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	13
9	B001 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	15
10	B017 VALOR ACTUAL [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	17
11	B002 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	19
12	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	21
13	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	22
14	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	24
15	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana2	Byte	26
16	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión2	Word	27
17	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión2	Word	29

Autor:	Usuario	Proyecto:	Cliente:
Comprobador:		Instalación:	Nº diagrama:
Fecha de creación/modificación:	25/12/22 11:52:17:48	archivo:	Control_HMI_BOMBA_CON DOS TEMPORIZADORES.lsc
			Página:
			2 / 11

### Mapeando parámetro VM

ID	Bloque	Parámetro	Tipo	Dirección
18	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana3	Byte	31
19	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión3	Word	32
20	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión3	Word	34
21	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	36
22	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	37
23	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	39
24	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana2	Byte	41
25	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión2	Word	42
26	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión2	Word	44
27	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana3	Byte	46
28	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión3	Word	47
29	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión3	Word	49
30	B022 [Retardo a la desconexión]	Valor actual	Word	51
31	B022 [Retardo a la desconexión]	Retardo a la desconexión	Word	53
32	B022 [Retardo a la desconexión]	Tiempo restante	Word	55

Autor:  
Comprobado:  
Fecha de creación/modificación:

Usuario  
25/12/22 11:52:10/23 17:48

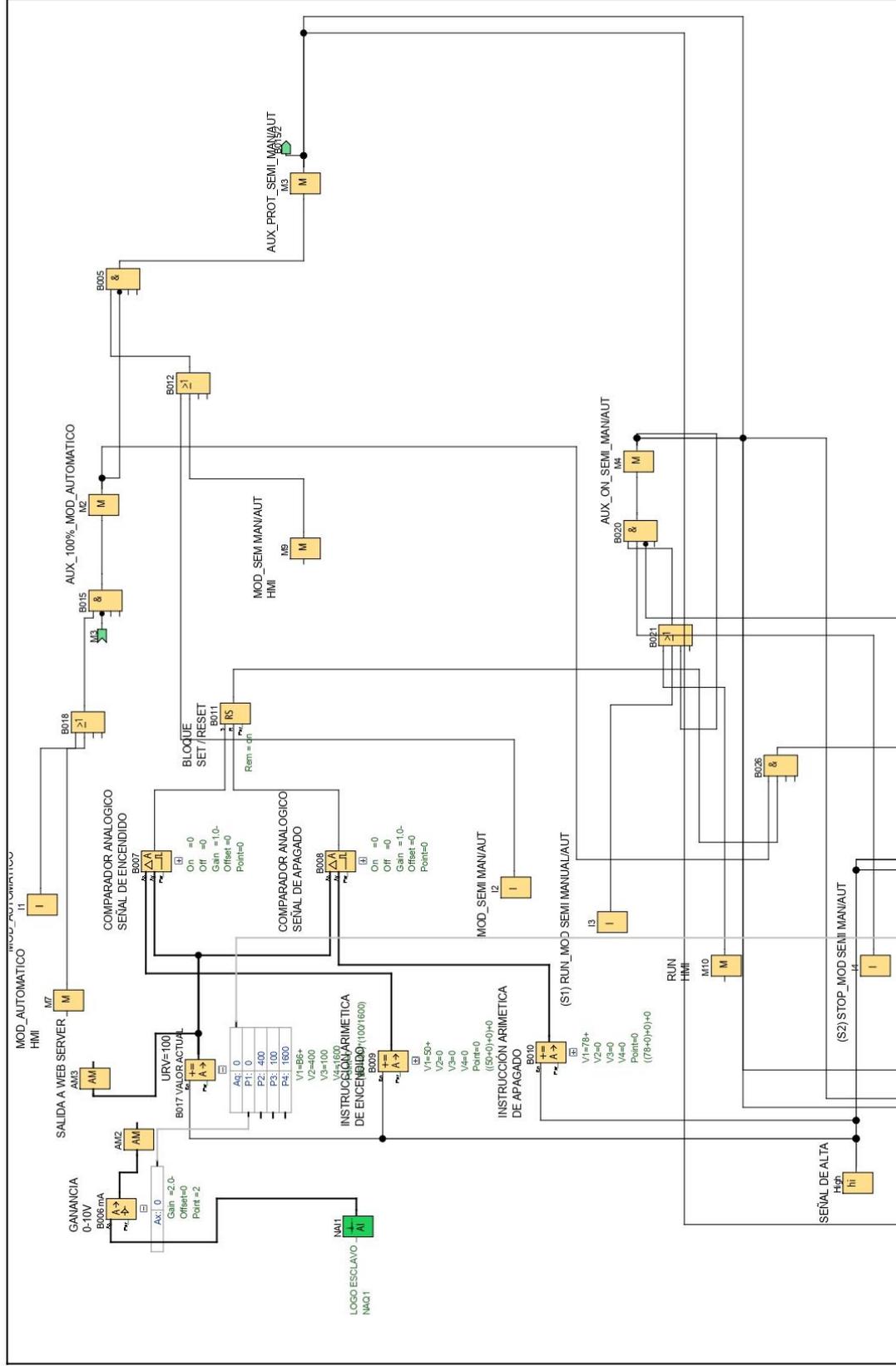
Proyecto:  
Instalación:  
archivo:

Control\_HMI\_BOMBA\_CON DOS TEMPORIZADORES.lsc

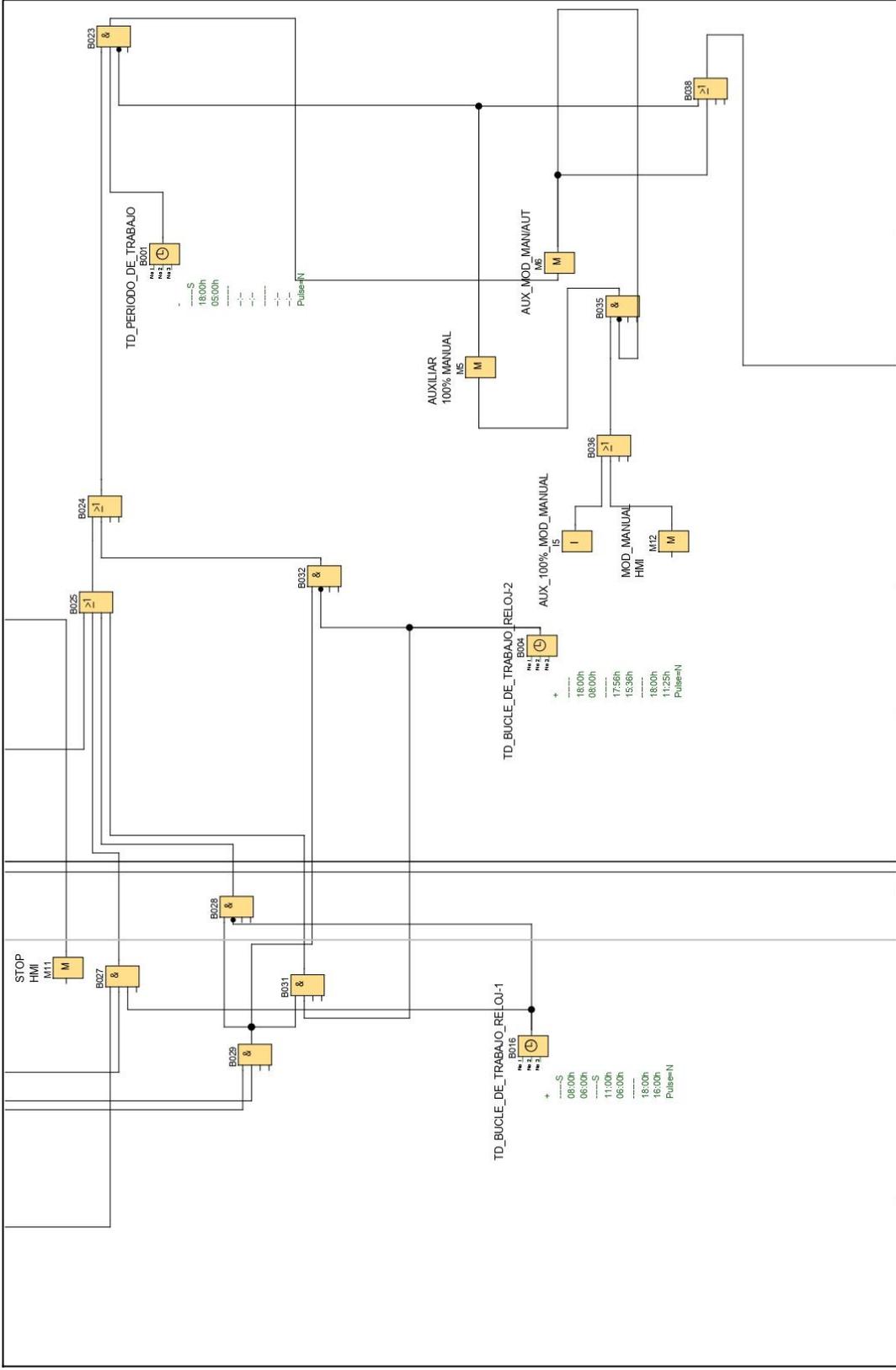
Cliente:  
Nº diagrama:  
Página:

3 / 11

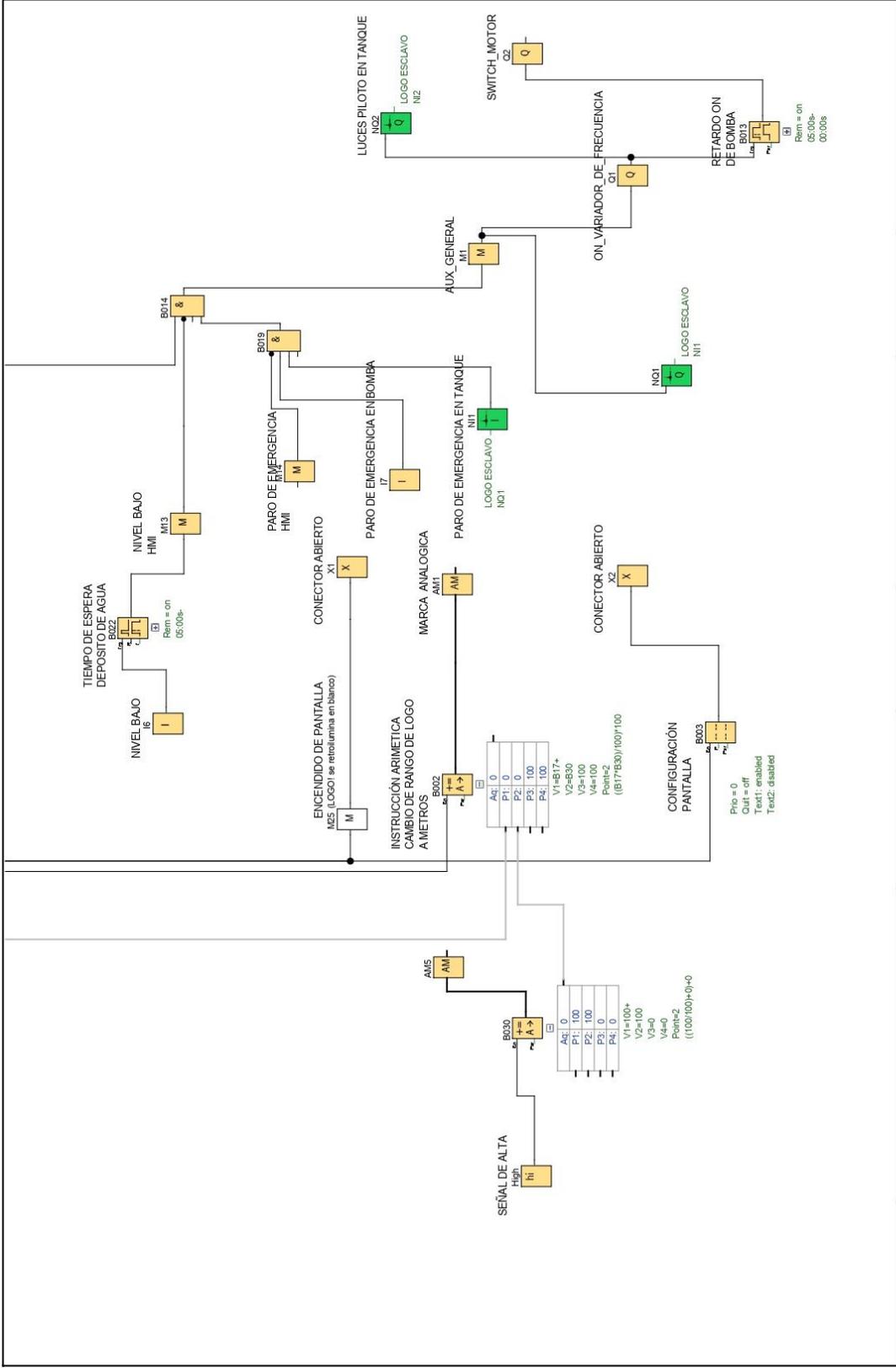
- Lógica de programación del LOGO! Maestro en lenguaje FUP



Autor:	Usuario	Proyecto:	Control_HMI BOMBA_CON DOS TEMPORIZADORES.lsc	Cliente:	
Comprobado:		Instalación:	archivo:	N° diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	25/12/22 11:52:27/02/23 17:48			Página:	4 / 11



Autor:	Usuario	Proyecto:	Control_HMI_BOMBA_CON_DOS_TEMPORIZADORES.LSC	Cliente:	
Comprobado:		Instalación:	archivo:	N° diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	25/12/22 11:52Z/10/23/17:48			Página:	6 / 11



Autor:	Usuario	Cliente:	
Comprobado:		Nº diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	25/12/22 11:52:10/2023 17:48	Control_HMI_BOMBA_CON DOS TEMPORIZADORES.lsc	8 / 11
		Proyecto:	
		Instalación:	
		archivo:	
		Página:	

- Detalles de bloques de programación

Número de bloque (tipo)	Parámetro																
AM1(Marca analógica) : MARCA ANALOGICA																	
AM3(Marca analógica) : SALIDA A WEB SERVER																	
B001(Temporizador semanal) : TD_PERIODO_DE_TRABAJO	- -----S 18:00h 05:00h ----- --:-- --:-- ----- --:-- --:-- ----- Pulse=N																
B002(Instrucción aritmética) : INSTRUCCIÓN ARIMETICA CAMBIO DE RANGO DE LOGO A METROS	V1=B17+ V2=B30 V3=100 V4=100 Point=2 ((B17*B30)/100)*100																
B003(Texto de aviso) : CONFIGURACIÓN PANTALLA	Prio = 0 Quit = off Text1: enabled Text2: disabled																
 <p>Line1.1 Bar: B017 VALOR ACTUAL-Aq;Max=100;Min=0;Dir=Ver;Len=6 Line1.9 B017 VALOR ACTUAL-Aq Line2.9 B002-Aq Line3.10 IOStatus: M1;Off="OFF";On="ON" Line4.4 B003-Time Line5.4 B003-Date</p>	<p>Configuración del ticker - CBC - Line1: N - Line2: N - Line3: N - Line4: N - Line5: N - Line6: N Destino de aviso - Display de LOGO!</p>																
B004(Temporizador semanal) : TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-2	+ ----- 18:00h 08:00h ----- 17:56h 15:36h ----- 18:00h 11:25h ----- Pulse=N																
<table border="1"> <tr> <td>Autor:</td> <td>Usuario</td> <td>Proyecto:</td> <td>Cliente:</td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td></td> <td>Instalación:</td> <td>Nº diagrama:</td> </tr> <tr> <td>Fecha de creación/modificación:</td> <td>20/02/22 11:52:21/02/23 17:48</td> <td>archivo:</td> <td>Control_HMI BOMBA_CON DOS</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Página: 7 / 11</td> </tr> </table>		Autor:	Usuario	Proyecto:	Cliente:	Comprobado:		Instalación:	Nº diagrama:	Fecha de creación/modificación:	20/02/22 11:52:21/02/23 17:48	archivo:	Control_HMI BOMBA_CON DOS				Página: 7 / 11
Autor:	Usuario	Proyecto:	Cliente:														
Comprobado:		Instalación:	Nº diagrama:														
Fecha de creación/modificación:	20/02/22 11:52:21/02/23 17:48	archivo:	Control_HMI BOMBA_CON DOS														
			Página: 7 / 11														

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B006 mA(Amplificador analógico) : GANANCIA 0-10V	Gain =2.0- Offset=0 Point =2
B007(Comparador analógico) : COMPARADOR ANALOGICO SEÑAL DE ENCENDIDO	On =0 Off =0 Gain =1.0- Offset =0 Point=0
B008(Comparador analógico) : COMPARADOR ANALOGICO SEÑAL DE APAGADO	On =0 Off =0 Gain =1.0- Offset =0 Point=0
B009(Instrucción aritmética) : INSTRUCCIÓN ARIMETICA DE ENCENDIDO	V1=50+ V2=0 V3=0 V4=0 Point=0 ((50+0)+0)+0
B010(Instrucción aritmética) : INSTRUCCIÓN ARIMETICA DE APAGADO	V1=78+ V2=0 V3=0 V4=0 Point=0 ((78+0)+0)+0
B011(Relé autoenclavador) : BLOQUE SET / RESET	Rem = on
B013(Retardo conexión/desconexión) : RETARDO ON DE BOMBA	Rem = on 05:00s- 00:00s
B016(Temporizador semanal) : TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	+ -----S 08:00h 06:00h -----S 11:00h 06:00h ----- 18:00h 16:00h Pulse=N
B017 VALOR ACTUAL(Instrucción aritmética) : URV=100	V1=B6+ V2=400 V3=100 V4=1600 Point=0 (B6-400)*(100/1600)
B022(Retardo a la desconexión) : TIEMPO DE ESPERA DEPOSITO DE AGUA	Rem = on 05:00s-

Autor:	Usuario	Proyecto:	Cliente:
Comprobado:		Instalación:	N° diagrama:
Fecha de creación/modificación:	2014/02/22 11:52:21/02/23 17:48	archivo:	Control_HMI BOMBA_CON DOS
			Página: 8 / 11

Número de bloque (tipo)	Parámetro
B030(Instrucción aritmética) :	V1=100+ V2=100 V3=0 V4=0 Point=2 ((100/100)+0)+0
I1(Entrada) : MOD_AUTOMATICO	
I2(Entrada) : MOD_SEMI MAN/AUT	
I3(Entrada) : (S1) RUN_MOD SEMI MANUAL/AUT	
I4(Entrada) : (S2) STOP_MOD SEMI MAN/AUT	
I5(Entrada) : AUX_100%_MOD_MANUAL	
I6(Entrada) : NIVEL BAJO	
I7(Entrada) : PARO DE EMERGENCIA EN BOMBA	
M1(Marca) : AUX_GENERAL	
M2(Marca) : AUX_100%_MOD_AUTOMATICO	
M3(Marca) : AUX_PROT_SEMI_MAN/AUT	
M4(Marca) : AUX_ON_SEMI_MAN/AUT	
M5(Marca) : AUXILIAR 100% MANUAL	
M6(Marca) : AUX_MOD_MAN/AUT	
M7(Marca) : MOD_AUTOMATICO HMI	
M9(Marca) : MOD_SEM MAN/AUT HMI	
M10(Marca) : RUN HMI	
M11(Marca) : STOP HMI	

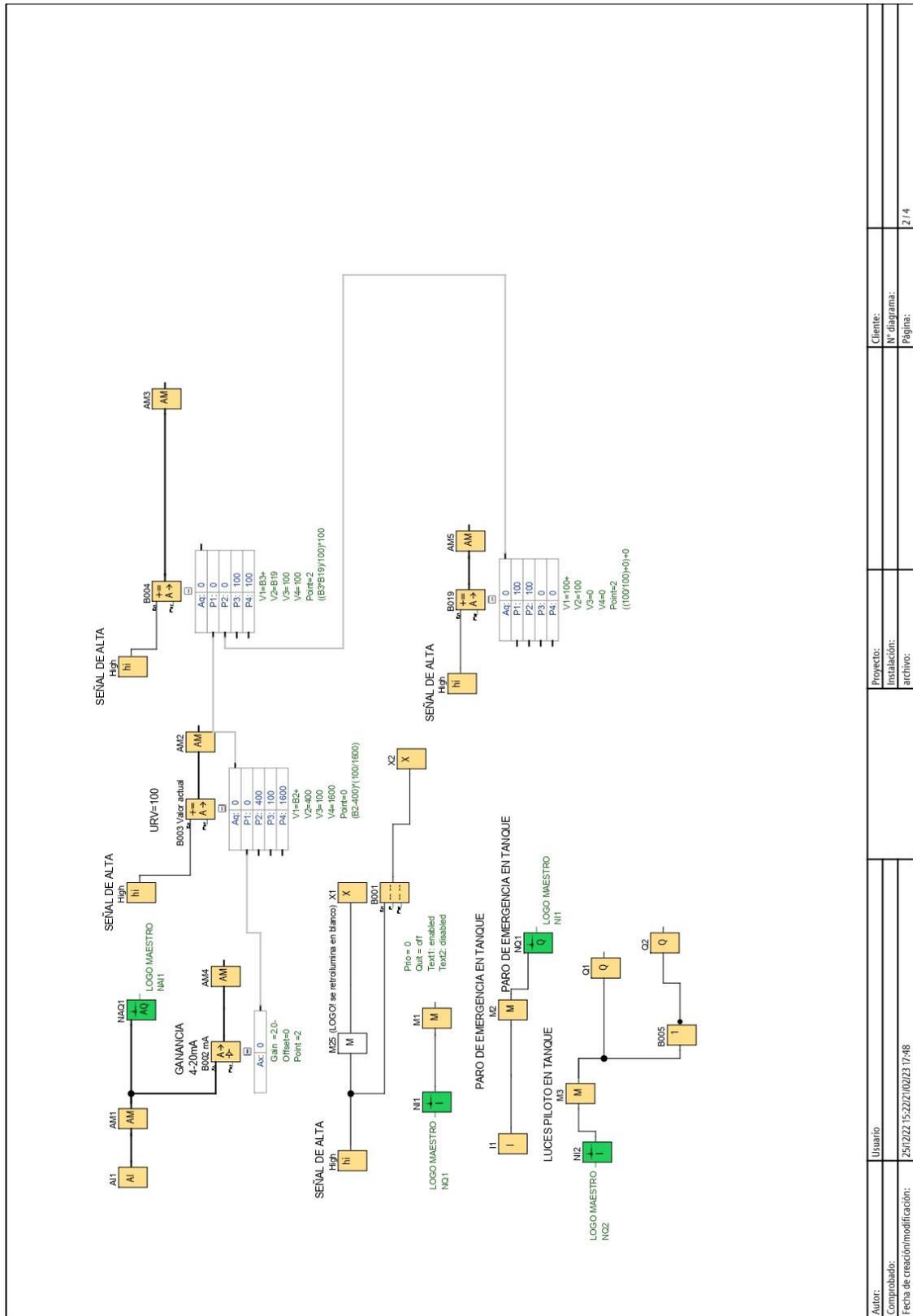
Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:	
Comprobado:		Instalación:		N° diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	25/02/22 11:52:21/02/23 17:48	archivo:	Control_HMI BOMBA_CON DOS	Página:	9 / 11

Número de bloque (tipo)	Parámetro
M12(Marca) : MOD_MANUAL HMI	
M13(Marca) : NIVEL BAJO HMI	
M14(Marca) : PARO DE EMERGENCIA HMI	
M25(LOGO! se retroilumina en blanco) : ENCENDIDO DE PANTALLA	
N11(Entrada de red) : PARO DE EMERGENCIA EN TANQUE	LOGO ESCLAVO NQ1
NQ2(Salida de red) : LUCES PILOTO EN TANQUE	LOGO ESCLAVO NI2
Q1(Salida) : ON_VARIADOR_DE_FRECUENCIA	
Q2(Salida) : SWITCH_MOTOR	
X1(Conector abierto) : CONECTOR ABIERTO	
X2(Conector abierto) : CONECTOR ABIERTO	

Autor:	Usuario	Proyecto:	Cliente:
Comprobado:		Instalación:	N° diagrama:
Fecha de creación/modificación:	20/02/22 11:52/21/02/23 17:48	archivo:	Control_HMI_BOMBA_CON_DOS
		Página:	10 / 11

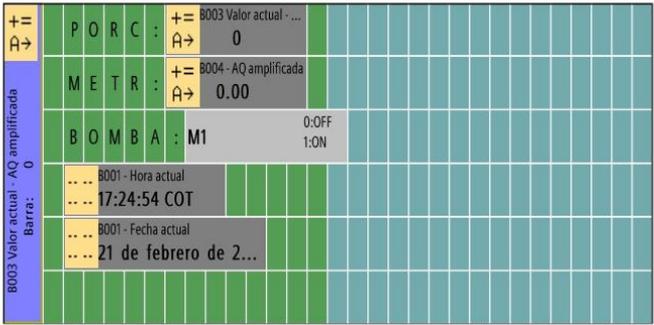


- Lógica de programación del LOGO! Esclavo en lenguaje FUP



Autor:	Usuario	Cliente:	
Comprobado:		Instalación:	
Fecha de creación/modificación:	25/12/22 15:22:11/02/23 17:48	archivo:	
		Nº diagrama:	2 / 4
		Página:	

- Detalles de bloques de programación

Número de bloque (tipo)	Parámetro																		
<p>B001(Texto de aviso) :</p>  <p>Line1.1 Bar: B003 Valor actual-Aq;Max=100;Min=0;Dir=Ver;Len=6            Line1.9 B003 Valor actual-Aq            Line2.9 B004-Aq            Line3.10 IOstatus: M1;Off="OFF";On="ON"            Line4.4 B001-Time            Line5.4 B001-Date</p>	<p>Prio = 0            Quit = off            Text1: enabled            Text2: disabled</p> <p>Configuración del ticker            - CBC            - Line1: N            - Line2: N            - Line3: N            - Line4: N            - Line5: N            - Line6: N            Destino de aviso            - Display de LOGO!</p>																		
<p>B002 mA(Amplificador analógico) :            GANANCIA            4-20mA</p>	<p>Gain =2.0-            Offset=0            Point =2</p>																		
<p>B003 Valor actual(Instrucción aritmética) :            URV=100</p>	<p>V1=B2+            V2=400            V3=100            V4=1600            Point=0            (B2-400)*(100/1600)</p>																		
<p>B004(Instrucción aritmética) :</p>	<p>V1=B3+            V2=B19            V3=100            V4=100            Point=2            ((B3*B19)/100)*100</p>																		
<p>B019(Instrucción aritmética) :</p>	<p>V1=100+            V2=100            V3=0            V4=0            Point=2            ((100/100)+0)+0</p>																		
<p>M2(Marca) :            PARO DE EMERGENCIA EN TANQUE</p>																			
<p>M3(Marca) :            LUCES PILOTO EN TANQUE</p>																			
<p>NQ1(Salida de red) :            PARO DE EMERGENCIA EN TANQUE</p>	<p>LOGO MAESTRO            NI1</p>																		
<table border="1"> <tr> <td>Autor:</td> <td>Usuario</td> <td>Proyecto:</td> <td></td> <td>Cliente:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Comprobado:</td> <td></td> <td>Instalación:</td> <td></td> <td>N° diagrama:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha de creación/modificación:</td> <td>20/02/22 15:22:10/02/23 17:48</td> <td>archivo:</td> <td></td> <td>Página:</td> <td>3 / 4</td> </tr> </table>		Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:		Comprobado:		Instalación:		N° diagrama:		Fecha de creación/modificación:	20/02/22 15:22:10/02/23 17:48	archivo:		Página:	3 / 4
Autor:	Usuario	Proyecto:		Cliente:															
Comprobado:		Instalación:		N° diagrama:															
Fecha de creación/modificación:	20/02/22 15:22:10/02/23 17:48	archivo:		Página:	3 / 4														



**Anexo 11**

Flujos de caja.

- Datos de los flujos en el primer periodo (año 1).

Flujos	Inversión	Primer periodo dividido en meses											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	0	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Egresos	2780,36	30	30	30	30	30	31,88	30	30	30	30	30	31,88
Flujo de caja	-2780,36	370	370	370	370	370	368,12	370	370	370	370	370	368,12

- Datos de los flujos del segundo periodo (año 2).

Flujos	Segundo periodo dividido en meses											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Egresos	30	30	30	30	30	31,88	30	30	30	30	30	31,88
Flujo de caja	370	370	370	370	370	368,12	370	370	370	370	370	368,12



Anexo 12

Bloques de programación usados en el LOGO! Maestro.

<b>Bloques de lenguaje FUP usados en el LOGO! Maestro</b>			
<b>Índice</b>	<b>Bloque</b>	<b>Descripción</b>	<b>Función</b>
1	AM1	Marca analógica	Conector abierto del bloque B002
2	AM2	Marca analógica	Conector abierto del bloque B006
3	AM3	Marca analógica	Conector abierto del bloque B017
4	AM5	Marca analógica	Conector abierto del bloque B030
5	B001	Temporizador semanal	Habilita y deshabilita una leva (jornada) de trabajo
6	B002	Instrucción aritmética	Cambia el porcentaje de nivel a metros
7	B003	Texto de aviso	Configuración de texto en pantalla de LOGO! físico
8	B004	Temporizador semanal	Habilita y deshabilita tres levas de trabajo (Reloj 2)
9	B005	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
10	B006	Amplificador analógico	Lee la señal analógica que proviene del LOGO! Esclavo
11	B007	Comparador analógico	Lee la señal de encendido
12	B008	Comparador analógico	Lee la señal de apagado
13	B009	Instrucción aritmética	Fija el set point mínimo
14	B010	Instrucción aritmética	Fija el set point máximo
15	B011	Relé auto enclavador	Habilita/deshabilita el sistema de acuerdo a B009 y B010
16	B012	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
17	B013	Retardo conexión/desconexión	Activa Q2 luego de un tiempo de haberse activado Q1
18	B014	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
19	B015	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
20	B016	Temporizador semanal	Habilita y deshabilita tres levas de trabajo (Reloj 1)
21	B017	Instrucción aritmética	Valor del nivel en porcentaje del tanque de recepción
22	B018	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
23	B019	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
24	B020	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
25	B021	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
26	B022	Retardo a la desconexión	Tiempo de espera para reabastecer el pozo de agua
27	B023	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
28	B024	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
29	B025	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
30	B026	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa

			activa
31	B027	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
32	B028	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
33	B029	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
34	B030	Instrucción aritmética	Conversión de centímetros a metros
35	B031	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
36	B032	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
37	B035	AND	Una o más entradas deben tener 1 lógico y su salida se activa
38	B036	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
39	B038	OR	Solo con una de sus entradas en 1 lógico y su salida se activa
40	High	Estado 1 (alto)	Mantiene una señal de 1 lógico en todo momento
41	I1	Entrada física digital	Selector, posición automática
42	I2	Entrada física digital	Selector, posición semi manual/automático
43	I3	Entrada física digital	NO, inicia modo manual cuando se selecciona I2
44	I4	Entrada física digital	NC, apaga modo manual cuando se selecciona I3
45	I5	Entrada física digital	Interruptor, selecciona modo manual
46	I6	Entrada física digital	NC, abre el sistema en nivel bajo del agua (negado en simulación)
47	I7	Entrada física digital	NC, paro de emergencia para el sistema de potencia
48	M1	Marca/Memoria	Auxiliar general de Q1 Y Q2
49	M2	Marca/Memoria	Auxiliar de bloqueo para habilitar el modo automático
50	M3	Marca/Memoria	Auxiliar de protección para habilitar el modo semi manual/automático
51	M4	Marca/Memoria	Auxiliar de bloqueo para habilitar el modo semi manual/automático
52	M5	Marca/Memoria	Auxiliar de bloqueo para habilitar el modo manual
53	M6	Marca/Memoria	Auxiliar de bloqueo para habilitar el modo semi manual/automático
54	M7	Marca/Memoria	Selector, posición automática (HMI)
55	M9	Marca/Memoria	Selector, posición semi manual/automático (HMI)
56	M10	Marca/Memoria	NO, inicia modo manual cuando se selecciona M9 (HMI)
57	M11	Marca/Memoria	NC, apaga modo manual cuando se selecciona M10 (HMI)
58	M12	Marca/Memoria	Interruptor, selecciona modo manual
59	M13	Marca/Memoria	Detecta el nivel bajo y envía señal al HMI para activar un mensaje de aviso
60	M14	Marca/Memoria	NC, paro de emergencia para el sistema de potencia
61	M25	Marca/Memoria	Retro ilumina la pantalla del LOGO! en color blanco
62	NAI1	Entrada analógica de red	Almacena la señal analógica recibida del LOGO! Esclavo (AI1)
63	NI1	Entrada de red	Señal de 1 lógico recibido desde PLC Loco Esclavo (I1)
64	NQ1	Salida de red	Señal de estado de ON/OFF enviado a LOGO! Esclavo (M1)
65	NQ2	Salida de red	Señal de estado de ON/OFF enviado a LOGO! Esclavo

			(M3)
66	Q1	Salida física	Activa Q1 (Bobina de contactor -> Variador de frecuencia)
67	Q2	Salida física	Activa la entrada de control remoto de variador de frecuencia
68	X1	Conector abierto	Conector abierto del bloque M25
69	X2	Conector abierto	Conector abierto del bloque B003



UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE  
COTOPAXI

# GUIA DE OPERACIÓN

Sistema de Bombeo de  
Agua Potable – Recinto  
Santa Marianita, Cantón  
Puerto Quito

**DOCENTE TUTOR:**

Ing. Marco Aníbal León Segovia M. Sc.

**ESTUDIANTES:**

Alex Hernan Riofrio Chicaiza

Jhonatan David Troncoso Toca



Ingeniería  
Eléctrica



## CONTENIDO

1. GENERALIDADES .....	1
1.1. RESPONSABILIDADES DE ADMINISTRACIÓN Y OPERATIVAS .....	1
1.1.1. Responsables de la administración de la Junta de Agua Potable .....	1
1.1.2. Responsabilidades del operador .....	1
1.2. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE BOMBEO .....	2
1.2.1. Horario de operación .....	2
1.2.2. Sistema de arranque.....	2
1.2.3. Modos de operación .....	2
2. INSTALACIÓN DE PROGRAMAS .....	3
2.1. GENERALIDADES .....	3
2.1.1. DIRECCIONES IP .....	4
2.2. SOFTWARE .....	4
3. OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN.....	6
3.1. GENERALIDADES .....	6
3.1.1. Accesos rápidos .....	6
3.2. INTERFAZ DE INCIO .....	8
3.3. INTERFAZ DE CONFIGURACIONES .....	8
3.3.1. Periodo de trabajo en el día .....	10
3.3.2. Conmutación de motor .....	12
3.3.3. Límites de llenado .....	13
3.3.4. Bucle de trabajo diario.....	14
3.3.5. Tiempo de desconexión nivel bajo .....	16
3.4. INTERFAZ RUN/STOP .....	16
3.4.1. Accionamientos .....	18
3.5. INTERFAZ DE PROCESO .....	19
4. MANTENIMIENTO .....	20



4.1. GENERALIDADES .....	20
4.1.1. Mantenimiento preventivo.....	21
4.1.2. Mantenimiento correctivo .....	21
5. OPERACIÓN DE EMERGENCIA .....	22
6. SEGURIDAD .....	23
ANEXOS .....	24

## **1. GENERALIDADES**

Este manual presenta las instrucciones, recomendaciones y procedimientos para la puesta en marcha del Sistema Automático de Bombeo de Agua Potable luego de que se haya finiquitado la instalación y configuración de los equipos por personal debidamente calificado. Es importante recalcar que el procedimiento de situaciones no contempladas en la presente guía (como por ejemplo la modificación de la lógica de programación, el diseño y configuración del panel de operador HMI, instalación eléctrica) deben ser asumidas por personal calificado, en especial por profesionales con conocimiento al área de automatización y control industrial que tengan relación con los equipos de sistemas de bombeo.

NOTA: Este manual presenta las instrucciones, recomendaciones y procedimientos únicamente sobre el área eléctrica automatizada, no se responsabiliza por el manejo inadecuado del sistema de tratamiento de agua, cañerías, bombas de presión constante, mantenimiento del filtro, etc.

### **1.1. RESPONSABILIDADES DE ADMINISTRACIÓN Y OPERATIVAS**

La responsabilidad de la operación del sistema de bombeo cae directamente sobre la administración de la Junta de Agua Potable encargada de administrar el sistema, quienes serán los encargados de designar al operador que estará al frente de la operación del sistema. Para el correcto mantenimiento de los equipos se debe realizarlo con personal calificado.

#### **1.1.1. Responsables de la administración de la Junta de Agua Potable**

- La Junta de Agua Potable será responsable de capacitar al operador del sistema designado.
- Designar un usuario y clave al operador para que pueda manipular el sistema de bombeo en la interfaz HMI.
- Proporcionar las condiciones de trabajo adecuadas para el operador.
- Planificar los mantenimientos predictivos, programados y/o correctivos.

#### **1.1.2. Responsabilidades del operador**

##### **a. Responsabilidades**

- Conocer los procedimientos de operación apropiados
- Llevar registros de actividades
- Manejo con responsabilidad de los modos de operación
- Mantenerse informado de las prácticas usuales de operación y mantenimiento

- b. Mantener informado a quien corresponda, de eminentes problemas suscitados en la operación del sistema de bombeo.
- c. Mantenerse actualizado sobre el sistema, ante cualquier actualización o cambio en el sistema de bombeo.

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL CENTRO DE BOMBEO**

El sistema de bombeo de agua potable del Recinto Santa Marianita tiene su captación desde un pozo de una profundidad aproximada de 106 metros, el agua es absorbida por una bomba sumergible de 5HP y mediante cañerías ingresa a un sistema de tratamiento para finalmente ser llevada a un tanque de recepción de  $40m^3$  que se encuentra separados entre el centro de bombeo y el tanque de recepción aproximadamente 239 m (linealmente), el tanque de recepción tiene una elevación de 9m respecto al centro de bombeo.

### **1.2.1. Horario de operación**

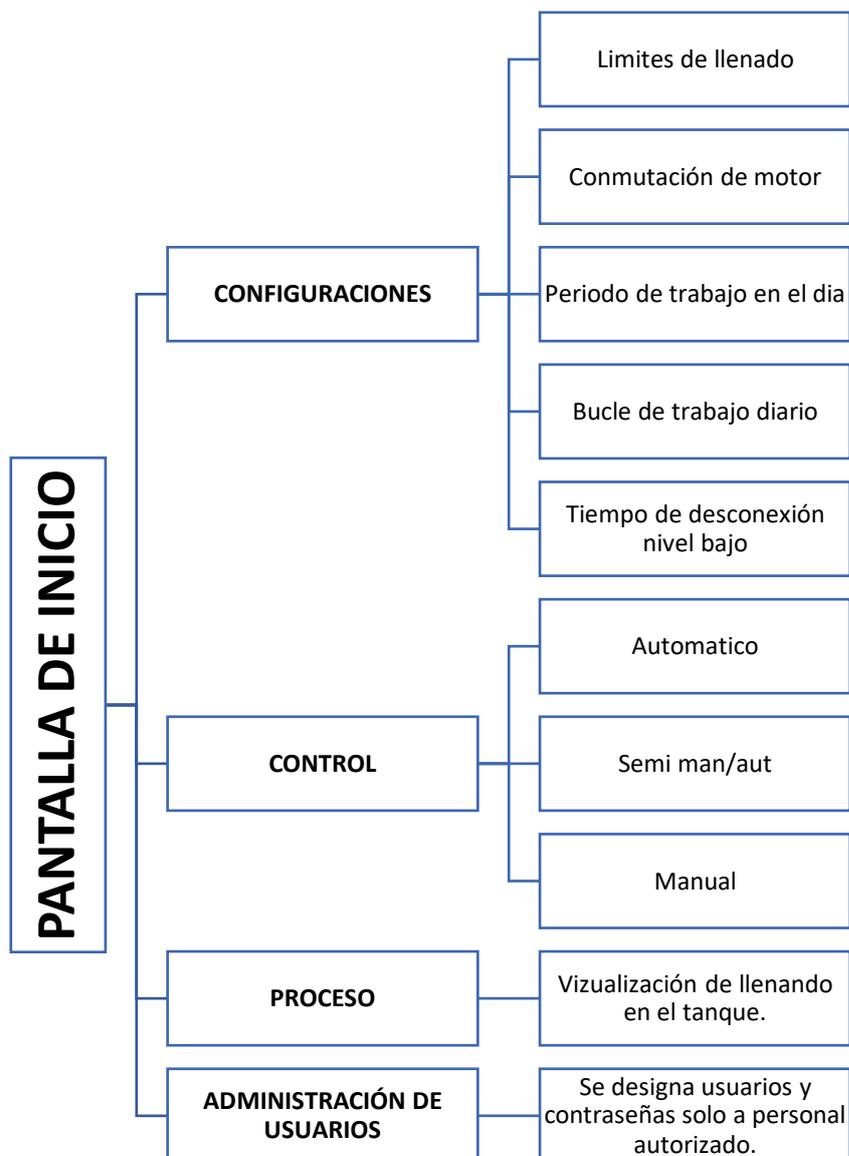
El horario de operación será durante el día, estimando de preferencia un rango de operatividad de 12 horas, en las cuales el sistema va a trabajar por jornadas de acuerdo al modo de operación elegido.

### **1.2.2. Sistema de arranque**

El sistema de arranque será comando por un autómata programable LOGO!, el cual tendrá cargado la lógica de programación. El LOGO! trabaja junto a un variador de frecuencia para iniciar con un arranque suave de 10 segundos y así mismo el variador de frecuencia cumplirá la función de entrega una tercera fase hacia la alimentación del motor, dado la ausencia de esta en la acometida principal ya que corresponde a un sistema monofásico a 2 hilos y el motor de la bomba requiere un sistema trifásico.

### **1.2.3. Modos de operación**

Mediante la interfaz HMI el operador tiene la posibilidad de navegar entre distintas pantallas de control, configuración y visualización del nivel en el tanque de recepción, en la Figura 1 se presenta la distribución de pantallas.



**Figura 1.** Distribución de interfaz HMI.

## 2. INSTALACIÓN DE PROGRAMAS

### 2.1. GENERALIDADES

Las conexiones eléctricas y ensamblado de gabinetes cumplirán con los Anexo 3 y Anexo 4, para ello personal capacitado debe encargarse la correcta instalación de los equipos. Para más detalle revisar los archivos .cad y .dwg que corresponden a los archivos editables de esquema de conexiones y plano eléctrico.

### 2.1.1. DIRECCIONES IP

Al montar a instalación se provee un pequeño sistema de comunicación, para lo cual los equipos involucrados necesitan las direcciones IP que estén en una misma subred. Por cuestión de prevenir alguna interferencia con las subredes tradiciones, se asigna la siguiente subred:

192.168.20.0

De la dirección IP dada, se propone las direcciones IP para los distintos equipos, ver la Tabla 1:

**Tabla 1.** Direcciones IP asignadas.

Direcciones IP	
Equipo	IP
HMI	192.168.20.5
Logo maestro	192.168.20.2
Logo esclavo	192.168.20.3
Antena receptora	192.168.20.15
Antena emisora	192.168.20.19
Router	192.168.20.1
PC	192.168.20.4

Las direcciones IP dadas en la Tabla 1 no son obligatorias, el profesional a cargo puede configurar a mejor conveniencia, sin embargo para caso de estudio fueron las utilizadas.

#### **Carga por tarjeta Ethernet**

Para ello se debe asignara una dirección IP como muestra la Tabla 1 para el PC.

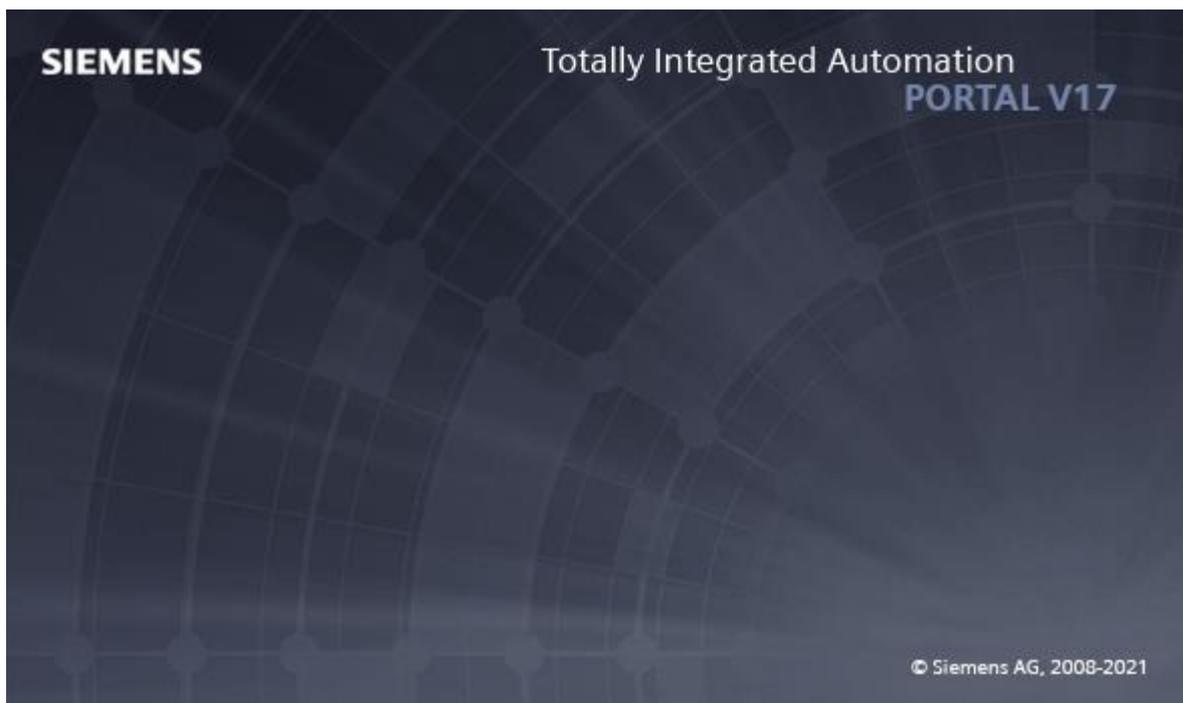
#### **Carga por tarjeta WLAN**

Si la carga de archivos es por medio de WIFI, el router deberá tener una dirección IP como muestra la Tabla 1. Y este equipo será el encargado de asignar la dirección IP adecuada al PC.

## 2.2. SOFTWARE

- TIA PORTAL

La versión utilizada para el desarrollo del diseño y configuración del panel HMI es la versión 17, ver la Figura 2.



**Figura 2.** TIA PORTAL V17.

- Logo!Soft Comfort V8.3

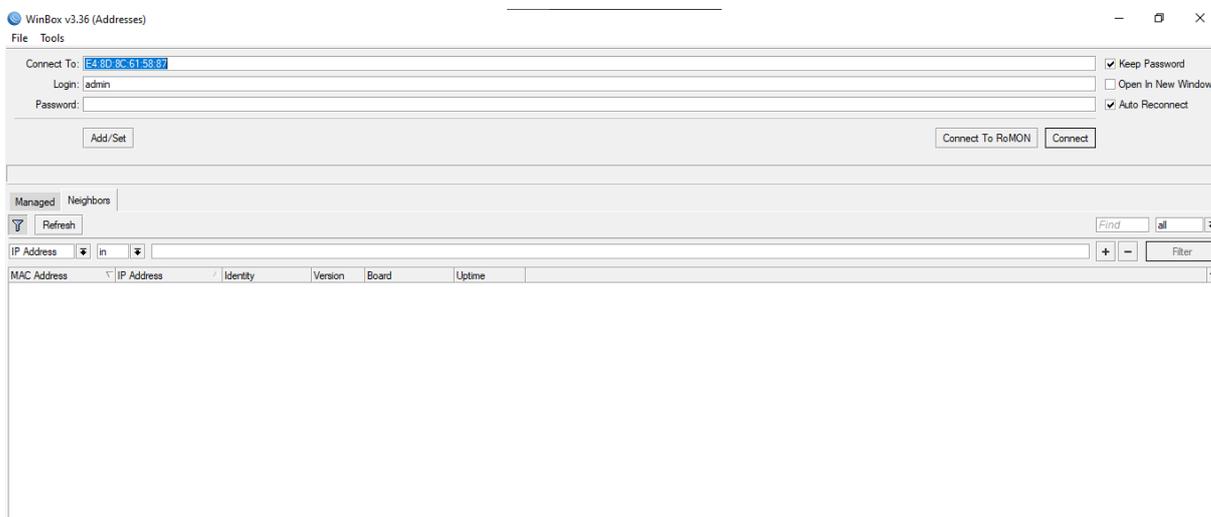
La versión utilizada en el desarrollo de la lógica de programación del autómatas fue la versión 8.3, ver la Figura 3.



**Figura 3.** Logo!Soft Comfort V8.3.

## WINBOX

Fue utilizado para la configuración de las antenas, es la versión portable disponible en internet, ver la Figura 4.



**Figura 4.** Interfaz Winbox.

## 3. OPERACIÓN Y CONFIGURACIÓN

### 3.1. GENERALIDADES

Una vez finalizada la parte de instalación y configuración de equipos por parte de personal capacitado con anterioridad, se procede a las configuraciones pertinentes para inicializar el sistema de bombeo.

#### 3.1.1. Accesos rápidos

Por lo general en las diferentes interfaces de navegación en el costado derecho se encuentran los botones digitales de: Inicio, Configuración, Control, Proceso, ver la **Figura 5**, los cuales permiten un intercambio rápido desde cualquier interfaz que el operador se encuentre.

Adicional se tiene los botones digitales de:

- **Ayuda:** En algunas interfaces se encuentra esta opción, permite al usuario aclarar sus dudas de que debe hacer, como debe configurar y/o como accionar los controles.
- **<** : este símbolo representa a un pulsador de retroceso, cuando el operador presione este botón digital inmediatamente la interfaz HMI actual cambiara a la interfaz HMI anterior a la que se encuentra en ese momento.



**Figura 5.** Botones de acceso rápido.

En cuanto la interfaz de inicio en la esquina inferior derecha se encuentran dos botones digitales:

- **Cerrar sesión:** Al pulsar se cierra inmediatamente la sesión de todos los usuarios activos en el panel de operador HMI.
- **Administración de usuarios:** Únicamente el o los administrador(s) tendrán la facilidad de acceder a esta configuración y añadir o quitar usuarios con acceso a un “usuario y contraseña” para manipular el sistema, ver la Figura 6.



*Figura 6. Administración de usuarios.*

### 3.2. INTERFAZ DE INICIO

En la Figura 7 se presenta la interfaz gráfica de inicio, donde se observa tres apartados de elección:

- **Configuraciones:** Se configura parámetros de rango de llenado, conmutación de motor, tiempos de conexión y desconexión, periodo de trabajo en el día y bucles de trabajo diario.
- **RUN/STOP:** Se elige el modo de operación deseado y luego se configura el apartado de tiempo o rangos de llenado según corresponda.
- **Proceso:** Permitirá visualizar el proceso de llenado del tanque de recepción en tiempo real.

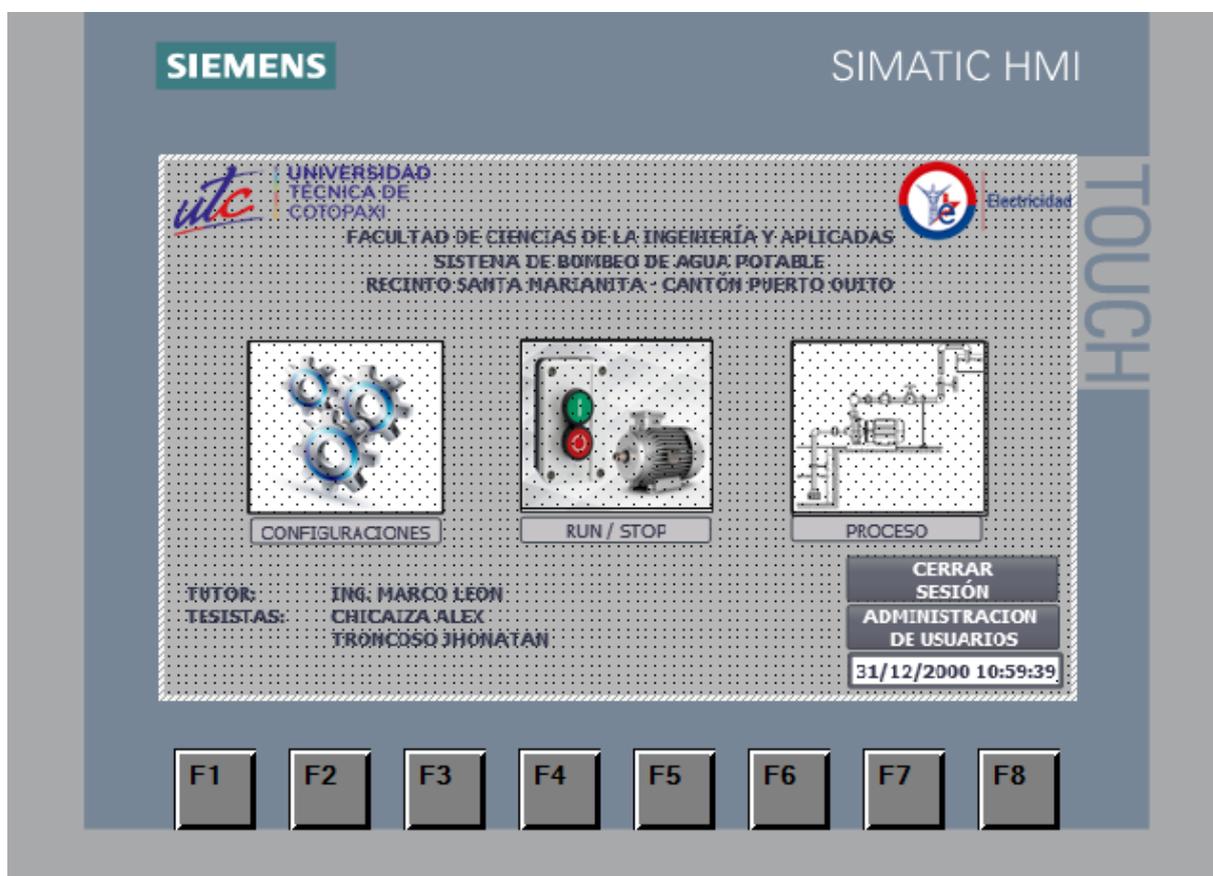
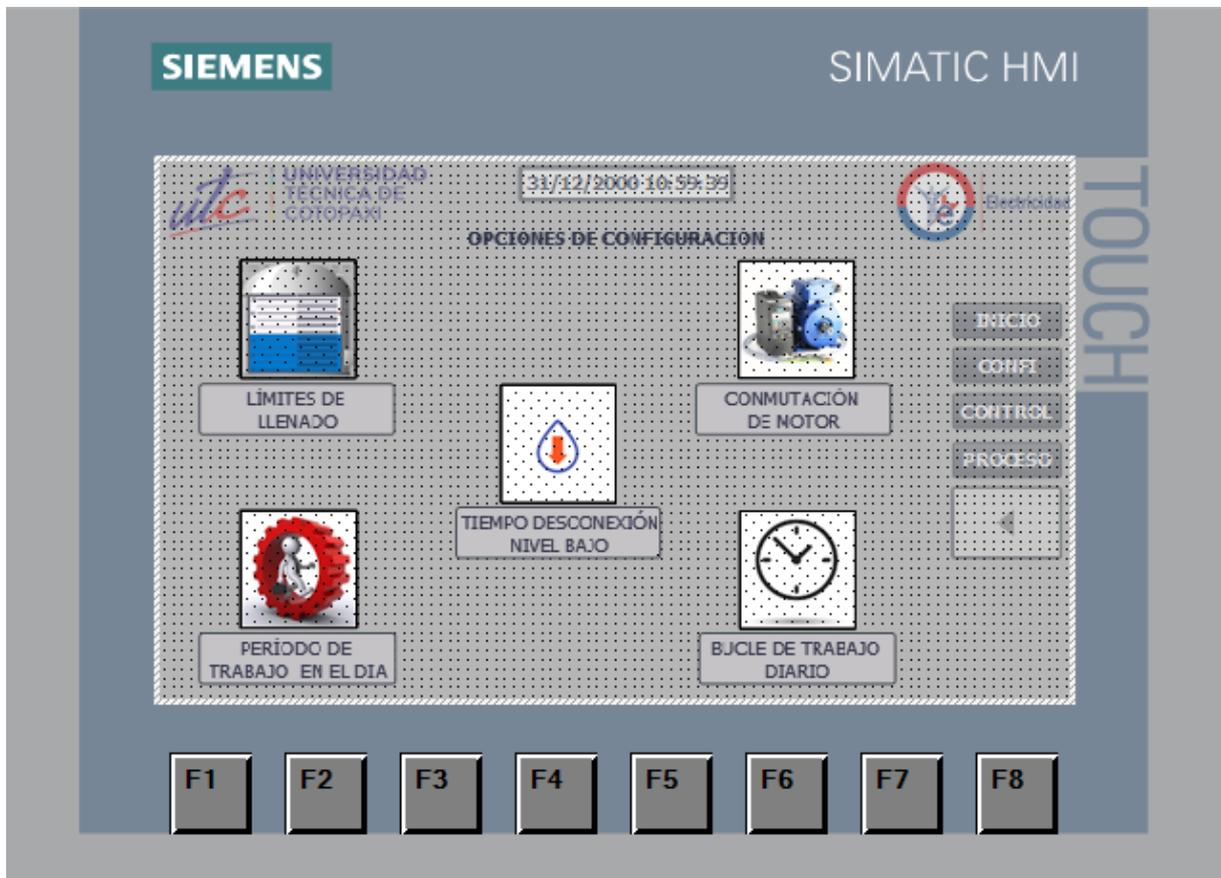


Figura 7. Interfaz de inicio.

### 3.3. INTERFAZ DE CONFIGURACIONES

En la Figura 8 se presenta las opciones de configuración a las cuales el operador tiene acceso.

1. Límites de llenado
2. Conmutación de motor
3. Tiempo de desconexión nivel bajo
4. Periodo de trabajo en el día
5. Bucle de trabajo diario



**Figura 8.** Opciones internas de configuración.

- **Configuración de horas**

La configuración de horas dentro del panel de operador HMI en basadas en un formato Hexadecimal, por lo que se requiere ingresar las horas sobre el estándar de 24 Horas, además las horas y los minutos se ingresara en estilo militar, a modo de ejemplo se presenta la Tabla 2.

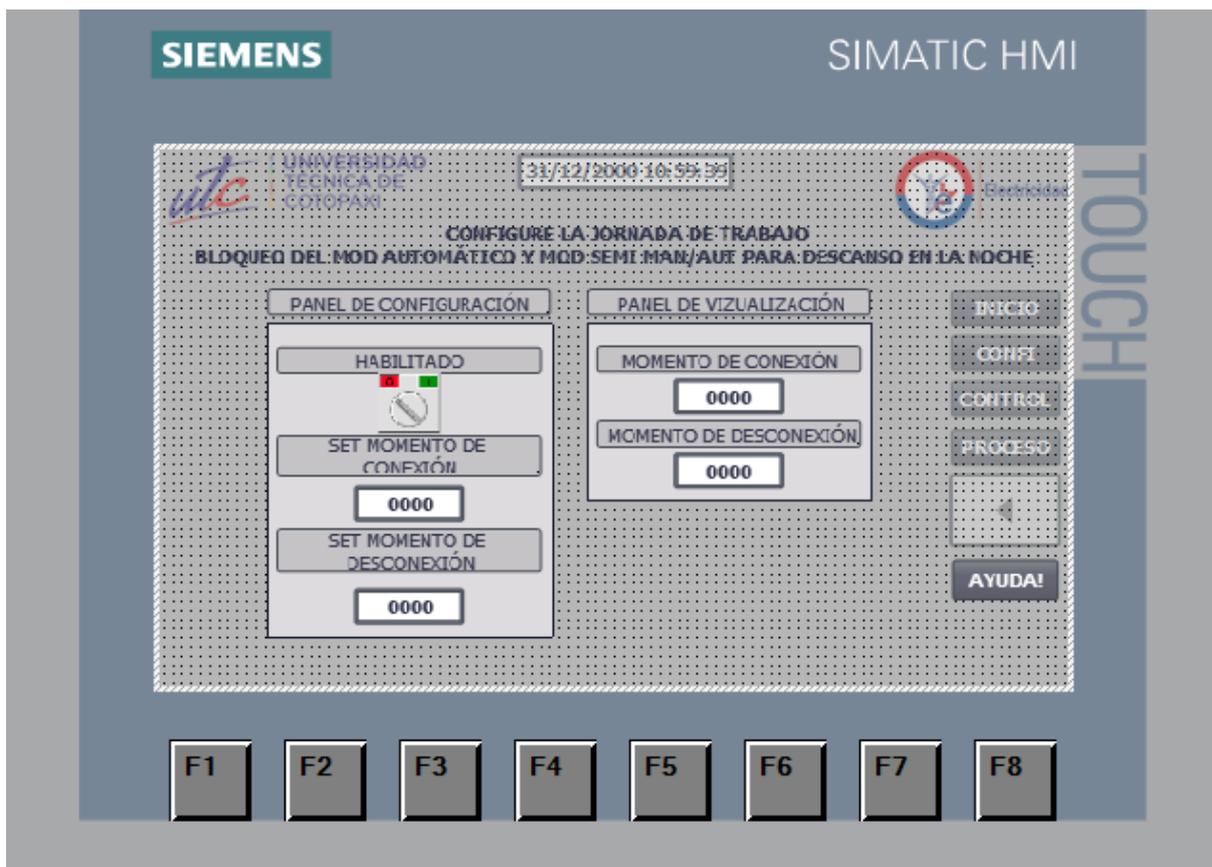
**Tabla 2.** Ingreso de horas en estilo militar.

<b>Hora regular, formato 12 horas</b>	<b>Hora regular, formato 24 horas</b>	<b>Hora en estilo militar (estilo usado para ingresar en HMI)</b>	<b>Hora</b>
00:00	00:00	0000	Media noche
01:00 am	01:00	0100	Una en punto de la madrugada
01:30 am	01:30	0130	Una y media de la madrugada
02:00 pm	14:00	1400	Dos horas y cero minutos de la tarde
03:48 pm	15:38	1538	Tres horas con cuarenta y ocho minutos de la tarde
11:59 pm	23:59	2359	Once horas y cincuenta y nueve minutos de la noche

### **3.3.1. Periodo de trabajo en el día**

Independientemente del modo de operación elegido, en primera instancia se debe configurar la opción de “Periodo de trabajo en el día”, ver la , esta configuración refiere a la jornada de trabajo diario que el sistema se mantendrá operativo y fuera de este horario el sistema se bloqueará.

Por ejemplo, se define que el sistema deberá entrar en funcionamiento en cualquier momento dentro del periodo de tiempo de 06:00H hasta las 18:00H.



**Figura 9.** Configuración de la opción "Periodo de trabajo en el día".

Dentro de la opción de configuración “Periodo de trabajo en el día”, ver la Figura 9 se debe configurar tres parámetros que se encuentran en el panel de configuración:

1. **Habilitado:** Dar un pulso sobre el selector para habilitar la leva de trabajo. El selector cambiara la perrilla del estado cero (color rojo) al estado 1 (color verde).
2. **Set momento de conexión:** Luego de habilitar la leva de trabajo, se debe indicar la hora en la que el sistema debe entrar en disponibilidad. Tomando el ejemplo anterior, se desea que inicie a las 06:00H, entonces en este apartado se debe ingresar “0600”.
3. **Set momento de desconexión:** Para concluir con el periodo de trabajo diario se debe también fijar una hora para que el sistema salga de operatividad, tomando el ejemplo anterior, se desea que el sistema salga de operatividad a las 18:00H, entonces en esta opción se debe ingresar “1800”.

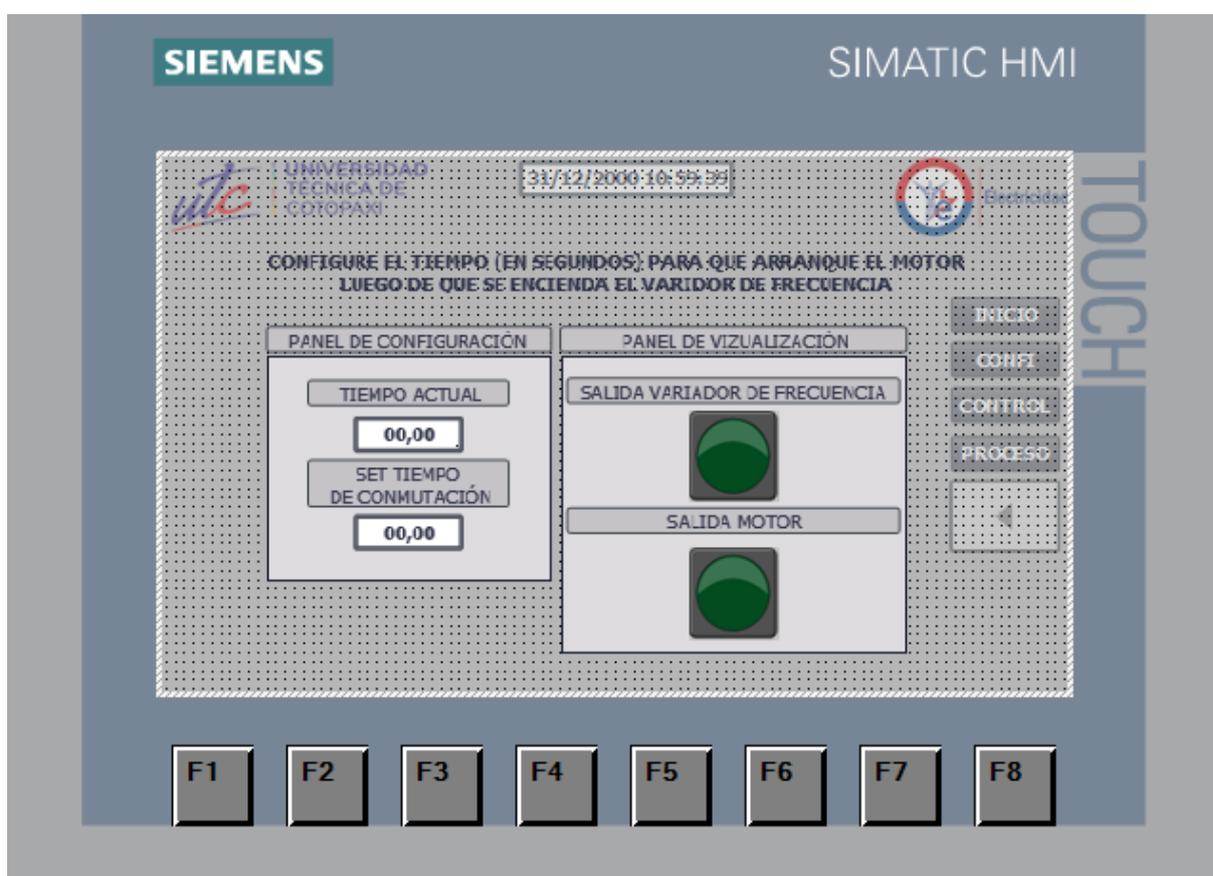
En la Figura 9, además en el lado derecho se presenta un pequeño panel de visualización el cual presenta las horas configuradas que hayan sido ingresadas con anterioridad en el panel de configuración.

### 3.3.2. Conmutación de motor

Otro parámetro muy importante por configurar en un inicio es la opción de tiempo para “conmutación del motor”. Dentro de esta opción, ver la Figura 10, se debe configurar en el panel de configuración el tiempo para que inicie el control “remoto” luego de que se haya iniciado el sistema en general. Es decir, un tiempo para que luego de que el variador de frecuencia haya inicializado, se cierre el circuito de conexión remotas y a partir de ahí a las salidas del variador empiece a emitir señal de voltaje para que la bomba funcione.

El tiempo para esta opción debe ser ingresado e el orden de los segundos con un máximo de 59 segundos.

Se recomienda un tiempo entre los 5 y 10 segundos.



**Figura 10.** Configuración de la opción "Conmutación de motor".

Las opciones de configuración “Periodo de trabajo en el día” y “Conmutación de motor” presentadas en los apartados 3.3.1 y 3.3.2 respectivamente son necesarios configurarlos como prioridad antes de iniciar el sistema, independientemente del modo de operación elegido.

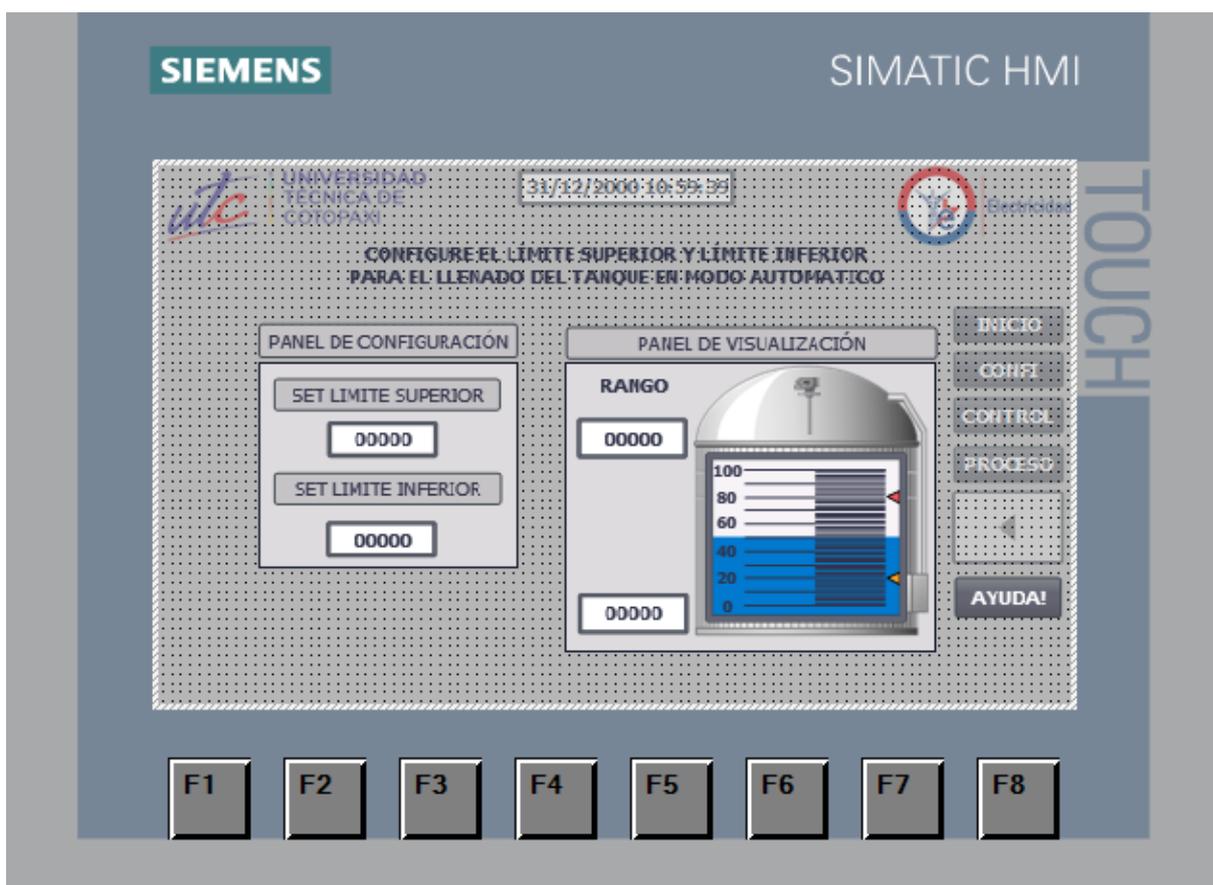
### 3.3.3. Límites de llenado

Definido el modo de operación automático, se debe realizar la configuración pertinente en esta opción de configuración presentada en la Figura 11.

Los valores para ingresar se deben ser en porcentaje, de manera que (ver la Figura 11) en el panel de configuración se presenta:

- Set límite superior: se ingresa al set point máximo para que el sistema se apague.
- Set límite inferior: se ingresa el set point mínimo para que el sistema encienda.

Los set point ingresados representan un rango de trabajo.

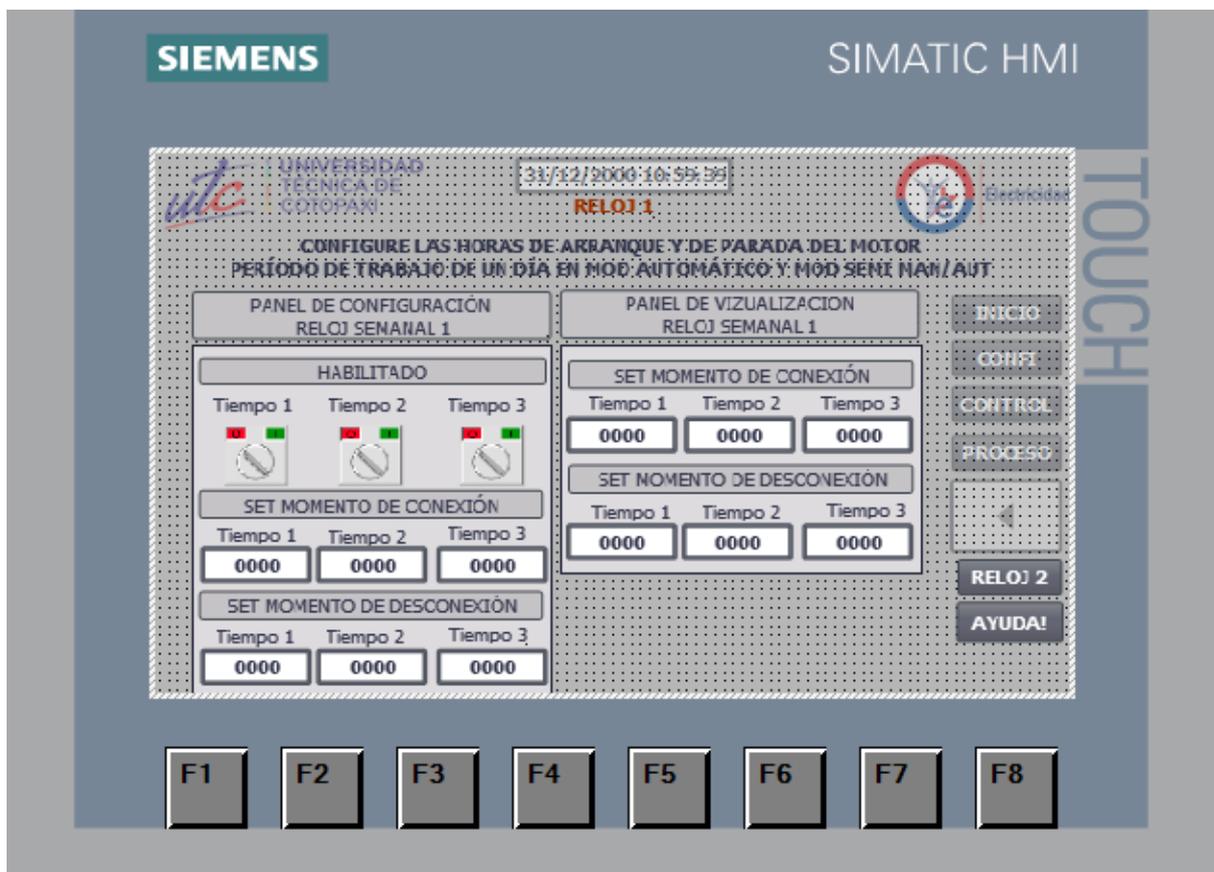


**Figura 11.** Configuración de la opción “Límites de llenado”.

Esta configuración hará que el modo automático trabaje en función de la altura del tanque de recepción y hará cumplir los rangos especificados.

### 3.3.4. Bucle de trabajo diario

Esta opción de configuración se adjunta al modo de operación semi manual/automático, ingresa como modo de respaldo del modo de operación automático. Trabaja en función de tiempos especificados generando bucles de trabajo de hasta tres levadas de tiempo por cada reloj configurado, ver la Figura 12.



**Figura 12.** Configuración de la opción “Bucle de trabajo diario”.

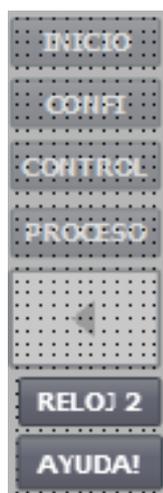
Dentro de la opción de configuración “Bucle de trabajo diario”, ver la Figura 12 se debe configurar tres parámetros por cada leva de trabajo que se encuentran en el panel de configuración:

1. Habilitado: Dar un pulso sobre el selector para habilitar la leva de trabajo. El selector cambiara la perrilla del estado cero (color rojo) al estado 1 (color verde).

2. Set momento de conexión: Luego de habilitar la leva de trabajo, se debe indicar la hora en la que el sistema debe entrar en disponibilidad. Tomando el ejemplo, se desea que inicie a las 06:00H, entonces en este apartado se debe ingresar “0600”.
3. Set momento de desconexión: Para concluir con el periodo de trabajo diario se debe también fijar una hora para que el sistema salga de operatividad, tomando el ejemplo, se desea que el sistema salga de operatividad a las 18:00H, entonces en esta opción se debe ingresar “1800”.

En la Figura 9, además en el lado derecho se presenta un pequeño panel de visualización el cual presenta las horas configuradas que hayan sido ingresadas con anterioridad en el panel de configuración.

NOTA: Las levas de trabajo responden a pequeñas jornadas de trabajo que se tiene a disponibilidad, en caso de que sean necesarias más levas de trabajo en la misma interfaz de configuración en la esquina inferior derecha se presenta un botón digital llamado “AYUDA!”, ver la Figura 13, donde se tendrá un segundo reloj idéntico a configura como el presentado en la Figura 12.



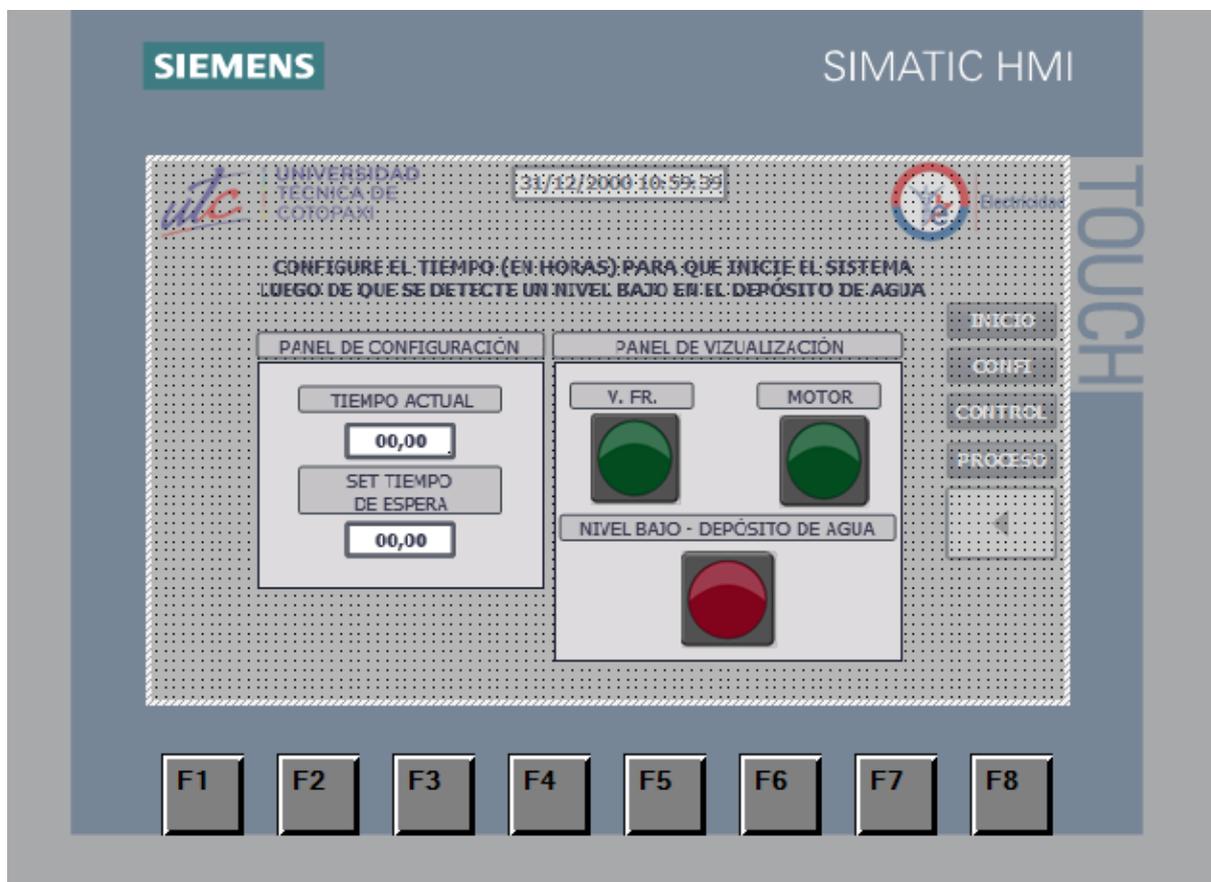
**Figura 13.** Opción de un segundo reloj.

Las levas de trabajo deben ser consecutivas y no repetitivas, por ejemplo:

- Leva 1: Inicio a las 06:00H y parada a las 07:00H.
- Leva 2: Inicio a las 08:00H y parada a las 09:00H.
- Leva 3: Inicio a las 10:00H y parada a las 11:00H.

### 3.3.5. Tiempo de desconexión nivel bajo

En esta opción de configuración se establece un tiempo en horas para que el sistema quede bloqueado sea cual sea el modo de operación elegido. Es una medida de seguridad ante el desabastecimiento de agua dentro del pozo.



**Figura 14.** Configuración de la opción “Tiempo de desconexión nivel bajo”.

En el panel de configuración presentado en la Figura 14 se ingresa el tiempo que el sistema debe esperar cuando el sensor ubicado dentro del pozo de agua haya detectado que el nivel de agua haya bajado, es una medida de protección para que la bomba no trabaje en vacío y se quemé por no tener refrigerante.

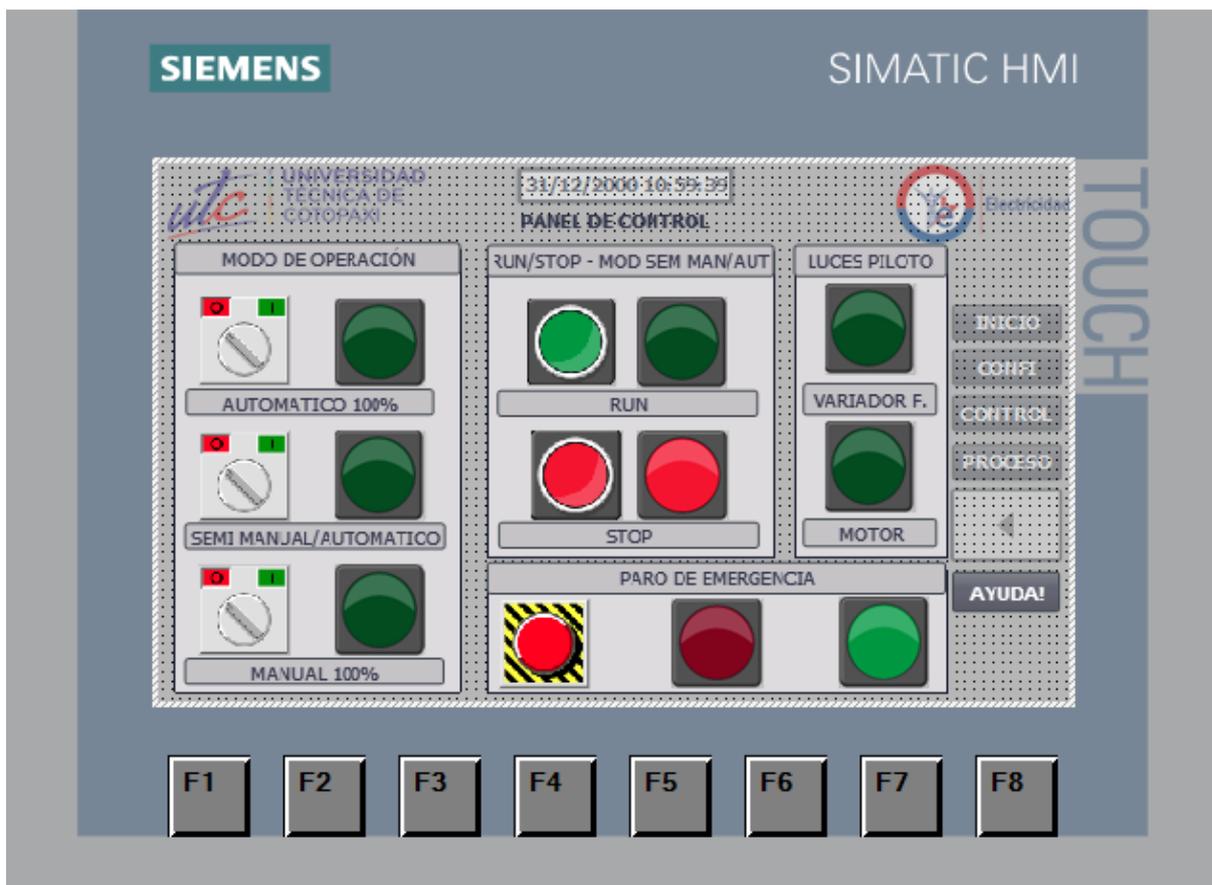
### 3.4. INTERFAZ RUN/STOP

Para iniciar el sistema de bombeo, es importante elegir el modo de operación deseado. Se recomienda elegir el modo de operación automático, este accionará y apagará la bomba de agua según se requiera el llenado de acuerdo con los límites de rango fijados. En la Figura 15, se

presenta el diseño de la interfaz RUN/STOP, donde se presentan los siguientes modos de operación:

- **Automático 100%:** Se basa en un control ON/OFF con histéresis, es decir, se ingresa dos valores de set point en el LOGO! Mediante la interfaz HMI, un valor representa al set point máximo y el otro valor será el set point mínimo.  
La opción de configuración asociada a este modo de operación es “Limites de llenado” y se encuentra en el apartado 3.3.3.
- **Semi manual/automático:** Este modo de operación es un respaldo del modo automático, pues de presentar algún daño en el sensor de presión diferencial este no tomaría las lecturas correctas y el modo automático quedaría fuera de servicio, por lo tanto este modo ingresa para seguir abasteciendo del líquido a la población mientras se tome los correctivos necesarios.  
La opción de configuración asociada a este modo de operación es “Limites de llenado” y se encuentra en el apartado 3.3.4.
- **Manual 100%:** De acuerdo con el manual del sistema de tratamiento y lavado del filtro, se requiere cierta cantidad de agua para estas actividades, por lo que el modo manual habilita el sistema de bombeo para los fines pertinentes de limpieza de filtros, tanque de agua, cañerías y demás accesorios  
Este modo de operación no tiene asociado ninguna opción de configuración asociada, pues al ser un control manual que será utilizado en actividades específicas el operador tendrá absoluta responsabilidad de iniciar y apagar el sistema cuando esté operando este modo de operación.

Cada modo de operación tiene sus configuraciones específicas, en el apartado 3.3 se hablará acerca de las configuraciones pertinentes.



**Figura 15.** Interfaz RUN/STOP.

Adicional la interfaz RUN/STOP debajo del pequeño panel llamado “RUN/STOP – MOD SEM MAN/AUT” se encuentra el panel llamado “PARO DE EMERGENCIA” el mismo al pulsar el botón digital de paro de emergencia deshabilitara todo el sistema mientras este contacto se mantenga abierto, para deshabilitar el paro de emergencia hay que dar un pulso nuevamente.

Para desactivar el paro de emergencia dependiendo la razón por que se haya accionado, se recomienda dar solución a la falla presenta o inconveniente dado. La luz verde se paga cuando este modo este activado y la luz roja se prendera, en modo normal las lucen tendrán un comportamiento contrario.

### 3.4.1. Accionamientos

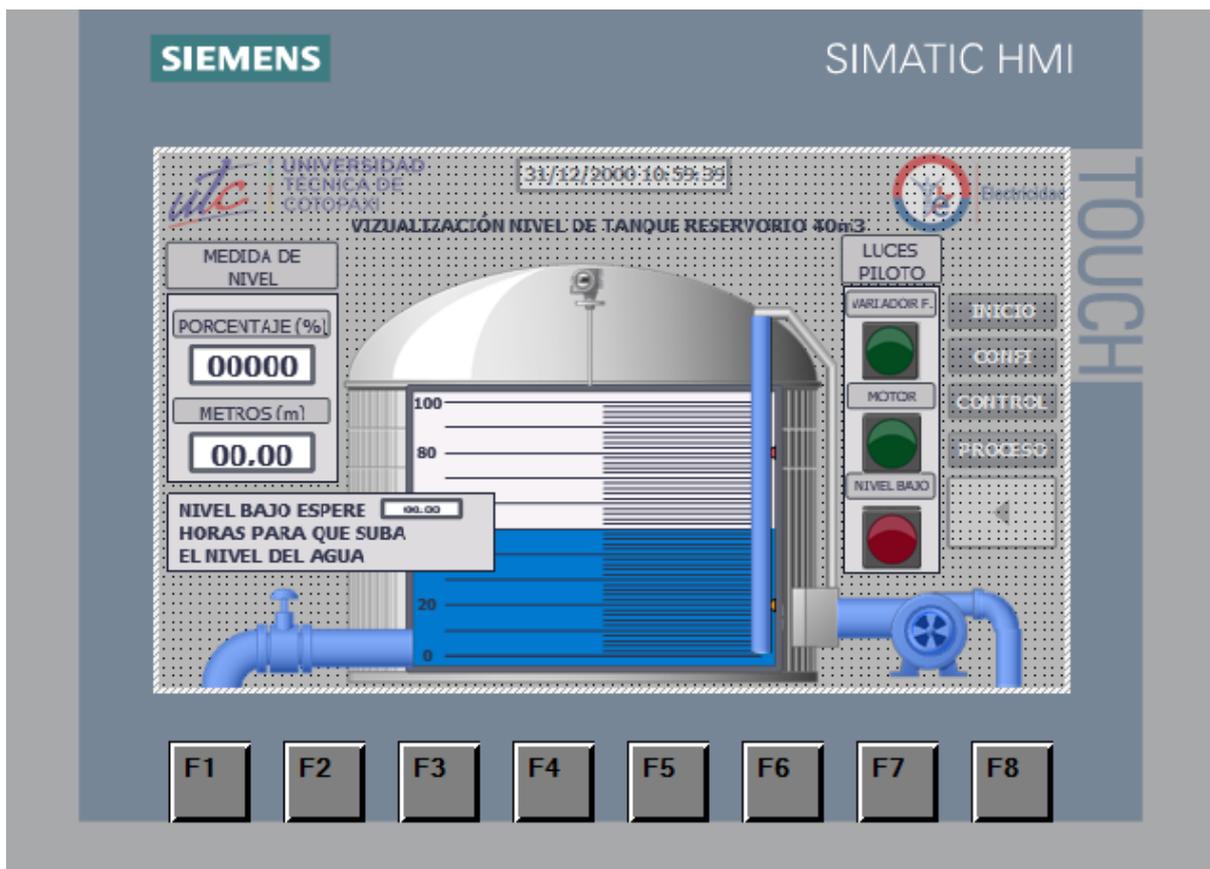
Para dar inicio al modo de operación deseado es importante que todos los modos de operación estén apagados tanto físicos como digitales. Y de la misma manera en caso de querer cambiar entre un modo de operación a otro, primero deben apagarse los modos de operación

que estén funcionando en ese momento, caso contrario no tendrá efecto ya que internamente en la lógica de programación existen bloqueos para que dos modos de operación no funcionen al mismo tiempo.

- **Automático 100%:** Para operar el sistema en este modo, se debe presionar el selector digital correspondiente e inmediatamente el sistema entrará en funcionamiento y la luz verde a su costado derecho se encenderá. Para salir de este modo de operación hay que volver a presionar el mismo selector y la luz verde a su costado derecho se apagará.
- **Semi manual/automático:** Para operar el sistema en este modo, se debe presionar el selector digital correspondiente y la luz verde a su costado derecho se encenderá y luego confirmar este modo de operación con el pulsador digital color verde que se encuentra en el pequeño panel a la derecha “RUN/STOP SEM MAN/AUT” y también la luz verde a su costado derecho se encenderá e inmediatamente el sistema entrara en funcionamiento, para finalizar este modo de operación de debe presionar el pulsador digital color rojo y la luz roja a su costado derecho se encenderá y luego volver a presionar en el selector correspondiente y la luz verde a su costado derecho se encenderá.
- **Manual 100%:** Para accionar este modo de operación basta con presionar sobre el selector correspondiente y la luz verde a su costado derecho de encenderá, para salir de este modo de operación nuevamente presionar sobre el selector y la luz verde a su costado derecho se apagará.

### 3.5. INTERFAZ DE PROCESO

En la interfaz de proceso que se presenta en la Figura 16 no debe configurarse ningún apartado, es más bien una pantalla de monitoreo y visualización. En el panel “nivel de medida” se ira actualizando un rango de valores en porcentaje y en metros de 0%-100% y 0m-2m respectivamente, según se encuentra el nivel del tanque. Además se presenta gráficamente el nivel del tanque para un mejor entendimiento.



**Figura 16.** Interfaz de proceso.

Además, en caso de detectarse un nivel bajo en el pazo de agua en esta interfaz se arrojará un mensaje indicando el tiempo en horas para que el sistema se auto desbloquee hasta que el nivel de agua dentro del pozo suba.

## 4. MANTENIMIENTO

### 4.1. GENERALIDADES

Los mantenimientos adecuados al sistema de bombeo presentaran la conservación y buen estado de todos los equipos que componen al mismo.

Debe haber inspecciones de rutina de por lo menos 1 vez cada semana para constatar el adecuado funcionamiento del sistema y evitar posibles salidas de operaciones imprevistas y mantenimientos del sistema de por lo menos cada 6 meses para los tableros de control y potencia junto con los equipos de instrumentación.

#### **4.1.1. Mantenimiento preventivo**

Se debe involucrar a todo el sistema e bombeo, sin embargo al tratar un manual de operación del sistema eléctrico debe existir mayor interés en:

- Bomba de agua
- Tableros de control
- Acometidas
- Instrumentación
- Sistema de comunicación

El mantenimiento se lo realizara debido a mantener las instalaciones y los equipos en óptimas condiciones para lo cual es indispensable que el operador y encargados del sistema de bombeo tengan en cuenta los manuales de cada equipo dados por los fabricantes y también el manual interno.

El mantenimiento preventivo de rutina debe contener:

- Revisión general de los equipos eléctricos e instrumentación en condiciones operativas, sin la exposición al descubierto, verificación de sobrecalentamientos, caudal menor al esperado de la bomba.
- Verificación auditiva que pueda revelar vibraciones en relés o contactor, verificación de contactos NC y NO por si requieren limpieza o reemplazo.
- Verificación de luces piloto.
- Verificación y reajuste de pernos y tuerca de terminales eléctricos para suprimir posibles puntos calientes.
- Buscar posibles señales de quemado o calor, pues requerirían una investigación profunda que logro determinar el origen de lo suscitado.
- Verificación de magnitudes eléctricas en la cometida principal y también en la bomba de agua. En caso de que la corriente operativa del motor no cumpla con la especifica en la placa del motor, verificar posibles daños como por ejemplo fallas mecánicas.

#### **4.1.2. Mantenimiento correctivo**

Se lo realizará cuando algún componente del sistema requiera ser reemplazado por daños.

- Reparación/Reemplazo de bomba

Para la manipulación del sistema de control y de potencia, siempre desconectar al sistema de la alimentación principal.

- Reemplazo de conductores

Puede darse el caso de un cortocircuito, por lo que los conductores eléctricos deben ser reemplazados.

- Reemplazo de variador de frecuencia

Pueden llegar a dañarse por el continuo uso o incorrecta parametrización de variables internas para el control adecuado.

- Reemplazo de LOGO!

Cortes de energía inesperado y reconexiones inmediatas puede quemar al equipo. Variación de voltaje en bornes.

- Reemplazo de instrumentación

En cuanto sensores y elementos de control.

- Reemplazo de protecciones

Es un escenario drástico en que las mismas protecciones se dañen, pero puede suceder debido a la conexión de cargas inadecuadas o manipulación para conectar nuevos elementos que no fueron previsto para dicha protección.

- Equipos en general

Se hace referencia toda la instrumentación y equipos que contemplan todo el sistema automatizado.

## **5. OPERACIÓN DE EMERGENCIA**

Para la operación de emergencia, se dispone que el Modo de Operación Manual está en disponibilidad completa de entrar a funcionar en cualquier momento requerido, pero hay que tener la debida precaución pues este depende del control absoluto del operador.

También se dispone de paros de emergencia tanto digital dentro del panel de operador en la interfaz RUN/STOP, y también dos físicos ubicados en el centro de bombeo y el tanque de recepción.

MANIOBRABILIDAD

La maniobrabilidad del sistema depende directamente mediante la forma de accionamiento del sistema, es decir que:

- **Acción mediante HMI:** INDEPENDIENTEMENTE DE LAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA, si la forma de operación fue mediante la interfaz RUN/STOP del HMI todos los controles de mando deben accionarse y apagarse por este medio. No se puede encender ni apagar físicamente.
- **Acción Física:** INDEPENDIENTEMENTE DE LAS CONFIGURACIONES DEL SISTEMA MEDIANTE LA HMI, si la forma de operación del sistema fue mediante los selectores y pulsadores físicos, todos los controles de mando deben accionarse y apagarse solo con los controles físicos. No se puede encender ni apagar mediante el panel HMI.

NOTA: Los únicos controles que pueden unificarse para un accionamiento mediante el panel HMI o botones físicos son las paradas de emergencia.

## 6. SEGURIDAD

Los siguientes puntos, son actividades mínimas que el operador debe realizar para la correcta puesta en marcha del sistema:

- Generalmente la puesta en marcha inicial necesitara de todas configuraciones del sistema, para ello necesariamente leer este instructivo.
- Luego de la primera puesta en marcha en caso de requerir apagar y volver a encender el sistema de bombeo, únicamente se necesitará operar los controles de accionamiento. EL SISTEMA SERA CONFIGURADO UNA UNICA VEZ, A MENOS QUE SE REQUIERA MODIFICAR CIERTOS PARAMETROS D EMAERA PUNTAL POR ALGUN MOTIVO SE LO PODRA HACER SIGUIENDO ESTE INSTRUCTIVO.
- El operador o personal a cargo deberá leer todas las indicaciones antes de empezar a operar el sistema, manuales de los equipos como manuales internos.
- No fumar ni usar dispositivos que quiten la atención del sistema al momento de operar el mismo.

# **ANEXOS**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 1

Dirección de entradas, salidas y memorias en Logo!Soft Comfort V8.3 a  
TIA PORTAL

**Direcciones de Entradas y Salidas de Logo!Soft Comfort V8.3 a TIA PORTAL**

I	Dirección	Q	Dirección	M	Dirección
I1	I0.0	Q1	Q0.0	M1	M0.0
I2	I0.1	Q2	Q0.1	M2	M0.1
I3	I0.2	Q3	Q0.2	M3	M0.2
I4	I0.3	Q4	Q0.3	M4	M0.3
I5	I0.4	Q5	Q0.4	M5	M0.4
I6	I0.5	Q6	Q0.5	M6	M0.5
I7	I0.6	Q7	Q0.6	M7	M0.6
I8	I0.7	Q8	Q0.7	M8	M0.7
I9	I1.0	Q9	Q1.0	M9	F1.0
I10	I1.1	Q10	Q1.1	M10	F1.1
I11	I1.2	Q11	Q1.2	M11	M1.2
I12	I1.3	Q12	Q1.3	M12	M1.3
I13	I1.4	Q13	Q1.4	M13	M1.4
I14	I1.5	Q14	Q1.5	M14	M1.5
I15	I1.6	Q15	Q1.6	M15	M1.6
I16	I1.7	Q16	Q1.7	M16	M1.7
I17	I2.0			M17	M2.0
I18	I2.1			M18	M2.1
I19	I2.2			M19	M2.2
I20	I2.3			M20	M2.3
I21	I2.4			M21	M2.4
I22	I2.5			M22	M2.5
I23	I2.6			M23	M2.6
I24	I2.7			M24	M2.7
				M25	M3.0
				M26	M3.1
				M27	M3.2



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



**Anexo 2**

Mapeo de variables de LOGO! Maestro

**MAPEO DE VARIABLES DE loGO!Soft Comfort V8.3 - Logo Maestro**

<b>Sector:</b>	Recinto Santa Marianita / Cantón Puerto Quito
<b>Tablero:</b>	-
<b>Fecha:</b>	Octubre 2022 - Marzo 2023
<b>Módulo:</b>	-
<b>Modelo:</b>	-

**TEMPORIZADORES SEMANALES**

BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN SEÑAL	DIRECCIÓN	
					HMI
INTERNO (LOGO)	<b>BLOQUE B001/SF001 (BLOQUEO GENERAL)</b>				
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	Intervalo de tiempo de trabajo configurado por el usuario	Leva 1	Byte	VB12
	TD_MOMENTO_CONEXION	Conecta a todo el sistema, modo de trabajo		Word	VW13
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	Desconecta a todo el sistema, modo de descanso		Word	VW15
	<b>BLOQUE B016/SF016 (RELOJ 1)</b>				
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 1	Byte	VB21
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW22
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW24
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 2	Byte	VB26
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW27
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW29
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-1	Leva 3	Byte	VB31

	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW32
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW34
<b>BLOQUE B004/SF004 (RELOJ 2)</b>					
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-2	Leva 1	Byte	VB36
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW37
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW39
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-2	Leva 2	Byte	VB41
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW42
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW44
	TD_PERIODO_DE_TRABAJO	TD_BUCLE_DE_TRABAJO_RELOJ-2	Leva 3	Byte	VB46
	TD_MOMENTO_CONEXION	TD_MOMENTO_CONEXION		Word	VW47
	TD_MOMENTO_DESCONEXION	TD_MOMENTO_DESCONEXION		Word	VW49
<b>CONTROL ON/OFF</b>					
BLOQUE	TAG	DESCRIPCIÓN EQUIPO	DESCRIPCIÓN SEÑAL	DIRECCIÓN HMI	
INTERNO (LOGO)	<b>BLOQUE B009/SF009 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA SET POINT MINIMO)</b>				
	VA-SET_LIMITE INFERIOR	Fija el valor minimo para encender la bomba en Mod Automatico	V1	Word	VW4
	VA_LIMITE INFERIOR	Presenta el valor actual configurado	AQ amplificada	Word	VW6
	<b>BLOQUE B010/SF010 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA SET POINT MAXIMO)</b>				
	VA-SET_LIMITE SUPERIOR	Fija el valor maximo para apagar la bomba en Mod Automatico	V1	Word	VW8

	VA_LIMITE SUPERIOR	Presenta el valor actual configurado	AQ amplificada	Word	VW10
<b>RETARDO CONEXIÓN/DESCONEXIÓN</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TAG</b>	<b>DESCRIPCIÓN EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN SEÑAL</b>	<b>DIRECCIÓN HMI</b>	
INTERNO (LOGO)	<b>BLOQUE B013/SF013 (ACCIONAMIENTO MOTOR)</b>				
	SET_CONM_MOTOR	Presenta el valor actual configurado	Valor actual	Word	VW0
	VALOR_ACTUAL_CONM_MOTOR	Fija el tiempo para conectar Q2 luego que Q1 se conecto	Tiempo de conexión	Word	VW2
<b>ESCALAMIENTO</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TAG</b>	<b>DESCRIPCIÓN EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN SEÑAL</b>	<b>DIRECCIÓN HMI</b>	
INTERNO (LOGO)	<b>BLOQUE B002/SF002 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA ESCALAMIENTO DE 0m-2m)</b>				
	INSTRUCCION_ARIMETICA (m)	Presenta el valor del nivel en el taque desde 0m hasta 2m	AQ amplificada	Word	VW19
	<b>BLOQUE B017/SF017 (INSTRUCCIÓN ARIMETICA ESCALAMIENTO DE 0%-100%)</b>				
	INSTRUCCION_ARIMETICA (%)	Presenta el valor del nivel en el taque desde 0% hasta 100%	AQ amplificada	Word	VW17
<b>BLOQUEO NIVEL BAJO</b>					
<b>BLOQUE</b>	<b>TAG</b>	<b>DESCRIPCIÓN EQUIPO</b>	<b>DESCRIPCIÓN SEÑAL</b>	<b>DIRECCIÓN HMI</b>	
INTERNO (LOGO)	<b>BLOQUE B022/SF022 (RETARDO A LA DESCONEJÓN)</b>				
	VA_TIEMPO_DE_ESPERA_DEPOSITO_DE_AGUA	Presenta el valor actual configurado	Valor actual	Word	VW51
	SET_TIEMPO_DE_ESPERA_DEPOSITO_DE_AGUA	Fija el tiempo de espera para reabastecimiento del pozo de agua	Retardo a la desconexión	Word	VW53
	TR_TIEMPO_DE_ESPERA_DEPOSITO_DE_AGUA	Presenta restante para que el sistema se desbloquee	Tiempo restante	Word	VW55

- Extracción del informe de LOGO!

**Mapeando parámetro VM**

ID	Bloque	Parámetro	Tipo	Dirección
1	B013 [Retardo conexión/desconexión]	Valor actual	Word	0
2	B013 [Retardo conexión/desconexión]	Tiempo de conexión (TH)	Word	2
3	B009 [Instrucción aritmética]	V1	Word	4
4	B009 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	6
5	B010 [Instrucción aritmética]	V1	Word	8
6	B010 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	10
7	B001 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	12
8	B001 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	13
9	B001 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	15
10	B017 VALOR ACTUAL [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	17
11	B002 [Instrucción aritmética]	AQ amplificada	Word	19
12	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	21
13	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	22
14	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	24
15	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana2	Byte	26
16	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión2	Word	27
17	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión2	Word	29

Auto:	Usuario	Proyecto:	Control AMI BOMBA CON DOS TEMPORIZADORES.3C	Cliente:	
Compu:		Instalación:		N° diagrama:	
Fecha de creación/modificación:	25/02/21 15:27:00/23 17:48	Archivo:		Página:	7/11

### Mapeando parámetro VM

ID	Bloque	Parámetro	Tipo	Dirección
18	B016 [Temporizador semanal]	Día de la semana3	Byte	31
19	B016 [Temporizador semanal]	Momento de conexión3	Word	32
20	B016 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión3	Word	34
21	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana1	Byte	36
22	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión1	Word	37
23	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión1	Word	39
24	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana2	Byte	41
25	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión2	Word	42
26	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión2	Word	44
27	B004 [Temporizador semanal]	Día de la semana3	Byte	46
28	B004 [Temporizador semanal]	Momento de conexión3	Word	47
29	B004 [Temporizador semanal]	Momento de desconexión3	Word	49
30	B022 [Retardo a la desconexión]	Valor actual	Word	51
31	B022 [Retardo a la desconexión]	Retardo a la desconexión	Word	53
32	B022 [Retardo a la desconexión]	Tiempo restante	Word	55

Autor:  
Comprobado:  
Fecha de creación/modificación:

Usuario:  
25/12/22 11:52:17/02/23 17:48

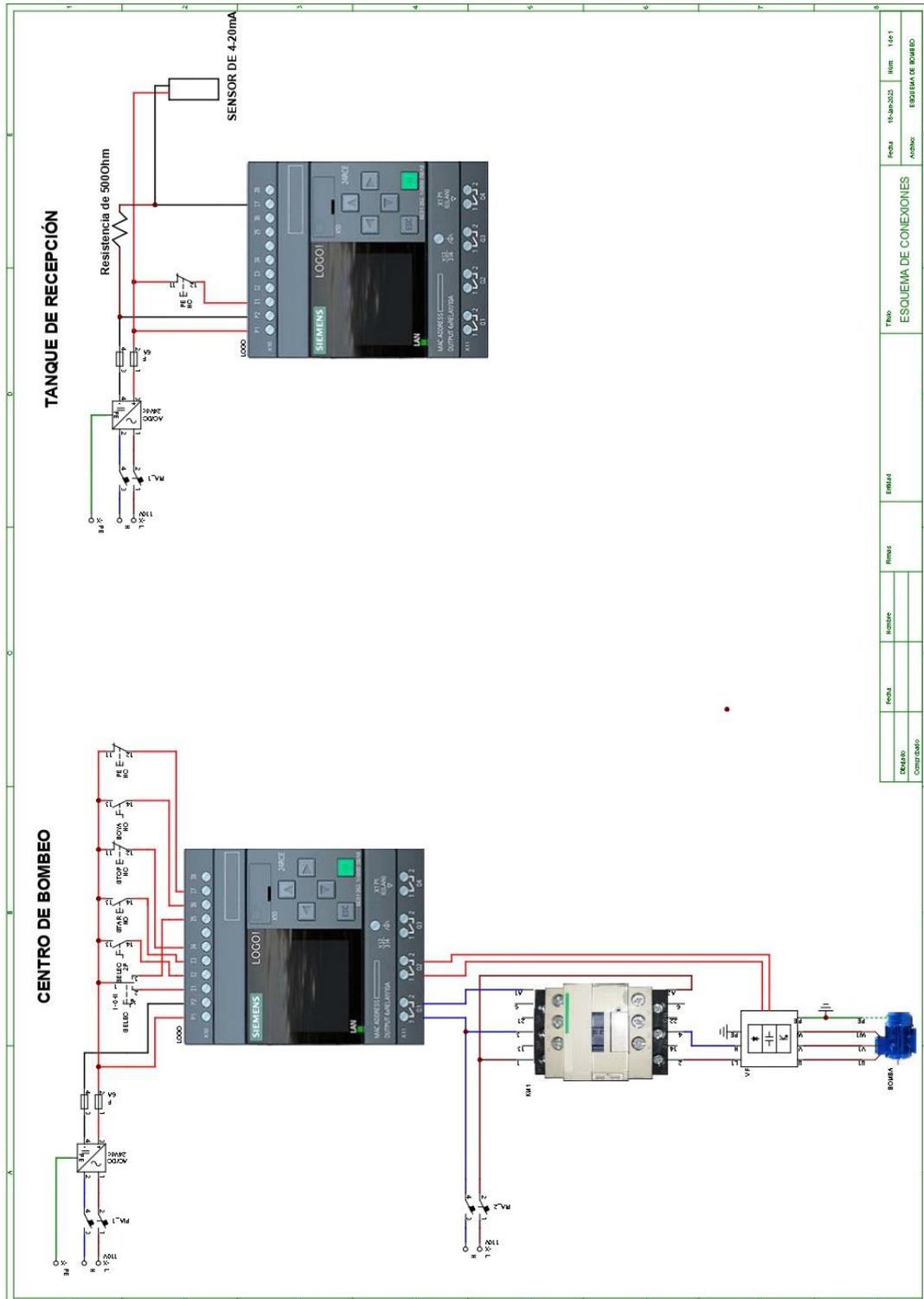
Proyecto:  
Instalación:  
archivo:

Cliente:  
N° diagrama:  
Control: HMI BOMBA\_CON DOS TEMPORIZADORES.LIC

Página:  
3 / 11

**Anexo 3**

Esquema eléctrico de conexiones de los LOGO!

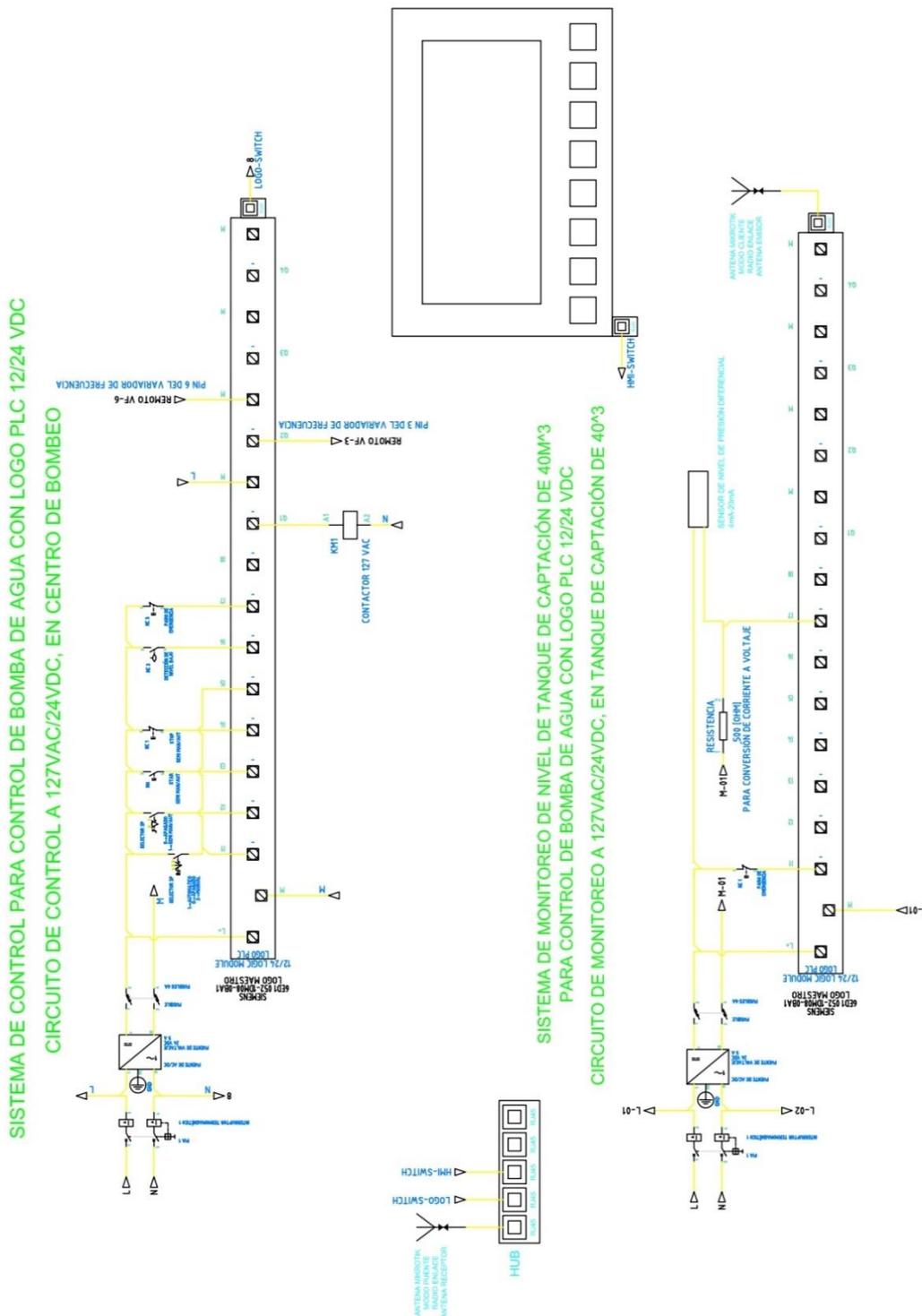


Elaborado	Fecha	Revisado	Revisado	Título	Hoja	Total
Comprobado				ESQUEMA DE CONEXIONES	1 de 1	
				ESTADÍSTICA DE BOMBEO		

**Anexo 4**

Circuitos eléctricos de Control, Comunicación y Potencia

- Circuito de control y comunicación



- Circuito de potencia

## ARRANQUE DE BOMBA DE AGUA CON VARIADOR DE FRECUENCIA SIEMENS SYSTEMATIC G110 CIRCUITO DE POTENCIA A 220 VAC, EN CENTRO DE BOMBEO

