



“Responsabilidad con pensamiento positivo”

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

**TRABAJO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA DIGITAL Y
TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

**SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CONOCOTO**

AUTOR:

JONATHAN MARCELO VELASCO SALAZAR

TUTOR:

ING. RENÉ ERNESTO CORTIJO LEYVA, M

QUITO, ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo de titulación certifico:

Que el trabajo de titulación “**SISTEMA SCADA PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CONOCOTO**”, presentado por **JONATHAN MARCELO VELASCO SALAZAR**, estudiante de la carrera de Electrónica Digital y Telecomunicaciones, reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Tribunal de Grado, que se designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Quito D.M. 05 de marzo del 2020

TUTOR

.....

Ing. René Ernesto Cortijo Leyva, M

AGRADECIMIENTO

Dejo constancia de mis más sinceros agradecimientos a:

A la Universidad Tecnológica Israel por su formación entregada, a su planta de docentes por sus conocimientos y experiencias impartidas cada día en las aulas, al personal administrativo por los servicios prestados y a sus instalaciones por permitirme haber vivido momentos de aprendizaje y compañerismo.

Al ingeniero René Cortijo por su disposición para guiarme en la elaboración de este documento.

Al ingeniero Jhonny Curimilma y su empresa **HIESELAT.SA** por guiarme y dedicar su tiempo para compartirme sus conocimientos de manera desinteresada.

Al ingeniero Henry Loachamín por apoyarme y sugerirme el camino más idóneo en el diseño e implementación del proyecto.

A los ingenieros Fernando Mayorga, Ernesto Benalcázar, Jaime Ramírez y Juan Carlos Romero de la EPMAPS por brindarme su apertura en la ejecución de este proyecto.

A mis amigos Bladimir, Miguel, Humberto y Alexis gracias por su motivación y colaboración en cada etapa de mi proyecto.

Al personal del Departamento de Producción de la EPMAPS, en especial a la Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Producción, la Unidad Sistema Puengasí y al Departamento de Captaciones, quienes colaboraron en la realización de este proyecto.

JONATHAN MARCELO VELASCO

DEDICATORIA

A Dios por adoptarme como su hijo y demostrar su infinito amor, gracias por iluminar mi mente y dirigir mis pasos en pro de lograr mis objetivos.

A mis padres Marcelo y Teresa quienes han hecho todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por ser un ejemplo de trabajo, perseverancia, paciencia, humildad, responsabilidad y por mostrarme siempre su infinito amor incondicional, que pese a mis errores siempre han estado y estarán conmigo apoyándome.

A mis angelitos y en especial a mi hija **Johanna Valentina**, por ser mi motor, mi motivación, mi orgullo y quien me mostro el significado del amor, confié que algún día puedas leer esta dedicatoria, cuando miro cada día tu fotografía me lleno de valentía, amor puro y me esmero porque recuerdo que tú sigues mis pasos, termino diciéndote hijita lo mucho que te amo y que eres mi mayor orgullo.

A mis hermanos Andrés Fernando y Paúl Alejandro por su apoyo incondicional, su motivación que siempre me ha alentado a perseverar y seguir adelante, demostrándoles con actos que se puede ser mejor día a día.

A mis compañeros por su colaboración, predisposición y por los momentos compartidos durante el transcurso de nuestra carrera, me llevo lindos recuerdos y experiencias vividas.

JONATHAN MARCELO VELASCO

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA	IV
TABLA DE CONTENIDO	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA	5
1.1.1 Ingreso de agua cruda y coagulación.....	5
1.1.2 Floculación	6
1.1.3 Sedimentación	7
1.1.4 Filtración.....	7
1.1.5 Desinfección	8
1.1.6 Almacenamiento y distribución del agua potable.....	9
1.1.7 Flujograma del proceso de potabilización	10
1.2 SISTEMA SCADA.....	12
1.2.1 HMI	13
1.2.2 PLC.....	14
1.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....	17
1.3.1 Introducción al protocolo Modbus	17
1.3.2 Modbus serial	19
1.3.3 Modo de transmisión de Modbus	19
1.3.4 Trama del mensaje Modbus.....	21

1.3.5	Interfaz RS-485.....	22
1.3.6	Modbus TCP/IP	23
1.3.7	Encapsulamiento del protocolo Modbus TCP	24
1.3.8	Comparación entre el modelo OSI y TCP/IP	25
1.3.9	Interfaz Ethernet	26
1.3.10	Direccionamiento del protocolo Modbus	28
1.4	EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA	29
1.4.1	Switch	29
1.4.2	Sensores y transductores.....	30
1.4.3	Medición de caudal.....	31
1.4.4	Medición de nivel	32
1.4.5	Instrumentación en línea.....	33
1.4.6	Características de los instrumentos.....	34
CAPÍTULO II		36
MARCO METODOLÓGICO		36
2.1	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	36
2.2	MARCO METODOLÓGICO.....	37
2.3	PROPUESTA	37
2.4	IMPLEMENTACIÓN	38
CAPÍTULO III.....		39
PROPUESTA.....		39
3.1	DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	39
3.1.1	Cámara de ingreso de agua cruda	40
3.1.2	Cámara de retrolavado.....	43
3.1.3	Cámara de salida y envío de líneas de distribución.....	46
3.2	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA EN HARDWARE.....	59
3.2.1	PLC TM221CE16R	59
3.2.2	Módulo TM3AM6/G	60
3.2.3	Módulo TM2AMI4LT	61
3.2.4	Interfaz HMI Wonderware InTouch 2014 R2	62

3.3	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA EN SOFTWARE.....	64
3.3.1	Software SoMachine Basic 1.6 para PLC M221	64
3.3.2	Software InTouch 2014 R2.....	65
3.4	ARQUITECTURA DE LA RED	67
3.5	DESCRIPCIÓN Y DIRECCIONAMIENTO DE LAS VARIABLES.....	69
3.6	DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL.....	71
3.6.1	Lógica de control en la cámara de ingreso	71
3.6.2	Lógica de control en cámara de retrolavado.....	73
3.6.3	Lógica de control en cámara de salida y envío a las líneas de distribución. 75	
3.7	DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL.....	75
3.8	DISEÑO DE CIRCUITO DE FUERZA	76
3.9	DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA PTAP CONOCOTO.....	78
3.9.1	Modo operador	79
3.9.2	Modo administrator	79
3.10	ANÁLISIS DE COSTOS.....	81
	CAPÍTULO IV.....	82
	IMPLEMENTACIÓN.....	82
4.1	DESARROLLO	82
4.1.1	Estructura del cableado	82
4.1.2	Montaje e instalación de equipos nuevos.....	84
4.1.3	Programación del PLC M221CE16R en SoMachine Basic.....	86
4.1.4	Diseño y programación de las pantallas del HMI en InTouch.....	89
4.2	IMPLEMENTACIÓN	96
4.2.1	Rediseño del control en tablero principal	97
4.2.2	Configuración de la red TCP/IP	100
4.2.3	Configuración de la red Modbus serial.....	102
4.2.4	Configuración del DAServer Manager.....	103
4.2.5	Configuración del Access Name	104

4.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	105
4.3.1	Pruebas de funcionamiento en el tablero principal.....	105
4.3.2	Pruebas de conectividad	107
4.3.3	Pruebas de funcionamiento de la interfaz HMI.....	108
4.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	109
	CONCLUSIONES	111
	RECOMENDACIONES	113
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
	ANEXOS.....	119
	ANEXO A: PLANOS ELÉCTRICOS.....	120
	ANEXO B: EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	123
	ANEXO C: EQUIPOS DE MEDICIÓN DE NIVEL	128
	ANEXO D: PLC Y MÓDULOS DE ENTRADAS	133
	ANEXO E: INSTRUMENTACIÓN.....	138
	ANEXO F: EQUIPAMIENTO	145
	ANEXO G: HMI INTOUCH 2014 R2	148
	ANEXO H: MANUAL TÉCNICO	153
	ANEXO I: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	163

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura. 1.1. Ingreso de agua cruda y mezcla rápida	6
Figura. 1.2. Floculador hidráulico	6
Figura. 1.3. Sedimentador.....	7
Figura. 1.4. Filtros rápidos.....	8
Figura. 1.5. Dosificación de contenedores de cloro gas de 907 kg	9
Figura. 1.6. Tanque de almacenamiento y líneas de distribución.....	10
Figura. 1.7. Flujoograma del proceso de potabilización.....	11
Figura. 1.8. Arquitectura de un sistema SCADA	13
Figura. 1.9. HMI de un sistema SCADA.....	13
Figura. 1.10. PLC M221	14
Figura. 1.11. Estructura básica de un PLC	15
Figura. 1.12. Señal discreta On - Off.....	16
Figura. 1.13. Señal analógica 0-20 mA	17
Figura. 1.14. Protocolo Modbus	18
Figura. 1.15. Ciclo de petición respuesta.....	18
Figura. 1.16. Orden de bits en una trama ASCII	20
Figura. 1.17. Orden de bits en una trama RTU.....	21
Figura. 1.18. Trama Modbus	22
Figura. 1.19. Conexión física de la interfaz RS-485	23
Figura. 1.20. Esquema del modelo TCP/IP	24
Figura. 1.21. Encapsulamiento de la trama Modbus TCP/IP	25
Figura. 1.22. Comparación entre los Modelos OSI y TCP/IP	26
Figura. 1.23. Cable par trenzado sin apantallar	27
Figura. 1.24. Conectores RJ45.....	28
Figura. 1.25. Código de colores RJ45 (a) Norma T568A (b) Norma T568B.....	28
Figura. 1.26. Switch Phoenix Contact	29
Figura. 1.27. Principio de medición electromagnética del caudal.....	32
Figura. 1.28. Principio de funcionamiento del sensor ultrasónico	33

CAPÍTULO III

Figura. 3.1. PLC TSX Momentum	40
Figura. 3.2. Medidor de caudal Endress + Hauser.....	41
Figura. 3.3. Magelis.....	42
Figura. 3.4. Transmisor GLI MODEL53.....	42
Figura. 3.5. Transmisor Vantage 2200 dañado en tanque de retrolavado	44
Figura. 3.6. Medidor de nivel mediante manguera.....	44
Figura. 3.7. Bomba centrífuga	45
Figura. 3.8. Transmisores de las líneas de envío de agua potable.....	47
Figura. 3.9. Sensor del caudalímetro de la línea San Juan Promag W	48
Figura. 3.10. Transmisor Promag 50	48
Figura. 3.11. Sistema de detección de nivel (A) Transmisor (B) Sensor	50
Figura. 3.12. Transmisor Vantage 2200	50
Figura. 3.13. Sensor ultrasónico de la cámara Santa Mónica.....	51
Figura. 3.14. (A) Transmisor SC200 y (B) Turbidímetro 1720E.....	53
Figura. 3.15. Controlador Hach SC200	54
Figura. 3.16. Principio de funcionamiento del sensor 1720E.....	55
Figura. 3.17. Principio de funcionamiento de un analizador de cloro residual	56
Figura. 3.18. Modicon TM221CE16R.....	59
Figura. 3.19. Módulo TM3AM6G.....	61
Figura. 3.20. Módulo TM2AMI4LT	62
Figura. 3.21. Wonderware InTouch 2014 R2.....	62
Figura. 3.22. License Development Studio 2014R2 1000 Tags	63
Figura. 3.23. SoMachine Basic 1.6 SP2	65
Figura. 3.24. Icono WindowMaker	65
Figura. 3.25. Icono WindowViewer	66
Figura. 3.26. Iconos de librerías Orchestra Graphic Toolbox	66
Figura. 3.27. Arquitectura de la red de implementación	68
Figura. 3.28. Diagrama de flujo control del actuador Rotork.....	72
Figura. 3.29. Diagrama de flujo proceso de bombeo al tanque de retrolavado	74
Figura. 3.30. Esquema general de un sistema de control de lazo cerrado	75

Figura. 3.31. Diagrama de control.....	76
Figura. 3.32. Diagrama de fuerza	77
Figura. 3.33. Tablero principal	78
Figura. 3.34. Diagrama de flujo creación de pantallas	80
CAPÍTULO IV	
Figura. 4.1. Inspección de ductos soterrados.....	83
Figura. 4.2. Medición de la distancia del cableado	83
Figura. 4.3. Instalación de tuberías conduit.....	84
Figura. 4.4. Instalación de duplicadores Weidmuller (a) Duplicador (b) Fuente.....	85
Figura. 4.5. Conexión de duplicadores Weidmuller.....	85
Figura. 4.6. Desarrollo de la programación	86
Figura. 4.7. Diseño de la función de escalamiento.....	86
Figura. 4.8. Desarrollo de la programación cámara San Juan	87
Figura. 4.9. Desarrollo de la programación red Modbus RTU.....	87
Figura. 4.10. Desarrollo de la programación bombeo	88
Figura. 4.11. Diseño de la pantalla de acceso.....	89
Figura. 4.12. Diseño de la pantalla vista general.....	90
Figura. 4.13. Diseño de la pantalla cámara de ingreso	91
Figura. 4.14. Diseño de la pantalla retrolavado	92
Figura. 4.15. Diseño de mensajes de alertas.....	93
Figura. 4.16. Programación de Scripts en pantalla retrolavado.....	93
Figura. 4.17. Diseño de la pantalla cámara salida	94
Figura. 4.18. Diseño de la pantalla totalizadores.....	95
Figura. 4.19. Diseño de la pantalla auxiliar de carga de valores	96
Figura. 4.20. Instalación de borneras para riel DIN	97
Figura. 4.21. Instalación de PLC y sus módulos	98
Figura. 4.21. Cableado de entradas de común positivo	99
Figura. 4.22. Cableado de salidas de común positivo	99
Figura. 4.23. Configuración de entradas del módulo TM24AMI4LT.....	100
Figura. 4.24. Direccionamiento PLCM221	101
Figura. 4.25. Direccionamiento HMI	102

Figura. 4.26. Configuración de PLC como maestro	102
Figura. 4.27. Configuración del bus serial.....	103
Figura. 4.28. Configuración del System Management Console	104
Figura. 4.29. Configuración del Acces Name PLC M221.....	104
Figura. 4.30. Encendido de bomba desde el tablero principal.....	105
Figura. 4.31. Pruebas en tablero principal	106
Figura. 4.32. Vista final del tablero de control	107
Figura. 4.33. Pruebas de conectividad.....	108
Figura. 4.34. Pruebas de la interfaz HMI	109

LISTA DE TABLAS

Tabla. 1.1. Estructura de los mensajes de Modbus serial	19
Tabla. 1.2. Descripción de interfaz RS-485.....	22
Tabla. 1.3. Bloque de memoria para Modbus.....	29
Tabla. 3.1. Especificaciones técnicas bomba centrífuga	46
Tabla. 3.2. Especificaciones técnicas Promag 50	49
Tabla. 3.3. Especificaciones técnicas Eastech Vantage 2200.....	51
Tabla. 3.4. Especificaciones técnicas sensor FB2	52
Tabla. 3.5. Especificaciones técnicas Controlador SC200	54
Tabla. 3.6. Especificaciones técnicas Turbidimeter 1720E	55
Tabla. 3.7. Especificaciones técnicas Microchem 2.....	57
Tabla. 3.8. Equipos de cada fase del sistema SCADA y su estado	58
Tabla. 3.9. Especificaciones técnicas PLC M221CE16R.....	60
Tabla. 3.10. Especificaciones técnicas TM2AMI4LT	61
Tabla. 3.11. Descripción y direccionamiento de las variables	70
Tabla. 3.12. Costos de adquisición del equipamiento y los materiales	81
Tabla. 4.1. Descripción del direccionamiento IP.....	100
Tabla. 4.2. Pruebas del diseño de control	109
Tabla. 4.3. Pruebas de conectividad	110
Tabla. 4.4. Pruebas de funcionamiento del sistema SCADA	110

RESUMEN

Actualmente las empresas dedicadas a los procesos productivos, necesitan optimizar los recursos, gracias a la ayuda de los avances tecnológicos se puede modernizar los procesos en base a la automatización, los resultados que se obtienen son: un mejor control, confiabilidad, eficiencia y calidad del proceso de tratamiento de agua potable.

El Departamento de Producción, de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable (EPMAPS), cuya misión es garantizar un proceso de potabilización de agua, que cumpla con la normativa de calidad y sus estándares, la cantidad y continuidad del servicio de agua potable a nuestra ciudad. Por lo cual es la responsable del control, operación y mantenimiento de las diferentes Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), las cuales están ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) y otras en parroquias adyacentes, entre ellas se encuentra la Planta de Tratamiento de Conocoto.

En el caso particular, la Planta de Tratamiento de Conocoto posee un tratamiento convencional, el cual consta de varios procesos físicos, químicos y microbiológicos, mediante los cuales se tiene como resultado agua potable, para este fin la planta cuenta con diferentes unidades de tratamiento. Cada fase del proceso de tratamiento, las unidades tienen actuadores, sensores, equipos e instrumentación, con el fin de tener una medición continua y un control de las variables más representativas del proceso de potabilización de agua.

El objetivo de este proyecto es implementar un sistema *SCADA* para el control, supervisión y adquisición de datos en la Planta de Tratamiento de Conocoto, actualmente su proceso no se encuentra automatizado, el operador ejecuta las actividades de forma manual, ya que no se cuenta con un sistema de control automatizado para supervisar, ejecutar y obtener información instantánea de las variables del proceso.

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de agua potable, *SCADA*, HMI, InTouch, PLC.

ABSTRACT

Nowadays the companies dedicated to the productive processes, need to optimize the resources, thanks to the help of the technological advances. We can modernize the processes based on the automation. The results are obtained such as: better control, reliability, efficiency and quality of the drinking water treatment.

The Departamento de Producción, of the Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS), whose mission is to guarantee a process of water purification, which complies with quality regulations, standards of quantity and continuity of drinking water service in Quito. Therefore, it is responsible for the control, operation and maintenance of the different Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), which are located in the Distrito Metropolitano de Quito (DMQ).

In the particular case, the Planta de Tratamiento de Conocoto has a conventional treatment, which consists of several physical, chemical and microbiological processes, through which drinking water results, for this purpose the plant has different treatment units. Each phase of the treatment process the units have actuators, sensors, equipment and instrumentation, in order to have a continuous measurement and control of the most representative variables of the water purification process.

The objective of this Project is to implement a SCADA (System for the control, supervision and acquisition of data) in the Conocoto Drinking Water Treatment Plant, currently its process is not automated.

The operator executes the activities manually. He takes the information of the process variables when he move an equipment's of the plant. The purpose is to provide an important development in automation and a valuable contribution to the production of drinking water.

KEYWORDS: Drinking water treatment, SCADA, HMI, InTouch, PLC.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) en busca de cumplir con la misión de “Proveer servicios de agua potable y saneamiento con eficiencia y responsabilidad social y ambiental”, a través del Departamento de Producción se encarga del control, operación y mantenimiento de las diferentes Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), las cuales están ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), y otras en parroquias adyacentes, entre ellas se encuentra la Planta de Tratamiento de Conocoto.

Las plantas consideradas las más grandes están en función de su infraestructura, el caudal de proceso y el área de abastecimiento a las que pertenecen, estas plantas se encuentran totalmente automatizadas y su control es mediante sistemas *SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition System)* y telemetría.

La Planta de Tratamiento de Conocoto consta de varios procesos físicos, químicos y microbiológicos, mediante los cuales se tiene como resultado agua potable, para este fin la planta de agua cuenta con unidades de tratamiento, las mismas que cuentan con un actuador, sensores, equipos e instrumentación en cada fase del proceso de tratamiento, con el fin de tener una medición y control de las variables más representativas del proceso de potabilización de agua.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día las empresas necesitan optimizar los procesos y con la ayuda de los avances tecnológicos se puede modernizar los procesos en base a la automatización y mejorar la eficiencia, calidad y confiabilidad del proceso de tratamiento de agua potable y del servicio entregado al usuario.

En el caso particular la PTAP Conocoto es una planta convencional, su proceso no se encuentra automatizado, por lo que para su control el operador ejecuta las actividades de forma manual y no se cuenta con un sistema *SCADA* para supervisar, controlar y obtener información instantánea de las variables del proceso.

JUSTIFICACIÓN

La factibilidad de implementar un Sistema *SCADA* provee muchos beneficios, principalmente para la parte operativa, el control de cada unidad, la adquisición y almacenamiento del estado de las variables, actuadores, sensores y equipos de medición en línea instalados en las diferentes unidades de tratamiento, como por ejemplo: caudales de ingreso, caudales de salida a la red de distribución, niveles de las cisternas de distribución y visualización de la instrumentación en línea, tanto para turbiedad y cloro residual.

El sistema *SCADA* proporciona un importante aporte para los operadores de la PTAP de Conocoto, la visualización y almacenamiento de las variables proporcionan indicadores para mejorar la gestión del Departamento de Producción de la EPMAPS, en base a información en línea del proceso de tratamiento.

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema *SCADA* para el proceso de potabilización en la Planta de Tratamiento de Agua Potable Conocoto.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las variables de control y visualización, para el proceso de potabilización de agua, en la Planta de Tratamiento de Conocoto.
- Diseñar el sistema *SCADA* del proceso de potabilización de agua, con los equipos y sensores establecidos.

- Desarrollar la topología de la red, mediante el protocolo Modbus TCP/IP (Ethernet) y Modbus RS-485.
- Crear las interfaces gráficas *HMI*, configurar la base de datos, para el control y almacenamiento de las variables del proceso de potabilización, se utilizará el software *Wonderware InTouch 2014*.
- Validar el sistema SCADA mediante las pruebas de funcionamiento.

ALCANCE

El alcance del proyecto consiste en implementar un sistema SCADA para la visualización y almacenamiento de las variables del proceso como: caudal de ingreso, caudal de salida a las líneas de distribución, niveles del tanque de almacenamiento, niveles del tanque de retrolavado, medición y visualización de la instrumentación en línea (turbiedad y cloro residual), control del actuador de ingreso de agua cruda, encendido y apagado de las bombas de retrolavado.

Para conseguir estos resultados propuestos, se utilizará un PLC Schneider Modicon M221, se utilizará una topología de red Modbus (TCP/IP) y RS-485, se establecerá comunicación, control para el encendido de bombas, visualización y almacenamiento de las variables inmersas en el proceso de potabilización.

DESCRIPCIÓN DE LOS CAPÍTULOS

La presente tesis contiene cinco capítulos en los cuales se desarrolla la fundamentación teórica, se describe las unidades de tratamiento de la PTAP, el funcionamiento de la planta, y las características de los equipos a utilizar, el marco metodológico describe la metodología utilizada, para en la propuesta describir la instalación de un equipamiento nuevo, la configuración de los equipos de instrumentación existentes, el diseño de la red, la programación del PLC, la programación del SCADA en el *InTouch*, las pruebas realizadas, para finalmente presentar las conclusiones y recomendaciones.

El Capítulo 1, describe la problemática encontrada y la justificación del presente proyecto, así como los objetivos propuestos. En este capítulo se describe en general el proceso de tratamiento de agua en la planta, los conceptos técnicos se revisará la bibliografía específica en referencia a un sistema de control y automatización.

El Capítulo 2, contiene el desarrollo del marco metodológico, donde se describe que metodología para el desarrollo de cada capítulo que es parte de este proyecto de titulación.

El Capítulo 3, describe la propuesta, el diseño de la red de los equipos, diagrama de flujo de las condiciones para el bombeo de agua tratada al tanque de retrolavado, además describe la instrumentación que requiere instalarse por deterioro, está propuesta se basa en los lineamientos de la empresa auspiciante.

El Capítulo 4, describe la fase de implementación, su inicio se desarrolla desde la instalación de la instrumentación y su calibración, la acometida del cableado de los equipos al tablero principal y todo el enlace de red de los equipos, la programación del *PLC* en el software *SoMachine* y finalmente el diseño y programación de la interfaz HMI en el software *InTouch Wonderware 2014R2*. Al concluir se realizará las respectivas pruebas de funcionamiento, la detección de errores y el análisis de los resultados alcanzados.

El Capítulo 5, describe las conclusiones y recomendaciones del proyecto de titulación.

CAPÍTULO I.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA

La Planta de Tratamiento de Agua Potable de Conocoto fue inaugurada en el año de 1994, se encuentra ubicada en el barrio Ontaneda Alto (Conocoto), a una cota de 2.887 m.s.n.m.

La capacidad de tratamiento de la planta es de un caudal promedio de 200 l/s. Las fuentes de captación de agua cruda son: el río Pita (Cotopaxi), Sincholagua de la Mica Quito Sur.

El tratamiento es de tipo convencional, porque tiene las siguientes unidades:

- Ingreso de agua cruda y coagulación
- Flocculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección
- Almacenamiento y distribución de agua potable

1.1.1 Ingreso de agua cruda y coagulación

El ingreso de agua cruda se realiza mediante una tubería de diámetro de 14 pulgadas, la cual capta el caudal del canal del río Pita Tambo. Para la regulación del caudal de ingreso de agua cruda se encuentra instalada una válvula con un actuador eléctrico, para su apertura o cierre.

La mezcla rápida es de tipo hidráulica, tal como se observa en la Figura. 1.1. se utiliza un vertedero triangular, el cual con la adición de sulfato de aluminio se inicia la coagulación, que es desestabilizar químicamente a los coloides y partículas en suspensión que contiene el agua cruda y dar paso a la formación de flóculos.



Figura. 1.1. Ingreso de agua cruda y mezcla rápida
Fuente: Elaborado por el autor

1.1.2 Floculación

La PTAP Conocoto tiene un solo floculador de tipo hidráulico horizontal, con pantallas de hormigón, mediante gradientes de velocidad su función es formar a los flóculos para que tenga un adecuado tamaño y contextura para el siguiente proceso, ver Figura. 1.2.

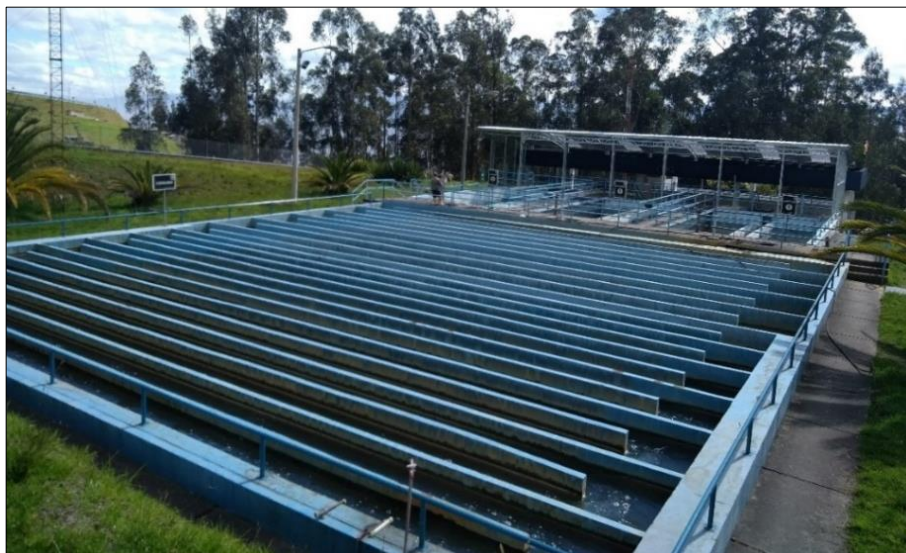


Figura. 1.2. Floculador hidráulico
Fuente: Elaborado por el autor

1.1.3 Sedimentación

En la sedimentación la planta posee tres sedimentadores de alta tasa. Cada uno posee un área de $47,5 \text{ m}^2$; como se puede observar en la Figura. 1.3.



Figura. 1.3. Sedimentador
Fuente: Elaborado por el autor

Esta unidad es la encargada de precipitar físicamente a los flóculos ya formados, con el fin de clarificar el agua. En la parte inferior de los sedimentadores se ubica la tolva, donde se almacenan los lodos, los cuales se evacuan mediante descargas continuas.

1.1.4 Filtración

Las partículas de menor tamaño y los flóculos que no pudieron ser retenidos en los sedimentadores, llegan a los filtros con el fin de ser retenidos en su lecho filtrante.

La planta tiene 6 filtros rápidos, con un área de filtración de $12,1 \text{ m}^2$ cada uno. Se llaman filtros rápidos por estar compuestos de capas de antracita, arena y grava respectivamente como se puede observar en la Figura. 1.4.



Figura. 1.4. Filtros rápidos
Fuente: Elaborado por el autor

Los filtros después de un determinado tiempo de operación, necesitan tener un retrolavado, el cual ayudará a limpiar el lecho filtrante. Este proceso se realiza por gravedad desde el envío de flujo de caudal en sentido inverso al modo de filtración, desde el tanque de retrolavado hacia el filtro a lavar.

El tanque de retrolavado es llenado mediante dos bombas centrífugas de 20 HP, las cuales impulsan agua potable desde el tanque de almacenamiento hacia ese tanque. Es importante controlar el nivel del tanque de retrolavado tanto para el lavado de filtros, como para el abastecimiento de agua hacia las instalaciones de la planta como son: baños, laboratorio, comedor, entre otros.

1.1.5 Desinfección

La desinfección garantizará un agua potable libre de bacterias, virus y elementos contaminantes que ocasionarían enfermedades y afectación a la salud pública. El proceso de desinfección se realiza mediante el uso de dicloro (Cl_2), el cual se aplica mediante contenedores de cloro gas de 907 kg, como se puede observar la Figura. 1.5. que muestra el sistema de dosificación.

La dosificación se aplica en un tanque de contacto que permite un adecuado tiempo de mezclado y retención, con el fin de garantizar un remanente o llamado cloro residual que garantizará la desinfección en el punto más distante de la red de distribución.



Figura. 1.5. Dosificación de contenedores de cloro gas de 907 kg
Fuente: Elaborado por el autor

1.1.6 Almacenamiento y distribución del agua potable

La distribución de agua potable se realiza mediante tanques de almacenamiento, en los cuales mediante tuberías denominadas líneas de distribución, se envía el caudal hacia la población de aporte del servicio.

El tanque de almacenamiento o de distribución fue construido de hormigón armado y está compuesto por dos celdas de 500 m³ cada una. Cada celda se denomina cámara de distribución, teniendo las cámaras de San Juan y Santa Mónica.

La PTAP de Conocoto, tiene tres líneas de distribución que son: la línea San Juan, la línea Santa Mónica ambas con un diámetro de tubería de 14 pulgadas y la línea de Ontaneda Alta con un diámetro de tubería de 10 pulgadas, como se observa en la Figura. 1.6.



Figura. 1.6. Tanque de almacenamiento y líneas de distribución
Fuente: Elaborado por el autor

En esta parte final del proceso de potabilización, se realiza la verificación de la calidad del agua, mediante su análisis por parte de los operadores en el laboratorio interno de la planta, se cuenta con equipos de campo para medición de parámetros como: turbiedad, color aparente y cloro residual. Así como instrumentación en línea instalada en la tubería de salida, hacia la línea Santa Mónica.

1.1.7 Flujograma del proceso de potabilización

En la Figura. 1.7. se muestra en fases como se realiza el proceso de tratamiento de agua potable en la PTAP de Conocoto, el cual describe las funciones más importantes de cada fase o etapa.

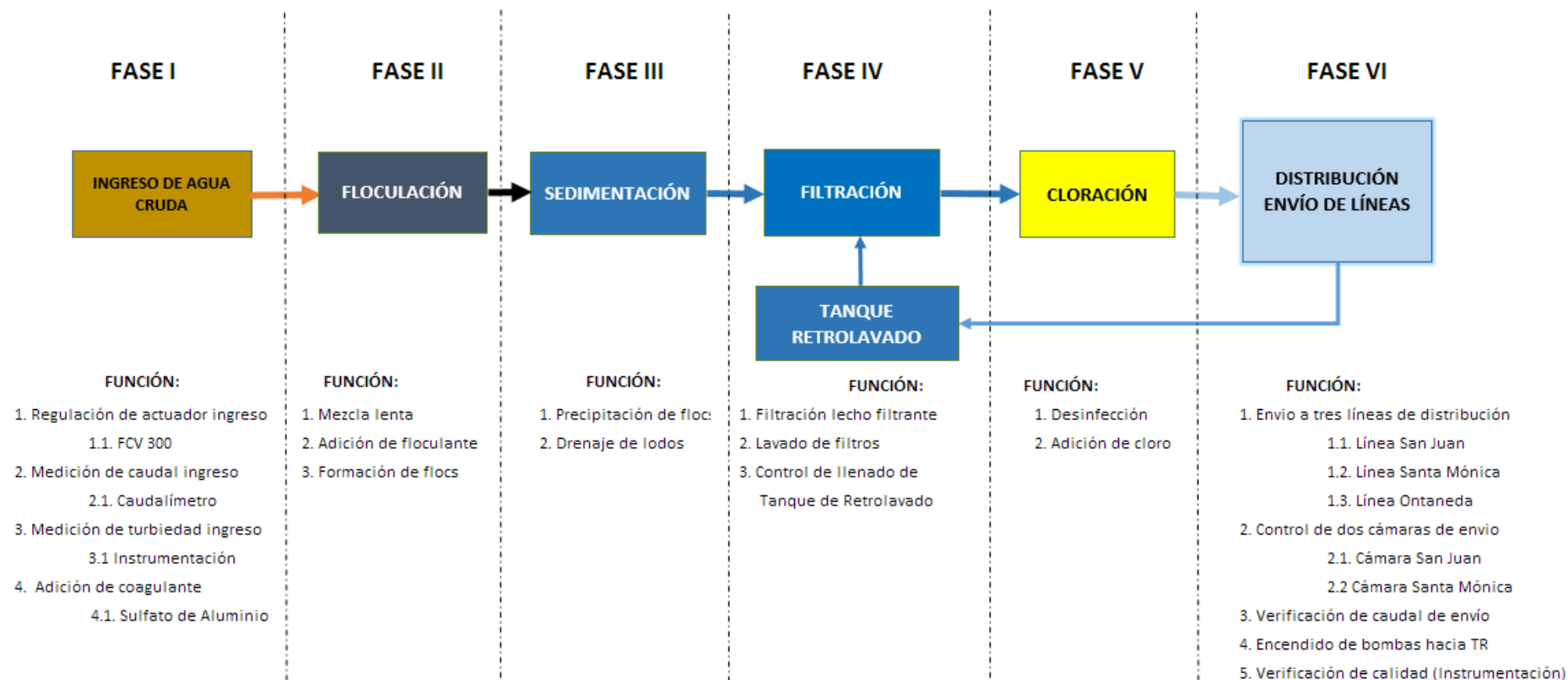


Figura. 1.7. Flujograma del proceso de potabilización
Fuente: Elaborado por el autor

1.2 SISTEMA SCADA

La automatización de los procesos industriales, como desarrollo de la ingeniería y aplicada a la variedad de industrias, ejecutan un control de elementos finales, supervisión, medición de variables y control en tiempo real.

El principal objetivo es incrementar la productividad del recurso humano a través de mejorar la eficiencia y la optimización en la operación del proceso industrial.

Un sistema SCADA es un sistema de supervisión, control y adquisición de datos, se compone de hardware, software, elementos de visualización, control y supervisión como interfaces hombre-máquina tales como computadoras, que permiten supervisar y controlar a distancia dispositivos de campo de un proceso industrial.

Entre las principales ventajas se tiene las siguientes:

- Controlar un proceso industrial localmente o remotamente.
- Adquirir datos de campo en tiempo real.
- Interfaz hombre- máquina (HMI), donde se puede interactuar directamente con instrumentación, sensores y actuadores.
- Registro de alarmas e históricos.
- Almacenamiento de tendencias de las variables.

La arquitectura básica de un sistema SCADA, comienza con el controlador lógico programable (PLC), unidades terminales remotas (RTU) y con la conectividad de interfaces hombre-máquina como paneles de visualización y computadoras (Inductive automation, 2018).

Los equipos mencionados forman una red de control industrial, como se puede observar en la Figura. 1.8.

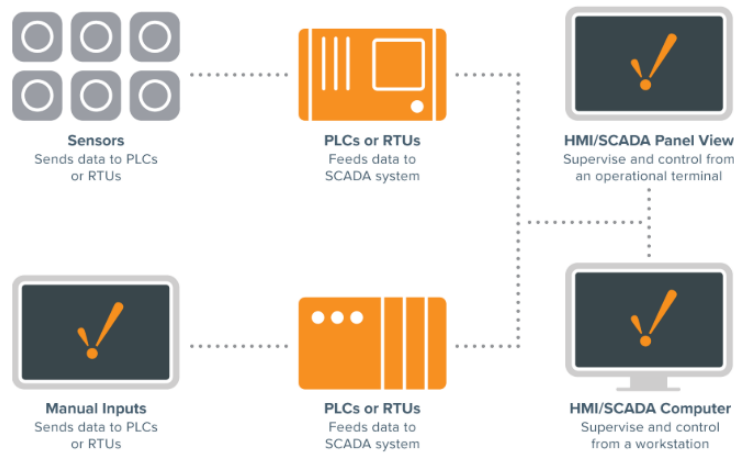


Figura. 1.8. Arquitectura de un sistema SCADA

Fuente: (Inductiveautomation, 2018)

En el proceso de potabilización de agua potable, la información y los datos de las variables inmersas en el proceso, ayudan a los operadores a tomar decisiones.

1.2.1 HMI

Una interfaz hombre-máquina, es un mecanismo que permite al operador humano interactuar con un proceso, máquina y determinar el estado o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial (Corrales , 2007).

En la Figura 1.9. se muestra una interfaz HMI de un Sistema SCADA de un proceso industrial.



Figura. 1.9. HMI de un sistema SCADA

Fuente: (Autracen, 2019)

Para manejar un sistema SCADA, generalmente se recurre a un paquete de software especializado que funciona en computadoras o pantallas touch, por medio del cual se desarrolla una o varias pantallas que actúan como interfaz gráfica entre el hombre y el proceso industrial (Corrales , 2007). De esta manera el operador controla, supervisa y ejecuta acciones para administrar el proceso industrial.

1.2.2 PLC

El controlador lógico programable es un dispositivo electrónico para uso de control industrial en la automatización de procesos industriales, como se observa en la Figura. 1.10.

El autómatas programable utiliza en su contenido relés individuales, operaciones aritméticas, operaciones lógicas, temporizadores, contadores y secuencia de acciones, todo está inmerso dentro del contenido de su programación (FESTO, 2008).



Figura. 1.10. PLC M221

Fuente: (Data sheet Schneider Electric, 2019)

El PLC tiene la capacidad de tomar información de varios sensores y ejecutar instrucciones en mandos finales de control como actuadores, sus instrucciones las recibe con mucha rapidez, por lo cual tienen la capacidad de controlar un proceso en tiempo real.

Un PLC se componen principalmente de: procesador, memoria de datos y programa, fuente de alimentación, interfaz de entrada/salida, interfaz de comunicación y el dispositivo de programación, tal como se muestra en la Figura. 1.11.

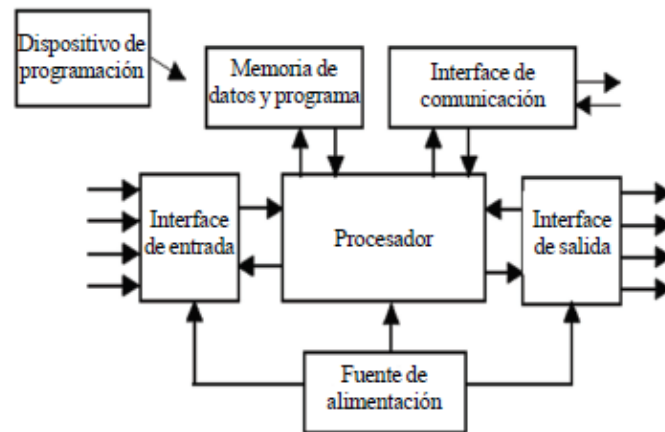


Figura. 1.11. Estructura básica de un PLC

Fuente: (Researchgate, 2020)

.Interfaces de entrada y salida

Son las interfaces encargadas de comunicar al PLC con su entorno, las cuales reciben o envían estados, información o instrucciones (AUTRACEN , 2019). Mediante este intercambio de información se adquiere datos de las entradas o se envía ejecuciones de control a las máquinas en sus salidas.

.Dispositivos de entrada

Un dispositivo de entrada es utilizado para conocer la condición particular o el estado de una variable tales como: caudal, nivel, temperatura, presión, posición entre otras (Moreno Gil & Lasso Tarraga).

Los dispositivos de entrada que se puede encontrar son: pulsadores, sensores capacitivos, sensores inductivos y magnéticos, finales de carrera, termocuplas, termo resistencias, sensores ópticos.

.Dispositivos de salida

Los dispositivos de salida son aquellos que responden a las señales que reciben del PLC, para accionar actuadores y máquinas. Estos dispositivos son los accionadores finales entre los cuales se puede citar: relés, contactores, luces piloto y válvulas.

.Tipos de módulos de entrada y salida

Debido a la gran variedad de dispositivos de entrada y salida, se encuentran sensores y actuadores que manejan un cierto tipo de señal sea esta discreta o analógica.

.Señal discreta

Una señal discreta tanto de entrada o de salida son conocidas también como digitales porque pueden tomar dos estado: 1 lógico (encendido) o 0 lógico (apagado). Como se puede observar en la Figura. 1.12.

Los módulos digitales trabajan con señales de tensión, frecuentemente utilizan la fuente de alimentación interna de 24 VDC, en el caso de las entradas cuando llega a una entrada una tensión se interpreta como un 1L y cuando llega a tierra se interpreta como 0L. En el caso de las salidas depende de la configuración del módulo generalmente trabajan con un relé interno, cuando este se cierra realiza el 1L y cuando este se abre es 0L.

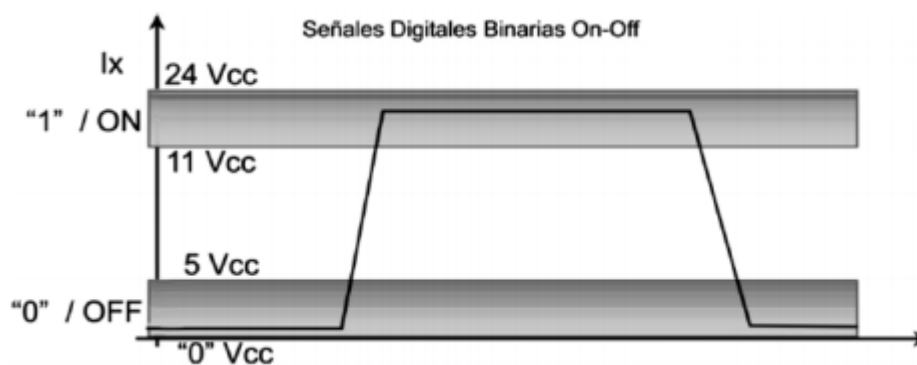


Figura. 1.12. Señal discreta On - Off
Fuente: (Moreno Gil, 2019)

.Señal analógica

La señal analógica admiten valores de corriente intermedios dentro de un rango de valores; que pueden ser de 0-20 mA, 4-20 mA o valores de tensión dentro de un rango de 0-5 VDC o 0-10VDC, estos valores los convierten en un número y este se guarda en una posición de memoria del PLC, como se puede observar en la Figura. 1.13.

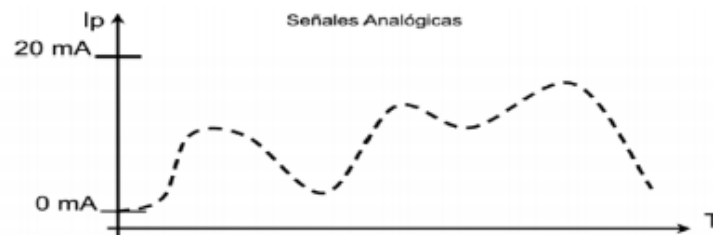


Figura. 1.13. Señal analógica 0-20 mA
Fuente: (Moreno Gil, 2019)

Los módulos de entradas analógicas son los encargados de traducir esta señal de tensión o corriente proveniente de un sensor de caudal, nivel, temperatura, velocidad, presión, posición o cualquier otra magnitud física que se quiera medir.

1.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación tienen el objetivo de intercambiar información, esto engloban todas las reglas y condiciones que deben seguir dos equipos cualesquiera para sincronizarse y mantener un enlace de comunicación (Rodríguez Penin, 2008).

1.3.1 Introducción al protocolo Modbus

Es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Modicon en 1979, es utilizado para establecer comunicaciones maestro/esclavo y cliente/servidor con el fin de transmitir la información de entradas/salidas, analógicas o discretas, registros de estados y monitorear entre ellos equipos de visualización y control (Rodríguez Penin, 2008). Ver Figura. 1.14.

El objetivo del protocolo Modbus es la transmisión de información entre distintos equipos electrónicos conectados a un mismo bus, en el cual debe existir un solo dispositivo como maestro y varios equipos como esclavos conectados al mismo bus.

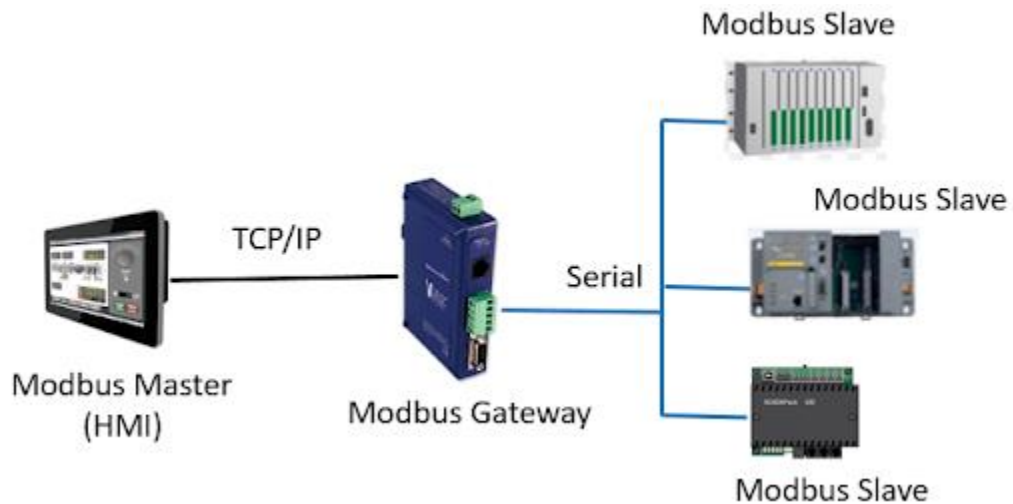


Figura. 1.14. Protocolo Modbus
Fuente: (Cyberforensic, 2018)

La comunicación maestro/esclavo indica que únicamente el dispositivo maestro puede realizar peticiones de información al resto de dispositivos esclavos, cuya función es la de verificar, si la petición fue hecha a uno de ellos y responder con lo solicitado por parte del maestro, lo cual puede ser: entregar información acerca del proceso o realizar accionamientos de ciertos dispositivos. A este método de comunicación se lo conoce como el ciclo de petición respuesta, como se puede observar en la Figura. 1.15.

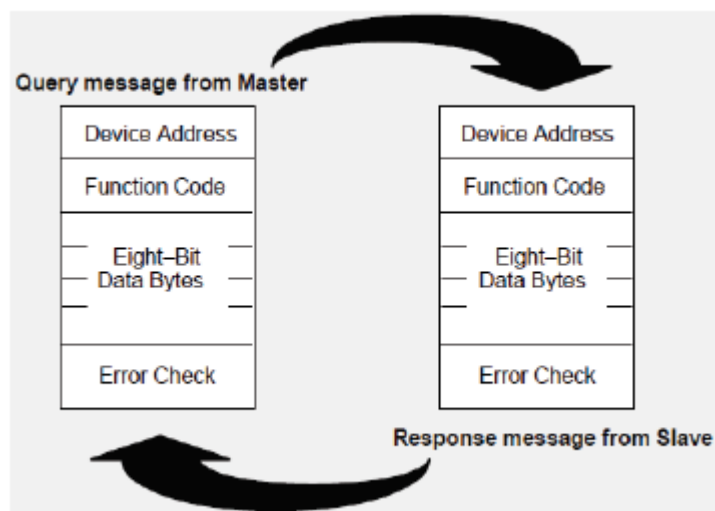


Figura. 1.15. Ciclo de petición respuesta
Fuente: (Corrales, 2007)

Los maestros pueden dirigirse a los esclavos de manera individual o a su vez enviar un

mensaje difundido a todos los esclavos. Hay que tomar en cuenta que los esclavos responden a la pregunta que se les realiza individualmente, mas no al mensaje difundido.

1.3.2 Modbus serial

El protocolo Modbus serial tiene la misma arquitectura maestro/esclavo. El empaquetamiento de su trama tiene esta estructura: cuatro elementos básicos presentes en su estructura, tal como se puede observar en la Tabla. 1.1.

Este protocolo establece la utilización de puertos estándar bajo la norma RS-232 o RS-485. Se definen en los dispositivos los parámetros de comunicación del puerto serie que son: los pines del conector, velocidad de transmisión, control de paridad y bits de parada (León Araujo, p. 17). Los parámetros y el modo deben ser los mismos para todos los dispositivos conectados a la red Modbus.

Tabla. 1.1. Estructura de los mensajes de Modbus serial

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Device Address	Dirección del dispositivo (receptor).
Function Code	Código de función (Código de definir el tipo de mensaje).
Data Bytes	Datos (Bloque de datos con información adicional)
Error check	Control de errores (El valor numérico para detectar errores de comunicación)

Fuente: Elaborado por el autor

1.3.3 Modo de transmisión de Modbus

Para poder establecer una correcta comunicación entre dispositivos en protocolo Modbus, se debe seleccionar los dos modos existentes para la comunicación: ASCII o RTU.

.Modo ASCII

En el modo ASCII (Código Estándar Americano para el Intercambio de Información) se configura los dispositivos de esta manera, cada byte se envía serialmente y se convierten en dos caracteres ASCII.

Sistema de codificación: Hexadecimal, caracteres ASCII del 0 al 9 y de “A” a la “F”. Un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII del mensaje.

Bits por byte: 1 bit de inicio, 7 bits de datos, 1 bit para paridad, ningún bit para No paridad, 1 bit de parada si se usa paridad, 2 bits de parada si no se usa paridad. En la Figura. 1.16. muestra como está constituido un byte en el modo ASCII.

Comprobación de campo de error: Comprobación Longitudinal Redundante (LRC).



Figura. 1.16. Orden de bits en una trama ASCII

Fuente: (León Araujo, 2019)

. Modo RTU

En el modo RTU, cada byte en un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bits cada uno. La principal ventaja de este modo es que su mayor densidad de caracteres permite mejor rendimiento; de la tasa de transmisión que el modo ASCII, manteniendo la misma velocidad (Rodríguez Penin, 2008).

Sistema de codificación: Binario de 8 bits, hexadecimal con caracteres desde el 0 al 9 y desde la A hasta la F. Dos caracteres hexadecimales contenidos en cada campo de 8 bits.

Bits por byte: 1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit para paridad, ningún bit para No paridad, 1 bit de parada si se usa paridad, 2 bits si no se usa paridad. En la Figura. 1.17. se muestra como se compone un byte en el modo RTU.

Comprobación de campo de error: Comprobación Cíclica de Redundancia (CRC).



Figura. 1.17. Orden de bits en una trama RTU
Fuente: (León Araujo, 2019)

Estos dos modos de transmisión pertenecen únicamente a redes Modbus, definen el contenido de los campos del mensaje y la forma de empaquetar los datos (Rodríguez Penin, 2008, p. 47).

1.3.4 Trama del mensaje Modbus

En cualquier modo de transmisión en serie Modbus el dispositivo que va a enviar el mensaje, encapsula los datos en una cabecera y una cola conocidos, para que el dispositivo receptor conozca cuando se va a empezar una transmisión y cuando esta termina.

El encapsulamiento de la trama Modbus permite al dispositivo que recibe el mensaje leer la parte de la dirección y determinar que dispositivo se está direccionando, luego ubica los datos dentro de la trama, verifica que no haya ocurrido errores o pérdidas de datos con el campo de comprobación de errores y por último entiende la finalización del mensaje (León Araujo, p. 22). En la Figura. 1.18. se puede observar la trama de Modbus.

Las direcciones válidas van desde la 0 a 247. Los dispositivos esclavos pueden tener

direcciones desde la 1 a 247, la dirección 0 es para los mensajes de broadcast (Rodríguez Penin, 2008).

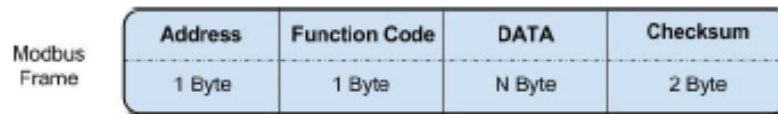


Figura. 1.18. Trama Modbus
Fuente: (Hernández Tinoco, 2016)

Los dispositivos esclavos no transmiten información a menos que exista una solicitud hecha por el dispositivo maestro. Los dispositivos esclavos no pueden comunicarse entre otros dispositivos esclavos.

1.3.5 Interfaz RS-485

La EIA definió en 1983, el estándar RS-485, se considera como una conexión multipunto y permite la comunicación de hasta 32 equipos en un bus de datos común.

Las señales que utilizan esta norma física (ver Tabla. 1.2.) son las siguientes:

Tabla. 1.2. Descripción de interfaz RS-485

SEÑAL	DEFINICIÓN
A o D+	Señal de Tx/Rx no invertida transmitida al canal de comunicación.
B o D-	Señal de Tx/Rx invertida transmitida al canal de comunicación.
GND	Masa de tierra

Fuente: Elaborado por el autor

Principales características

- Utiliza dos hilos o cables referenciados a masa (par trenzado).
- Modo de operación diferencial
- Transmisión Half-Duplex.

- Permite velocidades de hasta 10 Mbps.
- Distancia máxima de hasta 1.200 metros.
- Permite una red con un máximo de 32 dispositivos.
- Topología bus, multipunto, punto a punto.

El medio físico puede ser un cable de par trenzado apantallado. La comunicación es asíncrona y las velocidades de transmisión previstas van desde los 75 a los 19.200 baudios.

La máxima distancia entre equipos depende del nivel físico, pudiendo alcanzar hasta los 1.200 metros sin repetidores. La conexión física se puede observar en la Figura. 1.19.

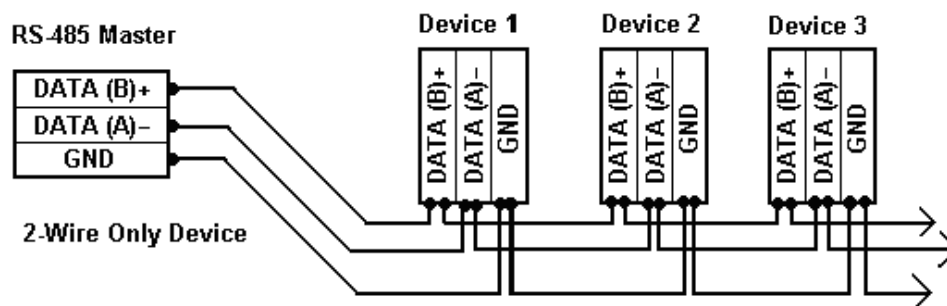


Figura. 1.19. Conexión física de la interfaz RS-485
Fuente: (León Araujo, 2019)

1.3.6 Modbus TCP/IP

En la actualidad el protocolo Modbus TCP/IP, se ha convertido en un protocolo estándar, muy popular a nivel mundial; debido a su simplicidad, su bajo coste y sobre todo es un protocolo abierto (Alvarez Pichizaca, 2010).

Modbus TCP/IP es un protocolo de solicitud/respuesta, es un protocolo implementado y transmitido a través del protocolo TCP, que pueden ser enviados físicamente a través de redes Ethernet. Las redes Ethernet son las más implementadas a nivel mundial, tanto en el sector de las redes de información, como en las redes industriales (Ramos Medina, 2014).

Los servicios son especificados, por los códigos de función Modbus. Este protocolo proporciona un conjunto de funciones para leer y escribir datos en los dispositivos de campo y

soporta transferencias de datos bit o word. Todas las solicitudes son enviadas vía TCP por el puerto registrado 502 (Hernández Tinoco, 2016).

El rendimiento de una red Modbus TCP depende altamente del tipo y diseño de la red Ethernet que se utiliza y el rendimiento de los procesadores en las interfaces de comunicación de los respectivos dispositivos (Modbus, 2015).

El modelo está compuesto de cuatro capas con el fin de garantizar la conexión y el intercambio de información entre los equipos de la red. El Modbus TCP, permite el encapsulamiento del Modbus serie en tramas Ethernet TCP/IP, que se ejecuta en Ethernet de manera sencilla, como se observa en la Figura. 1.20.

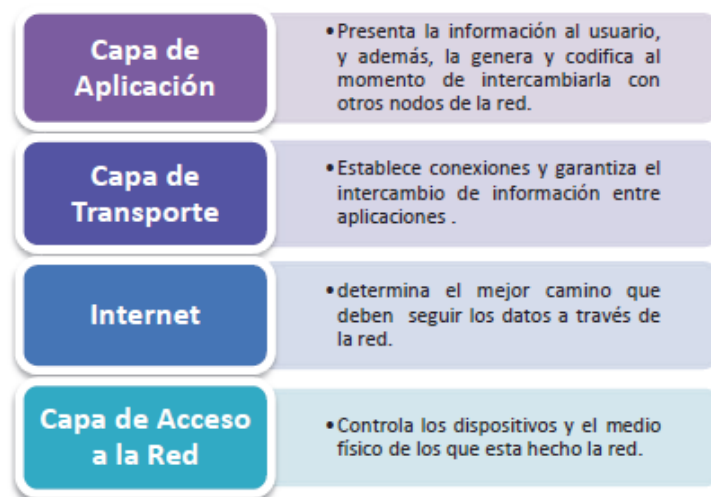


Figura. 1.20. Esquema del modelo TCP/IP

Fuente: (León Araujo, 2019)

La gran ventaja del Modbus TCP en comparación con el Modbus RTU, es el límite que existe con un número máximo de 247 dispositivos, que supera grandemente y aumenta la posibilidad de conectar más dispositivos (Candelas, 2011).

1.3.7 Encapsulamiento del protocolo Modbus TCP

El encapsulamiento del protocolo Modbus TCP, simplemente encapsula una trama Modbus en un segmento TCP, sin incluir los dos bytes del campo de comprobación de

errores de Modbus, ni la dirección del esclavo, como se observa en la Figura. 1.21.

El campo de comprobación de errores no se incluye debido a que Modbus TCP, tiene su propio sistema frente a errores. La dirección del esclavo se elimina ya que la conexión, la dirección IP de origen y de destino; así como las direcciones MAC de los dispositivos conectados, se definen en los niveles de transporte, red o enlace.

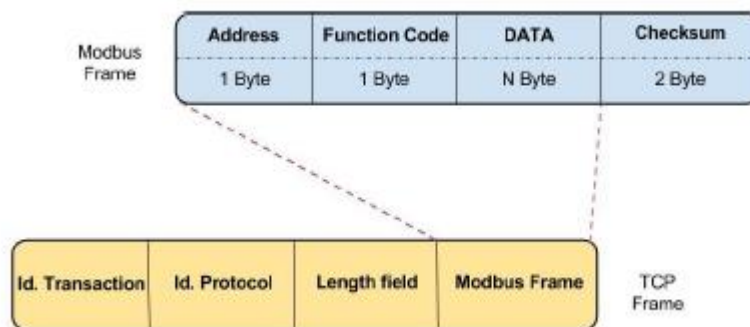


Figura. 1.21. Encapsulamiento de la trama Modbus TCP/IP
Fuente: (CCNA Network Fundamentals, 2020)

1.3.8 Comparación entre el modelo OSI y TCP/IP

El modelo TCP/IP intenta simplificar, mediante el uso de los recursos mínimos suficientes para garantizar el funcionamiento del sistema (Rodríguez Penin, 2008).

En el modelo OSI se identifican 7 capas, dentro de las cuales se ubican un sin número de protocolos, lo que les hace apropiados para diferentes aplicaciones. Este modelo tiene por objeto servir de referencia para el desarrollo de aplicaciones en redes digitales.

El modelo de capas para TCP/IP se compone de cuatro capas, comprimiendo las 7 capas del modelo OSI, tal como se observa en la Figura. 1.22.

- **Capa de aplicación:** Asegura la funcionalidad de las capas de aplicación, presentación y sesión.
- **Capa de transporte:** Corresponde a la capa de transporte del modelo OSI.

- **Capa de internet:** Corresponde a la capa de red del modelo OSI.
- **Capa de acceso a la red:** Contiene las capas de enlace y física del modelo OSI.



Figura. 1.22. Comparación entre los Modelos OSI y TCP/IP
 Fuente: (CCNA Network Fundamentals, 2020)

El protocolo TCP/IP promueve la comunicación de dispositivos de diferentes proveedores y la interoperabilidad entre diferentes tipos de aplicaciones.

1.3.9 Interfaz Ethernet

Ethernet es el cable de par trenzado (ver Figura. 1.23.), más utilizado para interconectar todos los dispositivos que conforman una red LAN, que incluye router, escáner, switch impresoras y las propias computadoras.

El estándar de comunicación de Ethernet es el IEEE 802.3, que es un protocolo para estandarizar redes basadas en Ethernet. Esta interface tiene gran acogida a nivel mundial puesto que la infraestructura instalada en cables, conectores, interfaz de tarjetas de red, los concentradores y conmutadores que son ampliamente difundidos.

Este cable es un medio de conexión muy utilizado en telecomunicaciones y redes informáticas, se constituye de dos conductores eléctricos aislados son entrelazados para anular las interferencias de fuentes externas y diafonía de los cables adyacentes (Hernández Tinoco, 2016).

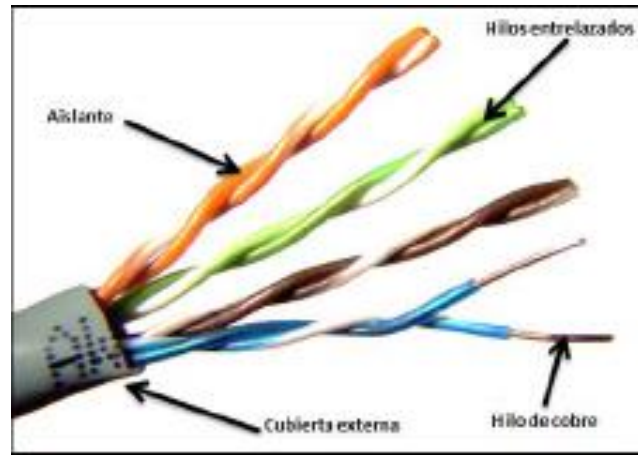


Figura. 1.23. Cable par trenzado sin apantallar
Fuente: (Hernández Tinoco, 2016)

Las ventajas de este tipo de cableado son:

- Bajo coste en su implementación.
- Alto número de estaciones.
- Facilidad para ver su rendimiento y solucionar problemas.
- Fácil de realizar el cableado.

Las desventajas son:

- Alta tasa de error a altas velocidades.
- Ancho de banda limitado.
- Baja inmunidad al ruido.
- Distancia limitada a los 100 metros.

Los conectores utilizados para el cable par trenzado, son los RJ45 (ver Figura. 1.24.) estos conectores son ampliamente usados en redes Ethernet, utilizan 8 pines que transmiten

información a través de cables de par trenzado. Por este motivo se les suele denominar puerto Ethernet.



Figura. 1.24. Conectores RJ45
Fuente: (Rodríguez Penin, 2013)

Existen dos clases de configuraciones para los pines de conectores de cable trenzado denominados T568A Y T568B, como se puede observar en la Figura. 1.25.

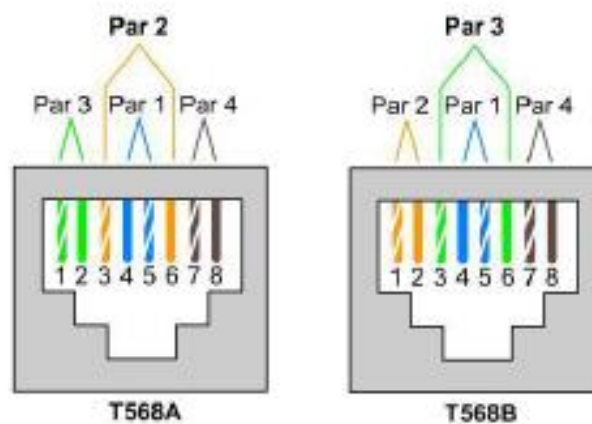


Figura. 1.25. Código de colores RJ45 (a) Norma T568A (b) Norma T568B
Fuente: (Rodríguez Penin, 2013)

1.3.10 Direccionamiento del protocolo Modbus

Los registros Modbus de un dispositivo son organizados en torno a cuatro datos básicos, que conforman una tabla de datos, los cuales se identifican por el número inicial de la dirección de referencia de la siguiente manera: (ver Tabla. 1.3.)

Tabla. 1.3. Bloque de memoria para Modbus

Dirección Modbus	Dirección protocolo	Descripción
0XXXX	1-9999	Discrete Outputs Coils (Lectura/escritura)
1XXXX	10001-19999	Discrete inputs (Lectura)
3XXXX	30000-39999	Input Registers (Lectura)
4XXXX	40001-49999	Holding Registers (Lectura/escritura)

Fuente: Elaborado por el autor

1.4 EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN DEL SISTEMA SCADA

1.4.1 Switch

Para la interconexión de los equipos (PLC, pantallas, arrancadores, variadores de frecuencia etc.) en una red Modbus TCP/IP, se necesita utilizar un conmutador o switch de 8 puertos, estos equipos pueden manejar velocidades de hasta 100 Mbps Full dúplex (ver Anexo F Switch SFN 8TX), como se puede observar en la Figura. 1.26.



Figura. 1.26. Switch Phoenix Contact
Fuente: (Conrad, 2020)

1.4.2 Sensores y transductores

Los sensores y los actuadores constituyen el principal medio de enlace entre el PLC y el proceso a monitorear o controlar (Daneri, 2008, p. 45).

.Sensor

Un sensor es un dispositivo que detecta cambios de las magnitudes físicas, como el caudal, la temperatura, el nivel, la presión, la proximidad, la velocidad, la aceleración, el tamaño, la cantidad y la detección de magnitudes químicas como el valor del pH, turbiedad, cloro residual.

Los sensores son capaces de convertir estas magnitudes en una diferencia de potencial o una variación de intensidad. Es decir suministran información sobre el estado y tamaño de la magnitud, esta información es cuantificable, es decir medible por algún instrumento (Aimacaña Quishpe & Sango Viracocha, 2015).

.Transductor

Un transductor es un dispositivo capaz de convertir el valor de una variable física (por ejemplo: fuerza, presión, temperatura, velocidad, caudal, nivel, etc.) en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital. (Balcells & Romeral).

.Actuador

Son los elementos finales de control, que en respuesta a una señal de mando que reciben, actúan sobre la variable o elemento final del proceso. Los actuadores permiten modificar las variables a controlar en un proceso industrial (EPN, 2007).

Las actuadores más utilizados son del tipo: eléctrico, hidráulico y neumático.

.Transmisor

Es un equipo que capta la variable del proceso a través del elemento primario, junto al sensor forman un sistema que convierte, acondiciona y normaliza su señal para trasmitirla a algún un lugar remoto, en forma de señal neumática, electrónica, digital, óptica, hidráulica o por radio (Creus, 2011, p. 63).

1.4.3 Medición de caudal

La medición de caudales se ha venido llevando a cabo durante siglos. La función de un caudalímetro es registrar el caudal de un fluido que pasa por una tubería o por un canal abierto. En la medición influyen una gran variedad de propiedades específicas del medio como tal y una gran cantidad de parámetros de proceso (Endress + Hauser, 2005, p. 8).

Inicialmente, en el siglo XIX Michael Faraday llevó a cabo experimentos en magnetismo, donde se estableció los principios del caudalímetro electromagnético.

. Caudalímetro electromagnético

El principio de medición se basa en la ley de inducción magnética de Faraday, se induce un voltaje en un conductor que se mueve a través de un campo magnético.

El voltaje inducido es proporcional a la velocidad de flujo y se suministra al amplificador por medio de dos electrodos de medida.

El volumen de flujo se calcula por medio de la sección transversal de la tubería. El campo magnético de DC se crea a través de una corriente continua conmutada de polaridad alterna, como se puede observar en la Figura. 1.27.

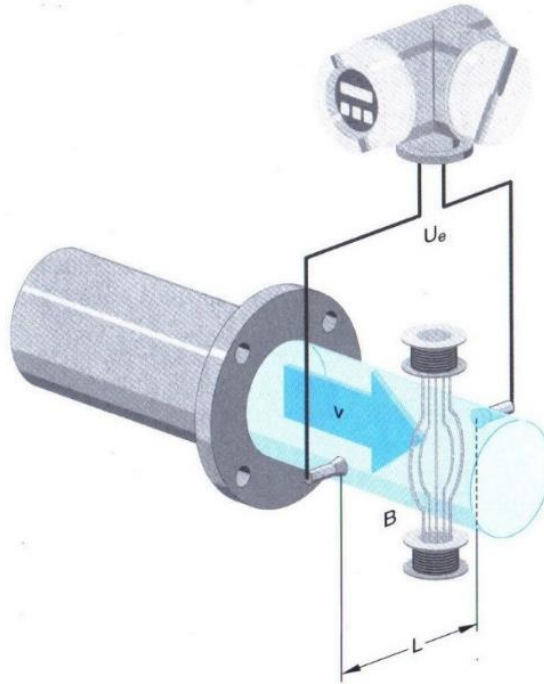


Figura. 1.27. Principio de medición electromagnética del caudal

Fuente: (Endrees + Hauser, 2005)

En la planta de tratamiento Conocoto se cuenta con tres tuberías que disponen de caudalímetros electromagnéticos; los cuales disponen del equipo sensor y el transmisor que se encuentran instalados en un tablero de control.

1.4.4 Medición de nivel

En procesos industriales el nivel es una de las variables más utilizadas, especialmente en el control de almacenamiento de líquidos, materias primas y productos terminados.

La precisión es fundamental para el control de niveles, tanto en los casos de dosificación y principalmente en el llenado de depósitos de almacenamiento, en los cuales no se puede desbordar el líquido.

La medición del nivel de agua en la PTAP Conocoto, se lo realiza en las celdas del tanque de almacenamiento de agua tratada y en las celdas del tanque de retrolavado.

. Sensor ultrasónico

Los sensores ultrasónicos son dispositivos autónomos de estado sólido diseñados para la detección sin contacto de objetos líquidos. Estos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas.

El sensor emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción, como se puede observar en la Figura. 1.28.

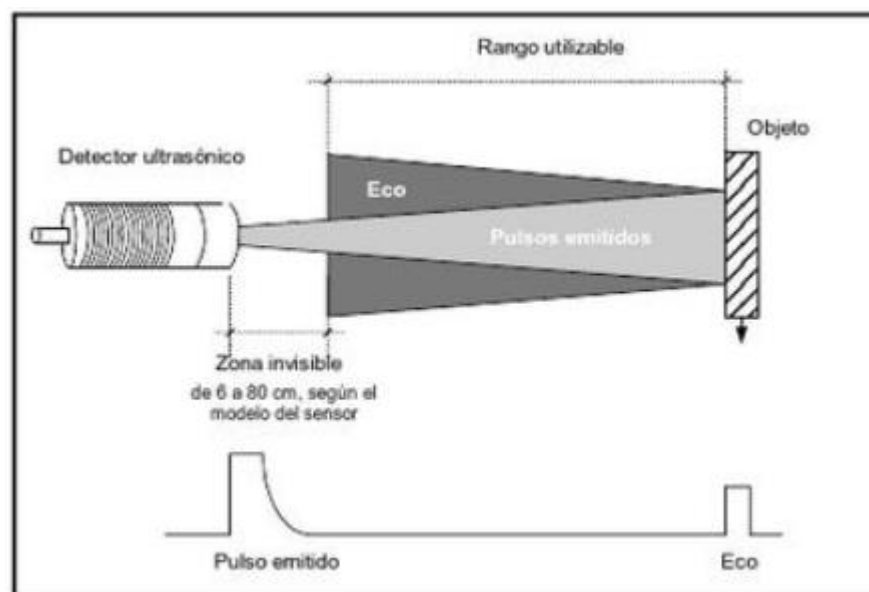


Figura. 1.28. Principio de funcionamiento del sensor ultrasónico

Fuente: (PLC Automatización y Control, 2016)

Es usado para aplicaciones como el monitoreo del nivel de agua en un tanque. Los sensores están disponibles en varios rangos de medida, forma de detección y tienen una o varias salidas analógicas.

1.4.5 Instrumentación en línea

La instrumentación industrial es un grupo de equipamientos y dispositivos que son utilizados para medir, convertir y registrar variables de un proceso. Posteriormente se las

puede transmitir, evaluarlas y controlarlas para fines de calidad y productividad.

1.4.6 Características de los instrumentos

Las características de mayor importancia para los instrumentos son:

.Campo de medida

Es el conjunto de valores dentro de los límites superior e inferior de medida, en los cuales el instrumento es capaz de trabajar en forma confiable.

.Alcance

Es la diferencia algebraica entre el valor superior e inferior del campo de medida del instrumento.

.Error

Es la diferencia que existiría entre el valor que el instrumento indique que tenga la variable de proceso y el valor que realmente tenga esta variable en ese momento.

.Precisión

Esto es la tolerancia mínima de medida que permitirá indicar, registrar o controlar el instrumento. En otras palabras, es la mínima división de escala de un instrumento indicador

.Exactitud

La exactitud es la cualidad de un instrumento de medida por la que tiende a dar lecturas próximas al valor verdadero de la magnitud medida.

.Zona muerta

Es el máximo campo de variación de la variable en el proceso real, para el cual el instrumento no registra ninguna variación en su indicación, registro o control.

.Sensibilidad

Es la relación entre la variación de la lectura del instrumento y el cambio en el proceso que causa este efecto.

.Repetibilidad

Es la capacidad de un instrumento de repetir el valor de una medición, de un mismo valor de la variable real en una única dirección de medición.

.Histéresis

Similar a la repetibilidad, pero en este caso el proceso de medición se efectuará en ambas direcciones.

. Medidor de turbiedad

El medidor de turbiedad permite determinar la turbidez causada por sólidos suspendidos, limo, barro, arcillas, algas y demás microorganismos. Es utilizado en plantas de tratamiento de agua potable, sistemas de suministro de agua con el fin de monitorear la calidad de la turbiedad en el agua que está fluyendo por una tubería.

La turbidez esta expresada en unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

. Analizador y transmisor de cloro residual

El analizador de cloro residual, está diseñado para la medición de parámetros como: cloro residual y pH. El instrumento utiliza un procedimiento amperométrico para la medición de la concentración HOCl. Una membrana difunde selectivamente las moléculas de HOCl al sensor amperométrico. Se compensa la influencia del valor pH y de la temperatura en el valor de medición.

CAPÍTULO II.

MARCO METODOLÓGICO

La metodología utilizada en este proyecto de titulación se divide en etapas para su desarrollo. Para cada etapa, se va a detallar el empleo de diferentes métodos de investigación.

El enfoque que se utilizó en el proyecto de titulación es de tipo cuantitativo, ya que se emplea el método de experimentación en las fases de propuesta, implementación y en las pruebas de funcionamiento y validación de errores.

Para la recolección de la información se emplea métodos empíricos, los cuales deben seguir una organización, su proceso es secuencial y su fin es recopilar la información técnica alineada a la consecución de los objetivos propuestos.

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Para la fundamentación teórica, se aplica el enfoque cuantitativo de tipo teórico según (Sampieri, p. 3), en esta fase se inicia su desarrollo sistémicamente, se empezó desde describir generalmente el proceso de tratamiento de agua potable que se realiza actualmente en la PTAP de Conocoto, se hizo un levantamiento y la recolección de la información técnica específica de los equipos instalados actualmente y que se encuentren operativos, los equipos obsoletos se buscará una alternativa para su remplazo, estos equipos son parte de la información requerida, así como los equipos necesarios para la implementación del sistema SCADA, en base a los lineamientos de la empresa auspiciadora del proyecto.

El método aplicado en esta fase es de tipo deductivo, se inicia con una fase conceptual mediante la revisión bibliográfica de libros, manuales de equipos, datasheets y el uso del internet.

La partida es la búsqueda de los fundamentos de la automatización de procesos

industriales, sistemas SCADA, PLC, el principio de funcionamiento de actuadores, sensores, instrumentación y equipos utilizados para el control industrial.

En esta fase se investigará los protocolos de comunicación de cada equipo, el manejo de señales analógicas, las formas de programar un PLC, el método de programar la interfaz HMI, en este caso específico la plataforma *Wonderware InTouch 2014 R2*.

2.2 MARCO METODOLÓGICO

Para la fase del marco metodológico se aplicará el enfoque mixto que surge de la combinación del enfoque cualitativo y cuantitativo (Sampieri, p. 13), se utilizará métodos empíricos como: la recolección de información, revisión documental de la metodología y las técnicas que se aplican para formular un criterio y las soluciones a los problemas planteados en el proyecto.

Para esta fase se realizó principalmente un enfoque cualitativo, se usa el método inductivo, donde se establecerá las técnicas más idóneas para cada fase de la investigación.

En este proceso se utilizó la interacción de información de libros de metodología de la investigación, para una exploración general de cómo se debe desarrollar una investigación.

2.3 PROPUESTA

Para la fase de la propuesta, se hace un análisis de los equipos existentes, las especificaciones técnicas y las ventajas de los equipos que se adquirieron para interconectar con el PLC y sus módulos, los equipos de instrumentación tanto medidores de turbiedad, cloro y los equipos para medir caudal, nivel.

Para el diseño se utilizará el método inductivo y experimental, debido a que se instalará equipos nuevos, se investigará sobre sus prestaciones, el tipo de señal que envían, los protocolos de comunicación para interactuar con el PLC y su programación.

En el desarrollo del proyecto de titulación, para la implementación del sistema SCADA, en la recolección de información, se puede definir claramente los equipos necesarios para la propuesta, esto muestra una presentación de resultados idóneos, para utilizarlos en el desarrollo y ejecución de la propuesta.

Finalmente en la implementación, se validará los resultados en base a las pruebas de funcionamiento.

2.4 IMPLEMENTACIÓN

Para la implementación se usará el método experimental para la ejecución de la red de control, se inicia desde la selección de los módulos necesarios para la implementación en conjunto con el PLC M221 y los sensores tanto para medir nivel, caudal, instrumentación, el control del actuador de ingreso, el encendido y apagado de las bombas centrífugas, todos estos elementos se deben interconectar en el tablero de control principal.

La ejecución de la lógica de control y la programación se ejecutará en SoMachine Basic, el establecimiento de la comunicación para el control se realizará por medio del protocolo de comunicación TCP/IP, mediante la interfaz gráfica HMI.

Finalmente se creará las pantallas del HMI en base al proceso real, en la interfaz se dividió el proceso en diferentes etapas, cada una de ellas se representa en una pantalla. Al terminar el diseño se vincula el InTouch con el PLC mediante el DAServer Manager, el cual proporciona conectividad, a través del puerto 502.

Se realizará la creación de los TAG en base a las magnitudes a medir, seguidamente se los vinculará con los diferentes objetos de la interfaz gráfica que los representan, para terminar se diseñará una pantalla de históricos para la visualización y el almacenamiento de los valores de las variables a corto plazo.

CAPÍTULO III.

PROPUESTA

En este capítulo se hace referencia a las variables necesarias para implementar en cada etapa del proceso de tratamiento de agua potable, en base a los lineamientos por parte del departamento de Producción de la EPMAPS y los usuarios del sistema SCADA.

En las etapas principales serán detalladas, la magnitud de las variables a medir, el equipo a utilizar y la función que realizan, para que el personal de operación tome decisiones en el proceso de potabilización de agua según sus requerimientos.

En la interfaz gráfica HMI, estas variables seleccionadas serán visualizadas, así como se ejecutará el control de los elementos de mando tales como: bombas centrífugas, relés y el actuador de ingreso. Todas estas variables son necesarias para tener un funcionamiento automatizado de la planta, con el objeto de mantener un control del proceso de potabilización confiable, continuo y tomar acciones respectivas en sus etapas principales.

3.1 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES

Las variables a medirse dependen de cada fase del proceso, en cada etapa se encuentran equipos instalados, sean que estén en funcionamiento o en deterioro.

En el caso de la creación de nuevas variables en cada fase, que requieran la instalación de equipos nuevos, estas variables son catalogadas como necesarias. Al final del levantamiento, esto dará la pauta para el diseño de las pantallas que componen la HMI de la aplicación. Por lo cual se ha definido en tres fases principales:

- Cámara de ingreso de agua cruda.
- Cámara de retrolavado.
- Cámara de salida y envío a las líneas de distribución.

3.1.1 Cámara de ingreso de agua cruda

La cámara de ingreso de agua cruda es donde inicia el proceso de potabilización las variables más importantes que se encuentran instaladas son:

- Regular caudal de ingreso (Actuador *Rotork* FCV300)
- Medir caudal de ingreso (Endress+Hauser FMU90)
- Instrumentación en línea medición de turbiedad agua cruda (Hach GLI)

.Actuador Rotork FCV-300

Para el control de caudal que se requiere para el proceso, se regula la posición de la válvula mediante un actuador eléctrico, con el fin de aumentar o disminuir el caudal de ingreso, según las necesidades del operador y las condiciones del proceso.

En la planta de tratamiento Conocoto se encuentra instalado, el actuador eléctrico Rotork, el cual se encuentra ubicado unos 200 metros fuera de las instalaciones de la planta, que mediante tubería transporta el agua cruda desde el canal del Pita hacia el ingreso a la planta. El control se realiza mediante el controlador programable PLC TSX Momentum, como se puede observar en la Figura. 3.1.



Figura. 3.1. PLC TSX Momentum
Fuente: Elaborado por el autor

La comunicación entre actuador Rotork y el PLC TSX Momentum se realiza mediante un radioenlace de radio frecuencia, con dos radios de marca Radwin en el rango de 5.1 a 5.4 GHz y un ancho de banda de 10 Mbps.

. Caudalímetro de ingreso Endress + Hauser FMU90

En la etapa de la cámara de ingreso, se realiza la medición del caudal de agua cruda la cual ingresa, al proceso de tratamiento por un canal abierto, donde un sensor ultrasónico realiza la medición, ver Anexo A (Prosonic S FMU90).

El caudalímetro Endress + Hauser FMU90, permite la medición de caudales en canales abiertos y vertederos, en el transmisor se visualizará el caudal de tratamiento de la planta, como se observa en la Figura. 3.2.



Figura. 3.2. Medidor de caudal Endress + Hauser
Fuente: Elaborado por el autor

. HMI Magelis

Para visualizar el posicionamiento del actuador Rotork se tiene como interfaz gráfica una pantalla touch llamada Magelis de Schneider Electric, ver la Figura. 3.3.



Figura. 3.3. Magelis
Fuente: Elaborado por el autor

.Instrumentación turbidímetro de agua cruda HACH GLI

Es importante que se visualice la variable de medición de turbiedad de agua cruda mediante la instrumentación en línea, con el fin de estar alerta en el sistema SCADA del cambio brusco de esta variable, en el ingreso de agua cruda.

El equipo medidor de turbiedad de agua cruda consta de un transmisor y un sensor. Actualmente la PTAP de Conocoto tiene instalado el equipo HACH GLI Model 53, el cual en las pruebas de funcionamiento, se percató que no funciona correctamente como se observa en la Figura. 3.4. tanto para realizar ajustes en la configuración y la calibración del sensor.



Figura. 3.4. Transmisor GLI MODEL53
Fuente: Elaborado por el autor

La propuesta de este equipo de instrumentación en esta etapa es realizar el remplazo del mismo, puesto que se consultó y se dispone en stock del equipamiento nuevo.

Una vez cambiado conectado, configurado y puesto en marcha se pedirá al Laboratorio de Calibración de la EPMAPS, se realice el ajuste y calibración del mismo.

3.1.2 Cámara de retrolavado

En esta etapa es necesario mantener un nivel de agua adecuado en las celdas del tanque de retrolavado. El nivel es importante ya que una altura adecuada permite realizar un buen retrolavado a los filtros colmatados, otro aspecto importante es no permitir que ingrese aire en las bombas del hidroneumático, las cuales proporcionan agua potable en las instalaciones de la planta como: laboratorio, baños, cocina entre otras.

Las variables más importantes en esta etapa son:

- Medir el nivel de las celdas del taque de retrolavado (Vantage 2200)
- Medir el nivel de las cámaras de distribución (Vantage 2200)
- Encendido y apagado de bombas centrífugas (PLCM221)

. Medidor de nivel transmisor Vantage 2200

Para medir el nivel en las celdas del tanque de retrolavado, se tiene instalado un equipo medidor de nivel con dos sensores ultrasónicos, tanto en el tanque de distribución como en el tanque de retrolavado se usa el equipo Vantage 2200 como transmisor y dos sensores ultrasónicos instalados en cada celda, ver Anexo C (VANTAGE 2200 Ultrasonic Flow & Level Meter).

El transmisor Vantage 2200, ubicado en el tanque de retrolavado no funciona correctamente, no se observan los niveles de las celdas del tanque de retrolavado, tal como se observa en la Figura. 3.5.



Figura. 3.5. Transmisor Vantage 2200 dañado en tanque de retrolavado
Fuente: Elaborado por el autor

Al no evidenciar los niveles de las celdas del tanque, los operadores realizan el control de nivel de forma manual a través de una manguera, como se muestra la Figura. 3.6.



Figura. 3.6. Medidor de nivel mediante manguera
Fuente: Elaborado por el autor

El equipo Vantage 2200 instalado en la cámara de salida, para el envío de las cámaras San Juan y Santa Mónica se encuentra funcionando correctamente.

La propuesta en la cámara de retrolavado, es cambiar el equipo transmisor, ya que se cuenta con otro equipo. Se realizará la instalación, la configuración y la contrastación con las lecturas reales.

El tanque de retrolavado al tener vasos comunicantes, en las celdas no existe diferencias de altura cuando se realiza el bombeo por lo cual se le configurará al equipo únicamente para un sensor ultrasónico. El fin es instalar una boya como respaldo para el control del bombeo tanto para el vaciado y llenado del tanque, es necesario un dispositivo de fácil mantenimiento, costo que realice los avisos al PLC cuando se debe encender y apagar las bombas de impulsión.

. Bombas centrífugas de impulsión

Las bombas centrífugas de impulsión son de 20 HP están instaladas una bomba para cada cámara del tanque de distribución, por lo cual siempre funcionará una a la vez y la otra bomba estará en modo respaldo. La Figura. 3.7. muestra las bombas de impulsión.



Figura. 3.7. Bomba centrífuga
Fuente: Elaborado por el autor

La Tabla. 3.1. muestra las especificaciones técnicas de las bombas de impulsión, las características son las mismas en ambas cámaras del tanque de distribución ya que las

bombas son idénticas.

Tabla. 3.1. Especificaciones técnicas bomba centrífuga

BOMBA CENTRÍFUGA	
HP	20
RPM	175
Voltaje	208-230/460 VOLTS
Corriente	63-48/24.0 AMPS
Fases	3
Factor de poder	87.5

Fuente: Elaborado por el autor

3.1.3 Cámara de salida y envío de líneas de distribución

En el tanque de distribución se considera importante para el operador, el monitoreo de niveles de cada celdas del tanque de almacenamiento y los caudales que se envían mediante las tres líneas de distribución. Así también para el control de calidad del agua que se está enviando continuamente a la población, es necesario disponer de instrumentación en línea de medición de turbiedad y cloro residual para agua tratada.

Las variables más importantes en esta etapa son:

- Medir el caudal enviado a las tres líneas de distribución (Promag 50)
- Medir el nivel de las cámaras de distribución (Vantage 2200)
- Medir turbiedad del agua tratada (Hach SC200)
- Medir el cloro residual del agua tratada (Microchem2)

.Caudalímetros de envío a la red de distribución

Las líneas de envío a distribución son: San Juan, Santa Mónica y Ontaneda Alta las cuales poseen instalados tres caudalímetros electromagnéticos Promag 50-52 de la marca Endress+Hauser en las tuberías de envío.

Es necesario visualizar del caudal y el volumen, a través del totalizador se registran los metros cúbicos que se envían diariamente, el totalizador es la suma del caudal instantáneo, este se genera al dejar pasar 1000 l/s equivalente a 1 m³.

Esta información es muy importante para conocer la cantidad de m³ que se envía diariamente por las tres líneas de distribución hacia la población, además esta información tanto los caudales y volúmenes se utilizan para realizar los informes de producción y facturación a los clientes. En la Figura. 3.8. se puede observar los transmisores instalados en un tablero de control, donde se concentra las señales de los tres caudalímetros.



Figura. 3.8. Transmisores de las líneas de envío de agua potable
Fuente: Elaborado por el autor

. Caudalímetro electromagnético Endress+Hauser Promag 50

Para la medición de caudal en las tuberías de distribución, se utiliza un medidor electromagnético, modelo Proline Promag 50 de ENDRESS+HAUSER (ver Anexo B), el equipo utiliza como sensor un Promag W, tal como se puede ver en la Figura. 3.9.



Figura. 3.9. Sensor del caudalímetro de la línea San Juan Promag W
Fuente: Elaborado por el autor

. Transmisor Endress+Hauser Promag 50

El transmisor es un conversor remoto con excelente confiabilidad y facilidad de operación, con experiencia comprobada en campo. El Promag 50 emplea un indicador LCD, para facilidad de su configuración y mantenimiento, como se observa en la Figura. 3.10.



Figura. 3.10. Transmisor Promag 50
Fuente: (Technical Information Proline Promag 50, 2020)

La Tabla. 3.2. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del caudalímetro electromagnético Promag 50 (ver Anexo B). Las dos tuberías de envío que son: las líneas San Juan y Santa Mónica usan el mismo sensor, la única diferencia es entre el transmisor de la línea San Juan que es el Promag 52 y el de la línea Santa Mónica es el Promag 50, pero sus características en esencia son idénticas.

Tabla. 3.2. Especificaciones técnicas Promag 50

CAUDALÍMETRO PROMAG 50	
Rango de medida	0,01 to 10 m ³ /s
Sensor	Promag W
SALIDAS (Outputs)	
Corriente salida	Active: HART 4-20 mA; Passive: 4-20mA
Pulso/Frecuencia de salida	Active: 30 VDC, 250 mA Frecuencia: 2 a 1000 Hz (fmáx= 1250Hz)
Totalizadores	(2) Totalizador sumador instantáneo

Fuente: (Technical Information Proline Promag 50, 2020)

. Niveles de las cámaras de distribución

El tanque de distribución tiene dos cámaras de distribución las cuales son la cámara San Juan y Santa Mónica. Actualmente se encuentran instalados: 2 sensores ultrasónicos, que dan las señales al transmisor Vantage 2200, cada sensor determina el nivel independiente de cada celda, puesto que no tienen vasos comunicantes y el comportamiento de cada celda es distinto, que van de acuerdo al consumo de la población.

El valor de nivel de las cámaras, son condiciones importantes para el bombeo de agua potable hacia el tanque de retrolavado, ya que la celda que contenga un buen nivel, de esta se podrá bombear para seleccionar el uso de esta bomba.

El sistema de monitoreo de nivel consta de un transmisor (Vantage 2200) y dos sensores ultrasónicos (FB2) ver Anexo B, como se puede observar en la Figura. 3.11.

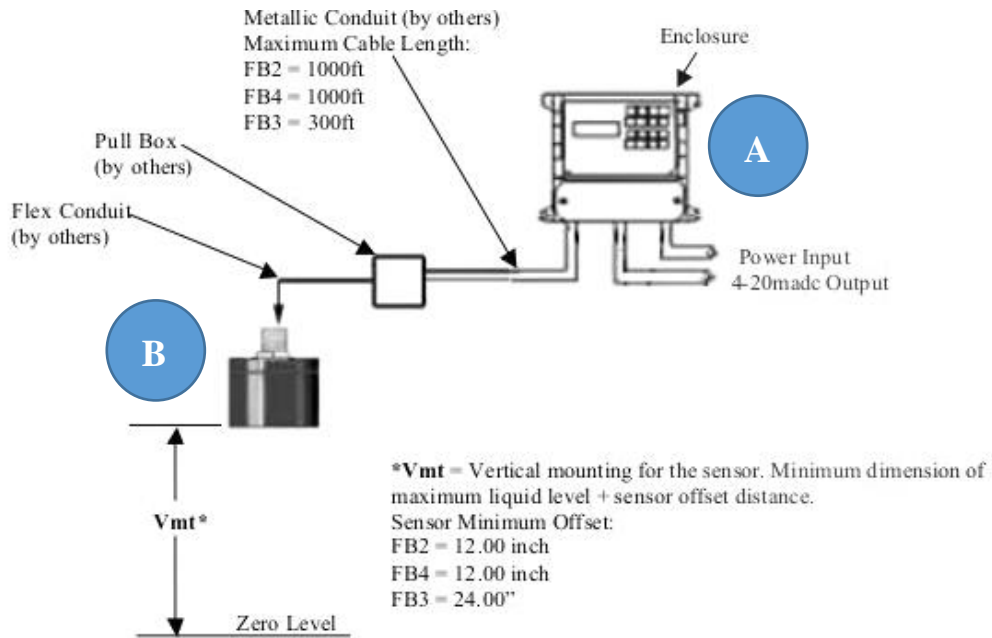


Figura. 3.11. Sistema de detección de nivel (A) Transmisor (B) Sensor
Fuente: (Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter, 2008)

. Transmisor VANTAGE 2220

El Eastech Vantage 2200 es un medidor de nivel, de canal dual, utiliza 2 sensores ultrasónicos (ver Figura. 3.12.), es utilizado para medir nivel y flujo en canales abiertos. Posee internamente un datalogger o registrador. Su pantalla alfanumérica de 20 caracteres, la hace fácil de leer y su interacción de programación, basada en menús (Eastech, 2018).



Figura. 3.12. Transmisor Vantage 2200
Fuente: (Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter, 2008)

La Tabla. 3.3. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del transmisor Vantage 2200, el detalle de las especificaciones ver Anexo C.

Tabla. 3.3. Especificaciones técnicas Eastech Vantage 2200

EASTECH VANTAGE 2200	
Gabinete estándar	IP66 /NEMA4X
Medición	Nivel o caudal
SALIDAS (Outputs)	
Corriente salida	(2 Channel) 4-20mA
Puertos seriales	RS-232 (1200-38400 Baud, Modbus RTU) RS-485 (Optically isolated, Modbus RTU)
Relés	(5) Relays 120VAC/0.25A 24VDC/0.5A

Fuente: (Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter, 2008)

.Sensor Ultrasónico FB2

El sensor de nivel FB2 como se observa en la Figura. 3.13. está diseñado para funcionar con el transmisor VANTAGE 2220. En su interior el sensor incorpora un cristal piezoeléctrico y un compensador de temperatura dentro de la carcasa.



Figura. 3.13. Sensor ultrasónico de la cámara Santa Mónica
Fuente: Elaborado por el autor

La Tabla. 3.4. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del sensor FB2, el detalle de las especificaciones ver Anexo C.

Tabla. 3.4. Especificaciones técnicas sensor FB2

FB2 Sensor ultrasónico	
Aplicación	Nivel-flujo
Rango	0-15 ft (0-4.57 m)
Exactitud	+/- 0.02 " o +/-0.05%
Frecuencia de Operación	51 kHz
Distancia de cable	Distancia estándar: 30,100,200 ft Distancia especial: 200 hasta 1000 ft como máx.
Temperatura	-40 °F - 158 °F (-40 °C a 70 °C)

Fuente: (Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter, 2008)

.Instrumentación cámara de salida.

Las normas de calidad del agua potable obliga a realizar mediciones con una cierta frecuencia de dos parámetros importantes que son: la turbiedad y el cloro libre residual estos parámetros garantizan la calidad del agua y una correcta desinfección.

Por lo expuesto es necesario garantizar mediciones continuas por parte de instrumentación en línea que confirmaran las mediciones realizadas en campo por parte del personal operativo. Actualmente la PTAP Conocoto posee instalado un equipo medidor de turbiedad de agua tratada, pero en el parámetro de determinación de cloro libre residual, no posee ningún equipo de instrumentación instalado.

.HACH SC200 Turbidímetro de agua tratada

El medidor de turbiedad permite determinar la turbidez causada por sólidos suspendidos, es utilizado en plantas de tratamiento de agua potable, sistemas de suministro

de agua, con el fin de monitorear la calidad de la turbiedad del agua que está fluyendo por una tubería. En la Figura. 3.14. se muestra el sistema de medición de turbiedad compuesto por el transmisor y el sensor.

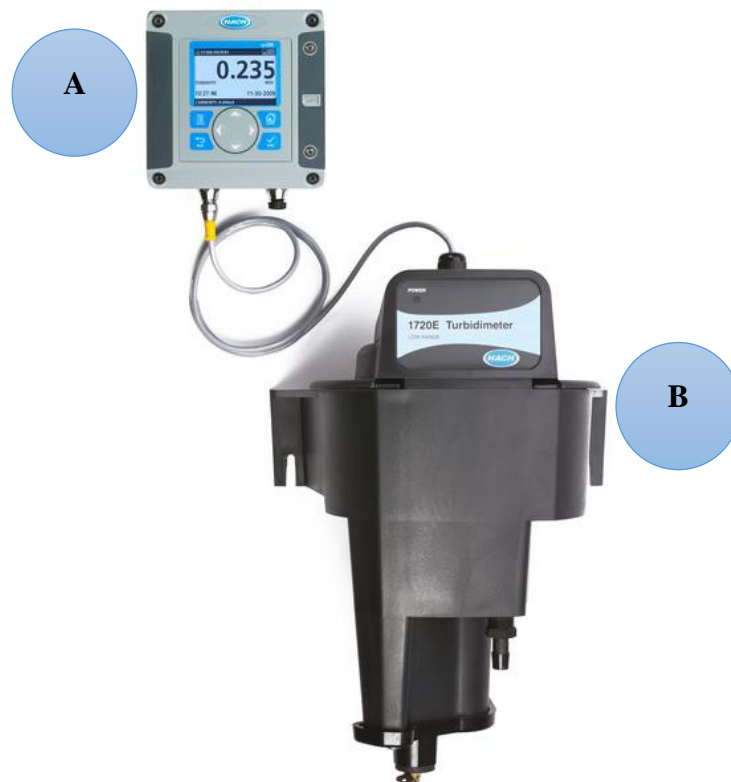


Figura. 3.14. (A) Transmisor SC200 y (B) Turbidímetro 1720E
Fuente: (Thermalscientific, 2020)

. Transmisor HACH SC200

El controlador Hach SC200, permite el uso de sensores digitales y analógicos. Funciona mediante un microprocesador que procesa las señales del sensor y muestra los valores medidos continuamente.

El controlador puede configurarse y utilizar dos sensores que midan a la vez, el equipo permite ser parametrizado con facilidad.

La Figura. 3.15. muestra el transmisor SC200 instalado en la tubería de la línea de Santa Mónica de la cámara de salida.



Figura. 3.15. Controlador Hach SC200

Fuente: Elaborado por el autor

La Tabla. 3.5. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del controlador de sensores HACH SC200, el detalle de las especificaciones ver Anexo E.

Tabla. 3.5. Especificaciones técnicas Controlador SC200

HACH SC200	
Alimentación	AC (100-240) VAC / 50-60 Hz DC (24 VDC)
Temperatura de funcionamiento	-20 a 60°; 95% humedad relativa
Salidas	(2) Salidas Analógicas: 0-20 mA/4-20 mA
Comunicación	Modbus (RS232, RS485), Profibus DPV1 o HART, con módulos externos.

Fuente: (User Manual SC200 Controller, 2016)

. Sensor 1720E

El sensor 1720E mide la turbidez su funcionamiento es dirigir un fuerte haz de luz desde el sensor hasta la muestra sumergida en el cuerpo del equipo.

La cantidad de luz dispersada es proporcional a la turbidez de la muestra, si la turbidez de la muestra es despreciable, poca luz será dispersada y detectada por la fotocélula y la lectura de turbidez será baja, tal como se observa en la Figura. 3.16.

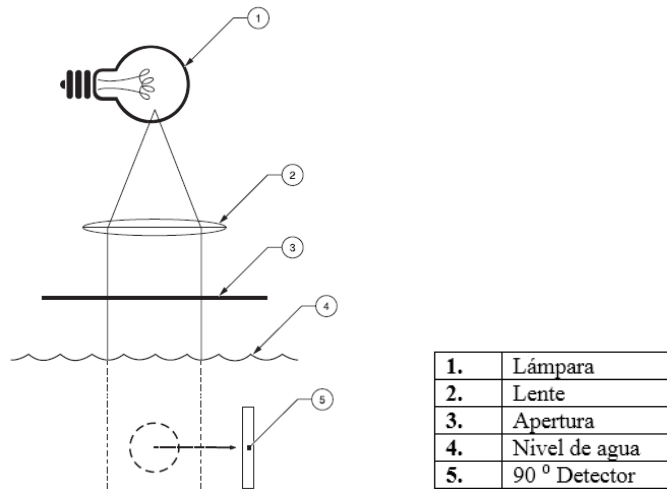


Figura. 3.16. Principio de funcionamiento del sensor 1720E
Fuente: (1720E Low Range Turbidimeter User Manual, 2016)

La Tabla. 3.6. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del turbidímetro 1720E de bajo rango, el detalle de las especificaciones ver Anexo E.

Tabla. 3.6. Especificaciones técnicas Turbidimeter 1720E

1720E Low Range Process Turbidimeter	
Temperatura de la muestra	0 - 50 °C para un sistema de un sensor
Humedad	-5 – 95% No condensada
Rango de medición	0 - 100 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU)
Unidades de medida	NTU, mg/l, TE/F, FTU, Degree
Método de calibración	1. StablCal; 2. Formazin; 3. Multi sensor calibration
Caudal de muestra	250-750 ml/min

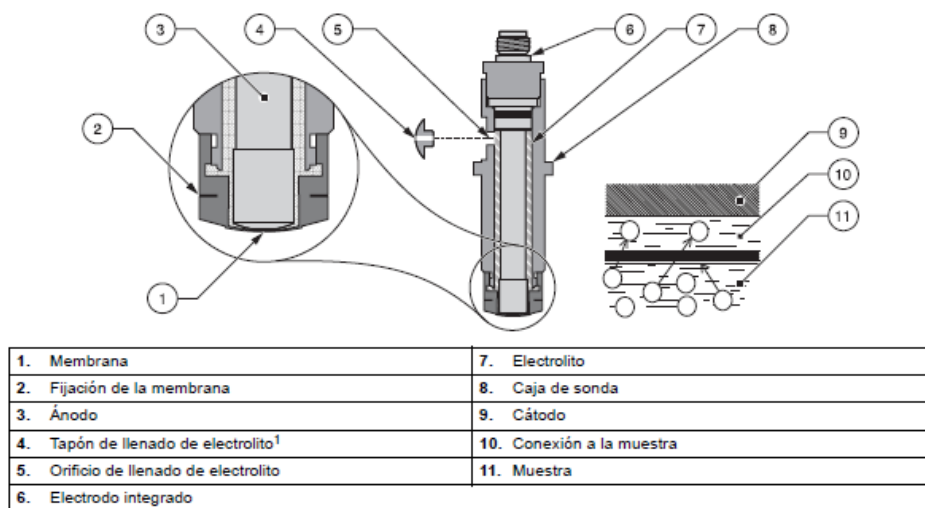
Fuente: (1720E Low Range Turbidimeter User Manual, 2016)

. Analizador y Transmisor de Cloro Residual MicroChem 2

En una planta de potabilización es importante medir el cloro residual libre en el agua tratada, ya que garantiza la etapa de desinfección del proceso de tratamiento, el rango de cloro residual es normado a nivel nacional por la norma INEN 1108, quinta revisión.

El transmisor y analizador de cloro residual MicroChem 2, está diseñado para la medición de parámetros como: cloro, pH, oxígeno disuelto, dióxido de cloro, bromo, flúor, ozono, conductividad y temperatura. Es un analizador en línea, el cual mide el cloro libre residual en instalaciones como plantas de tratamiento de agua potable, redes de distribución y otras aplicaciones que requieren la supervisión de cloro libre en el nivel de ppm y ppb.

El instrumento utiliza un procedimiento amperométrico para la medición de la concentración HOCl. Una membrana difunde selectivamente las moléculas de HOCl al sensor amperométrico. Se compensa la influencia del valor pH y de la temperatura en el valor de medición, como se observa en la Figura. 3.17.



¹ Mediante un pequeño orificio en el tapón, el instrumento puede mantener una presión constante incluso en caso de modificarse la presión de entorno.

Figura. 3.17. Principio de funcionamiento de un analizador de cloro residual
Fuente: (Manual Hach, 2016)

La Tabla 3.7. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del controlador Microchem 2, el detalle de las especificaciones ver Anexo E.

Tabla. 3.7. Especificaciones técnicas Microchem 2

Microchem2	
Voltaje	110/220 AC +10%, 50/60 Hz
Temperatura de la muestra	2 - 45 °C
Rango de medición	0-20 mg/l como ácido hipocloroso (HOCl)
Rango de Ph	4-8
Comunicación Serial	RS485-RS232
Método de calibración	1. KC400 Cell or CL4000 Probes; 2. Points (2)
Caudal de muestra	0,25 l/h (200 a 250 ml/min)

Fuente: (Manual técnico MicroChem 2, 2018)

Una vez definido las variables, se verifican los equipos existentes que están instalados y se encuentran funcionando, de los cuales se conoce las interfaces de comunicación o las salidas que se pueden utilizar para ingresar al PLC de nuestra elección.

En algunas fases se realizará la reposición de equipo que no esté funcionando adecuadamente. En la Tabla. 3.8. se indica la etapa del proceso y su equipamiento, si es necesario remplazo de equipos o la instalación de un equipo nuevo, para cumplir con todas las variables necesarias para el control del proceso de potabilización.

En el caso particular de la cámara de salida, donde están los caudalímetros de envío de las tres líneas de distribución, las señales analógicas van hacia un módulo GPRS para su procesamiento por el Departamento de Perdidas Físicas, en este caso es necesario duplicar la señal de 4-20 mA, mediante duplicadores de señal analógica.

Tabla. 3.8. Equipos de cada fase del sistema SCADA y su estado

SISTEMA SCADA				
ÁREA O FASE	EQUIPO	SEÑAL	MAGNITUD	ESTADO/TRABAJO
INGRESO DE AGUA CRUDA	1. Actuador Rotor K	Modbus TCP/IP	Register	Bueno
	2. Caudalímetro ultrasónico FMU90	Modbus TCP/IP	Register	Bueno
	3. Turbidímetro GLI	(1) Entrada analógica	4-20 mA	Cambio de transmisor
CÁMARA DE RETROLAVADO	1. Vantage 2200, 1 sensor	(1) Entrada analógica	4-20 mA	Cambio de transmisor
	2. Boya	(1) Entrada discreta	BOOL (24VDC)	Eq. Nuevo instalación
	3. Bombas centrífugas	(2) Salida discreta	BOOL (110VAC)	Reingeniería
CÁMARA DE SALIDA Y ENVIÓ A LA RED DISTRIBUCIÓN	1. Caudalímetro Promag 50	(1) Entrada analógica	4-20 mA	Duplicadores
	2. Caudalímetro Promag 52	(1) Entrada analógica	4-20 mA	Duplicadores
	3. Caudalímetro Yokowaga	(1) Entrada analógica	4-20 mA	Duplicadores
	4. Vantage 2200, dos sensores	(2) Entradas analógicas	4-20 mA	Bueno
INSTRUMENTACIÓN CÁMARA DE SALIDA	1. Controlador HACH SC200	Red Modbus serial RTU	Holding Register	Módulo nuevo
	2. Controlador Microchem 2	Red Modbus serial RTU	Holding Register	Eq. Nuevo instalación

Fuente: Elaborada por el autor

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA EN HARDWARE

La propuesta es adquirir los equipos que no están funcionando, seguidamente instalar los equipos nuevos, establecer los ductos o mediante tuberías conduit guiar su cableado.

Por la facilidad en el tablero existente se puede concentrar la mayor parte de las señales, llevar todo el cableado para convertirlo en el tablero de control principal

Para la selección del PLC, este debe soportar los protocolos de comunicación TCP/IP, protocolo Modbus serial RTU y el número de entradas/salidas digitales necesarias para la implementación del proyecto.

3.2.1 PLC TM221CE16R

La familia Modicon M221 de Schneider Electric es de gama media, es un PLC de tipo modular. Soporta los protocolos de comunicación TCP/IP mediante un puerto Ethernet con conector RJ45, tiene comunicación Modbus serial con interfaz RS232/RS485 y conector RJ45 (ver Anexo D). En la Figura. 3.18. se puede observar el PLC TM221CE16R.



Figura. 3.18. Modicon TM221CE16R
Fuente: (Ficha Técnica TM221CE16R, 2019)

La Tabla. 3.9. muestra las especificaciones técnicas más relevantes del PLC Modicon TM221CE16R.

Tabla. 3.9. Especificaciones técnicas PLC M221CE16R

MODICON M221CE16R	
Entradas digitales	9 entradas discretas normales
Tensión de entrada digital	24VDC
Salidas digitales	7 salidas de relé normalmente abierto
Entradas analógicas	2 entradas analógicas (0-10V)
Tensión de salida digital	5-125 VCC / 5-250 VCA
Corriente de salida	2 A
Fuente de Alimentación	De 100 a 240 VCA
Protocolo de puertos de comunicación	1 puerto de línea serie, Modbus serial RTU/ASCII 1 puerto USB de programación SoMachine 1 puerto Ethernet Protocolo

Fuente: (Ficha técnica TM221CE16R, 2020)

El Modicon M221 permite añadir módulos de expansión tanto de entradas digitales/analógicas o salidas digitales/analógicas. Por lo expuesto y en base al número de variables analógicas que necesita leer en nuestro PLC, es necesario la adquisición de dos módulos de entradas analógicas.

Los módulos de entradas y salidas analógicas que se utilizará, corresponden a la familia de TM3 y TM2 Analog I/O Modules.

3.2.2 Módulo TM3AM6/G

Pertenece a la familia Modicon TM3. El módulo TM3AM6G es un módulo de ampliación de 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas de tipo:

- Para tensión de: 0-10 V, -10V - +10V
- Para corriente de: 4-20 mA, 0-20 mA

Tiene un bloque de terminales extraíbles de tipo tornillo, tal como se observa en la Figura. 3.19. que muestra el módulo TM3AM6/G, ver Anexo D.



Figura. 3.19. Módulo TM3AM6G
Fuente: (Ficha técnica TM3AM6G, 2020)

3.2.3 Módulo TM2AMI4LT

Pertenece a la familia Modicon TM2 y M238. El TM2AMI4LT es un módulo de ampliación de 4 entradas de voltaje, analógicas y temperatura no diferencial. La Tabla 3.10. muestra las prestaciones de las 4 entradas analógicas.

Tabla. 3.10. Especificaciones técnicas TM2AMI4LT

TM2AMI4LT	
4 ENTRADAS ANALÓGICAS	
Voltaje	0-10 V
Corriente	0-20 mA
Temperatura	PT100 de 3 hilos
	PT1000 de 3 hilos
	NI100 de 3 hilos
	NI1000 de 3 hilos

Fuente: (Ficha técnica TM2AMI4LT, 2019)

Tiene un bloque de terminales extraíbles de tipo tornillo; tal como se observa en la Figura. 3.20. que muestra el módulo TM2AMI4LT, ver Anexo D.



Figura. 3.20. Módulo TM2AMI4LT
Fuente: (Ficha técnica TM2AMI4LT, 2019)

Una vez definido el PLC y los módulos de ampliación necesarios, se cuenta con todo el hardware necesario para realizar la implementación.

3.2.4 Interfaz HMI Wonderware InTouch 2014 R2

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se ha utilizado el software Wonderware InTouch 2014 R2 (ver Figura. 3.21.), se escogió este paquete por sus extensas librerías gráficas de procesos industriales, pero principalmente en la EPMAPS todos los procesos se ejecutan en esta plataforma por su gran acogida a nivel mundial en los procesos industriales.



Figura. 3.21. Wonderware InTouch 2014 R2
Fuente: Elaborado por el autor

Para que InTouch pueda ejecutar tanto para diseñar y ejecutar la aplicación, es necesario el uso de una computadora para trabajar como interfaz HMI.

En esta computadora se hará una instalación compacta de todos los paquetes que componen el InTouch 2014 R2, con el fin de tener todas las librerías industriales y posteriormente se pueda ejecutar la aplicación diseñada, es necesario que la PC, cumpla con los requisitos mínimos de hardware y de sistema operativo (Viteri & Yancey, 2013).

Para la instalación del sistema, se requiere contar con:

- Procesador Dual Core, 2 GHz o de mayor velocidad
- Memoria RAM de 2 GB o mas
- Disco duro de 500 GB, como mínimo 4GB disponible en disco
- Tarjeta de red externa 10/100 Mb
- Pantalla monitor Super VGA, con una resolución mínima 1024*768 píxeles
- CDRom o DVD para leer Wonderware installation media
- Sistema operativo Windows 7,8 y 10 de 64bits

Es necesario para realizar la aplicación el uso de una licencia de Development (desarrollo) y para que ejecute el aplicativo una licencia de runtime (ejecución), que viene en el paquete del software licenciado.

La licencia física se observa en la Figura. 3.22. es una licencia de desarrollo para una aplicación de un máximo de 1000 Tags.



Figura. 3.22. License Development Studio 2014R2 1000 Tags
Fuente: Elaborado por el autor

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA EN SOFTWARE

3.3.1 Software SoMachine Basic 1.6 para PLC M221

Para el desarrollo del sistema de control se debe configurar y programar el PLC M221, mediante el software SoMachine Basic 1.6 SP2 de propiedad de Schneider Electric, como se puede observar en la Figura. 3.23.

El software SoMachine Basic es un software gratuito y no se necesita adquirir una licencia, por lo cual se tiene una ventaja para programar el PLC.

Los requisitos mínimos del sistema para instalar el software SoMachine Basic son:

- Procesador Intel Core 2 Duo o superior
- 1 GB de RAM
- Resolución de pantalla de 1280 × 768 píxeles o superior
- Versión de 32 o 64 bits de uno de los siguientes sistemas operativos:
 - Microsoft Windows 7
 - Microsoft Windows 8
 - Microsoft Windows 8.1
 - Microsoft Windows 10

Para crear un programa de control de un controlador lógico de la familia M221, se debe escribir una serie de instrucciones, en uno de los lenguajes de programación que son:

- Lenguaje de diagrama de contactos
- Lenguaje de lista de instrucciones
- Grafcet (Lista)
- Grafcet (SFC)



Figura. 3.23. SoMachine Basic 1.6 SP2
Fuente: Elaborado por el autor

3.3.2 Software InTouch 2014 R2

In Touch es un paquete de software utilizado para crear aplicaciones de interfaz Hombre-Máquina en una PC. El paquete se compone de dos elementos importantes: WindowMaker y WindowViewer.

.WindowMaker (WM)

Es el sistema de desarrollo donde se puede crear pantallas para representar un proceso industrial. Permite todas las funciones necesarias para crear ventanas interactivas, posee librerías de iconos, librerías industriales, imágenes prediseñadas, gráficos y galería de herramientas para diseñar la interfaz, como se muestra en la Figura. 3.24.

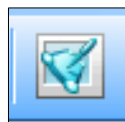


Figura. 3.24. Icono WindowMaker
Fuente: Elaborado por el autor

WindowMaker permite crear animaciones interactivas en la pantalla del proceso general o en el diseño de pantallas auxiliares, para las etapas del proceso.

.WindowViewer (WV)

Es el sistema de runtime, utilizado para ejecutar toda la aplicación o grupo de pantallas que fueron creadas en el WindowMaker, como se observa en la Figura. 3.25.

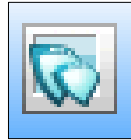


Figura. 3.25. Icono WindowViewer
Fuente: Elaborado por el autor

.Librerías gráficas

En el diseño de las pantallas se utilizó gráficos de las librerías de InTouch, para lo cual se usa las herramientas Symbol Factory 1.1.25 y Archestra Graphic Toolbox, como se puede observar en la Figura. 3.26.



Figura. 3.26. Iconos de librerías Archestra Graphic Toolbox
Fuente: Elaborado por el autor

Estas librerías contienen iconos gráficos de procesos industriales con más de 4000 objetos de manufactura y de procesos tales como: bombas, válvulas, selectores, switch, botones, motores, tanques, tuberías, equipos de medición y control, ver Anexo G.

.Eventos y alarmas

En la creación de los TAG se puede definir las variables valores límites tanto en alto y bajo estado que puede tomar el sistema SCADA, con el fin de generar alarmas.

.Históricos

InTouch permite crear históricos, donde se visualiza el valor de las variables de días anteriores, esta información es necesaria para el operador o la persona que supervisará el proceso de tratamiento. Además se puede generar reportes y se los puede configurar a intervalos de tiempos específicos, por horas, días, o semanas, el fin es recolectar información de la producción de la PTAP de Conocoto.

La aplicación puede exportar los reportes históricos a otros paquetes informáticos como Excel, Access todo depende de la configuración del HMI, cada acción que ejecute el operador y los valores de las variables, son grabada en un archivo histórico por fecha, hora y la descripción del tag.

.Seguridad

InTouch permite poner seguridades en la aplicación o sus segmentos (pantallas auxiliares), es decir se puede restringir ciertas pantallas o áreas de control del HMI. Esta seguridad permite la identificación de la persona que va acceder al sistema y segregarlos.

3.4 ARQUITECTURA DE LA RED

El diseño de la arquitectura de la red, se usó el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP (cliente /servidor), como red Ethernet para la comunicación de los PLCM221CE16R, PLC TSX Momentum, la HMI Magelis y las pantallas del HMI desarrollado en InTouch, como se puede observar la Figura. 3.27.

La red Modbus serial maestro/esclavo, tendrá un modo de transmisión RTU, por lo cual los dos equipos que poseen son: la instrumentación de la cámara de salida que son: el controlador HACH SC200, que mediante un módulo para interfaz RS-485, puede comunicarse con la red serial y el equipo de medición de cloro residual Microchem2 que incorpora en su tarjeta madre esta opciones de comunicación para interfaz RS232 y RS-485.

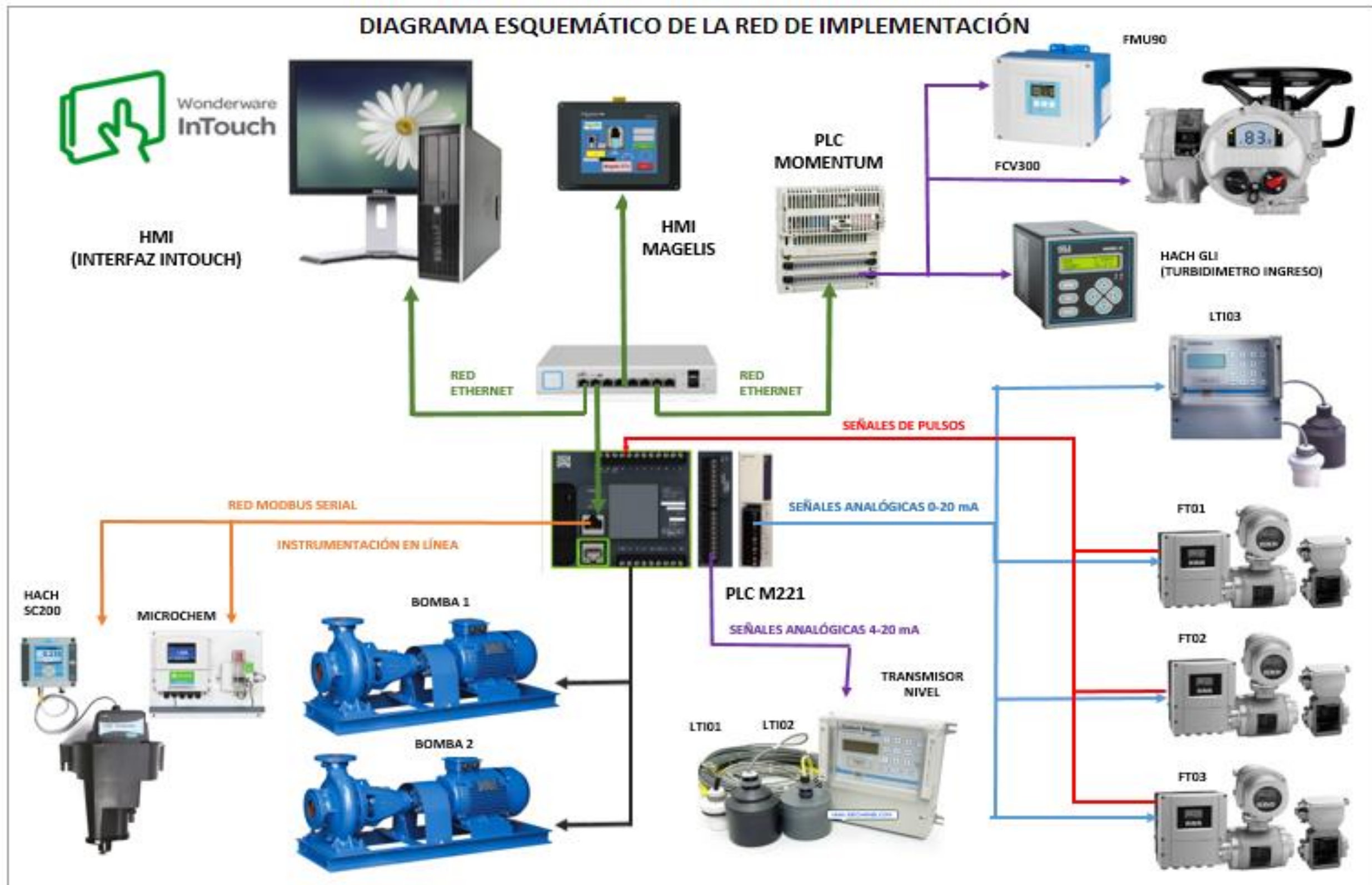


Figura. 3.27. Arquitectura de la red de implementación
Fuente: Elaborado por el autor

La red Modbus RTU, permite al PLC comunicarse con otros equipos que manejen este mismo protocolo de comunicación, para intercambiar registros de lectura y escritura.

El medio físico para la implementación de la red Modbus serial, será el cable apantallado de instrumentación de 2X16 AWG, posee 2 hilos y una tierra común.

La red Modbus TCP/IP, utilizará cable de par trenzado categoría 6, muy difundido en redes de la información. El direccionamiento de la red LAN se pedirá la autorización para el uso de tres direcciones IP para direccionar los siguientes equipos:

- PLC M221CE16R
- HMI (PC)
- PC ADMINISTRADOR

El diseño de la arquitectura de red y su modo de comunicación depende directamente de los equipos que se dispone y de la inserción de nuevos equipos para cumplir con todas las variables necesarias para automatizar y desarrollar el sistema SCADA.

Esta arquitectura propone monitorear el proceso de potabilización en cada fase, las cuales contienen sensores, medidores, instrumentación, controlar el encendido y apagado de las bombas de impulsión y el actuador de ingreso.

3.5 DESCRIPCIÓN Y DIRECCIONAMIENTO DE LAS VARIABLES

El PLC M221 posee entradas discretas las cuales se utilizaran para la habilitación del modo automático en el tablero de control principal y se propone para los totalizadores de los caudalímetros usar la función de pulsos que estos ofrecen, para lo cual es necesario cablear tres señales de pulsos hacia las entradas discretas del PLC.

Las salidas discretas sirven para habilitar el arranque y parada de las bombas de impulsión de las cámaras de envío de agua tratada.

Los módulos de ampliación de entradas analógicos se utilizarán para leer a los equipos de medición de nivel y caudalímetros de las líneas de envío a distribución.

La descripción de las variables y su direccionamiento que ingresaran al controlador y sus dos módulos de ampliación, se detallaran en la Tabla. 3.11.

Tabla. 3.11. Descripción y direccionamiento de las variables

TABLA DE VARIABLES DE CONTROL			
PLC TM221CE16R			
DESCRIPCIÓN	DIRECCIÓN	TIPO DE DATO	SÍMBOLO
Totalizador transmisor San Juan	%I0.2	Entrada digital	T1
Totalizador transmisor Sta. Mónica	%I0.3	Entrada digital	T2
Totalizador transmisor Ontaneda	%I0.4	Entrada digital	T3
Sensor boya	%I0.5	Entrada digital	BOYA
Habilita modo automático	%I0.6	Entrada digital	AUT
Bomba 1	%Q0.1	Salida digital	B1
Bomba 2	%Q0.2	Salida digital	B2
MÓDULO TM3AM6			
Sensor nivel cámara San Juan	%IW1.2	Entrada analógica	LTI01
Sensor nivel cámara Santa Mónica	%IW1.3	Entrada analógica	LTI02
MÓDULO TM2AMI4LT			
Caudalímetro línea San Juan	%IW2.0	Entrada analógica	FT01
Caudalímetro línea Santa Mónica	%IW2.1	Entrada analógica	FT02
Caudalímetro línea Ontaneda	%IW2.2	Entrada analógica	FT03
Sensor nivel tanque de retrolavado	%IW2.3	Entrada analógica	LTI03
SERIAL PORT			
Controlador HACH SC200	%READ_VAR0	Registro Modbus	TT02
Microchem 2	%READ_VAR1	Registro Modbus	CL01

Fuente: Elaborado por el autor

3.6 DISEÑO DE LA LÓGICA DE CONTROL

En el diseño de la lógica de control se identifica los condicionantes necesarios en cada fase del proceso de potabilización de agua potable en la PTAP de Conocoto.

Al tener tres etapas que tiene equipos, sensores, dispositivos de medición y un actuador es necesario estratificar en etapas los condicionales necesarios, para lo cual se puede desarrollar diagramas de flujo, que consideran que sucede en cada acción.

El proceso de potabilización de agua, se ha subdividido en tres etapas que son:

- Cámara de ingreso de agua cruda.
- Cámara de retrolavado.
- Cámara de salida y envío a las líneas de distribución.

Cada etapa tiene equipamiento diferente y el accionar de elementos finales de control, por lo cual se concluye que solo en las cámaras de ingreso y retrolavado existen elementos finales que requieren su accionamiento y control.

3.6.1 Lógica de control en la cámara de ingreso

La cámara de entrada se caracteriza principalmente por medir y controlar el caudal de ingreso de agua cruda que llega por canal abierto a la PTAP de Conocoto.

Primeramente se realiza el control del actuador Rotork, para después en la tubería de ingreso de la planta, medir el caudal a través de un caudalímetro ultrasónico FMU90, el cual mide el caudal instantáneo que atraviesa el canal de la cámara de ingreso.

Es necesario conocer el proceso de control y medición mediante el flujograma de la Figura. 3.28. el cual indica los procedimientos internos del sistema de control, esto sirve para conocer el funcionamiento del actuador y el proceso de lectura del caudalímetro FMU90.

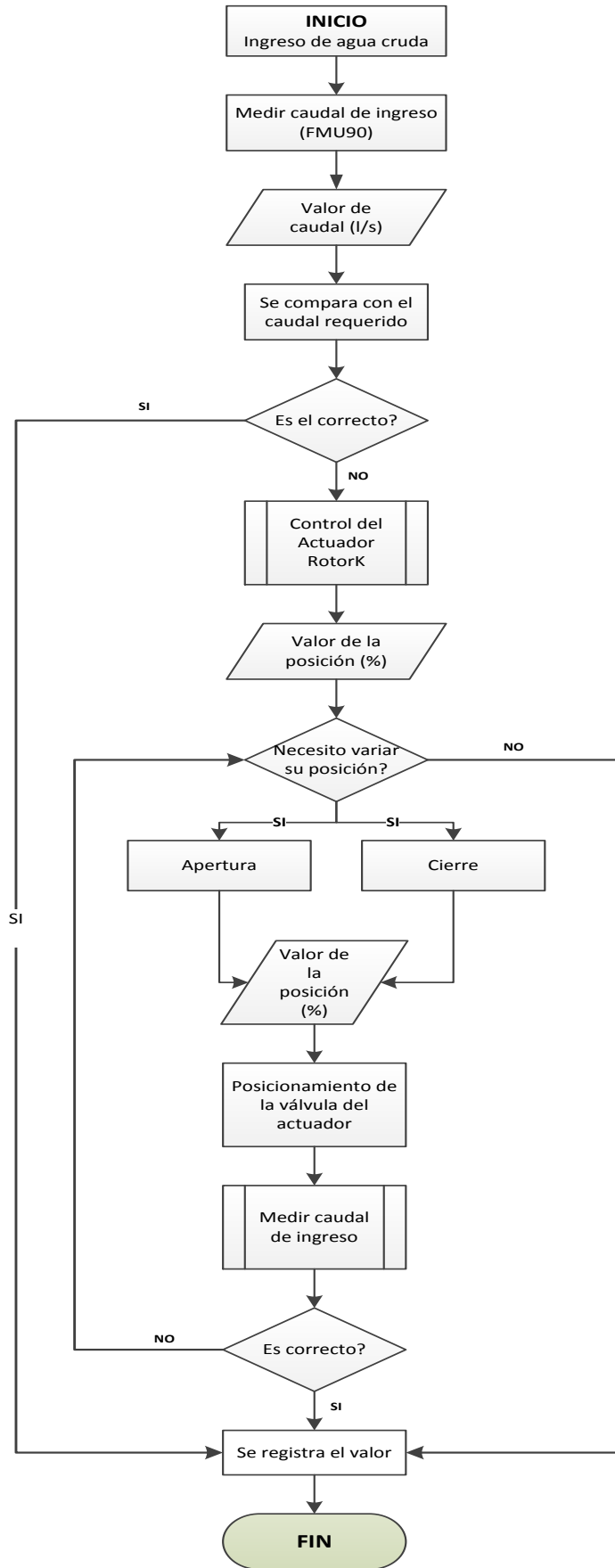


Figura. 3.28. Diagrama de flujo control del actuador Rotork
Fuente: Elaborado por el autor

En esta etapa, también se tiene la visualización del valor de medida del instrumento para medir la turbiedad de ingreso de agua cruda, esta señal será cableada por cable de instrumentación apantallado, el cual ingresará al PLC TSX Momentum y su lectura será mediante el escalamiento de esta señal en valores de corriente de 4-20mA.

El controlador GLI modelo T53, al ser un equipo de visualización no realiza una lógica de control, más bien es un indicador para que en la HMI, se pueda mostrar un mensaje o alerta en el caso que la turbiedad de ingreso aumente repentinamente en su valor registrado por el sensor.

3.6.2 Lógica de control en cámara de retrolavado

En resumen en esta cámara se realiza el bombeo de agua tratada de las cámaras de San Juan y Santa Mónica hacia el tanque de retrolavado.

El procedimiento para el bombeo, debe cumplir ciertos condicionantes necesarios. Inicialmente para proceder al bombeo se debe conocer el estado del nivel del tanque de retrolavado para tomar la decisión de bombear, este nivel debe estar en 1,0 metro o por debajo de este valor.

Para seleccionar de cual cámara de distribución, se puede realizar el bombeo, es necesario monitorear el nivel de dichas cámaras, es decir sea la cámara de San Juan o Santa Mónica la que tenga un nivel igual o superior a 1,50 metros, se puede iniciar el bombeo y llenado del tanque de retrolavado. Cabe recalcar que únicamente se puede encender una sola bomba a la vez. En la Figura. 3.29. se puede observar el diagrama de flujo, para el proceso de bombeo de agua hacia el tanque de retrolavado.

Para indicar que el proceso de bombeo ha finalizado, es necesario conocer el nivel del tanque de retrolavado, este debe llegar a la altura máxima de 2,50 metros este nivel es considerado como máximo sino desbordará el agua por las cámaras de exceso del tanque.

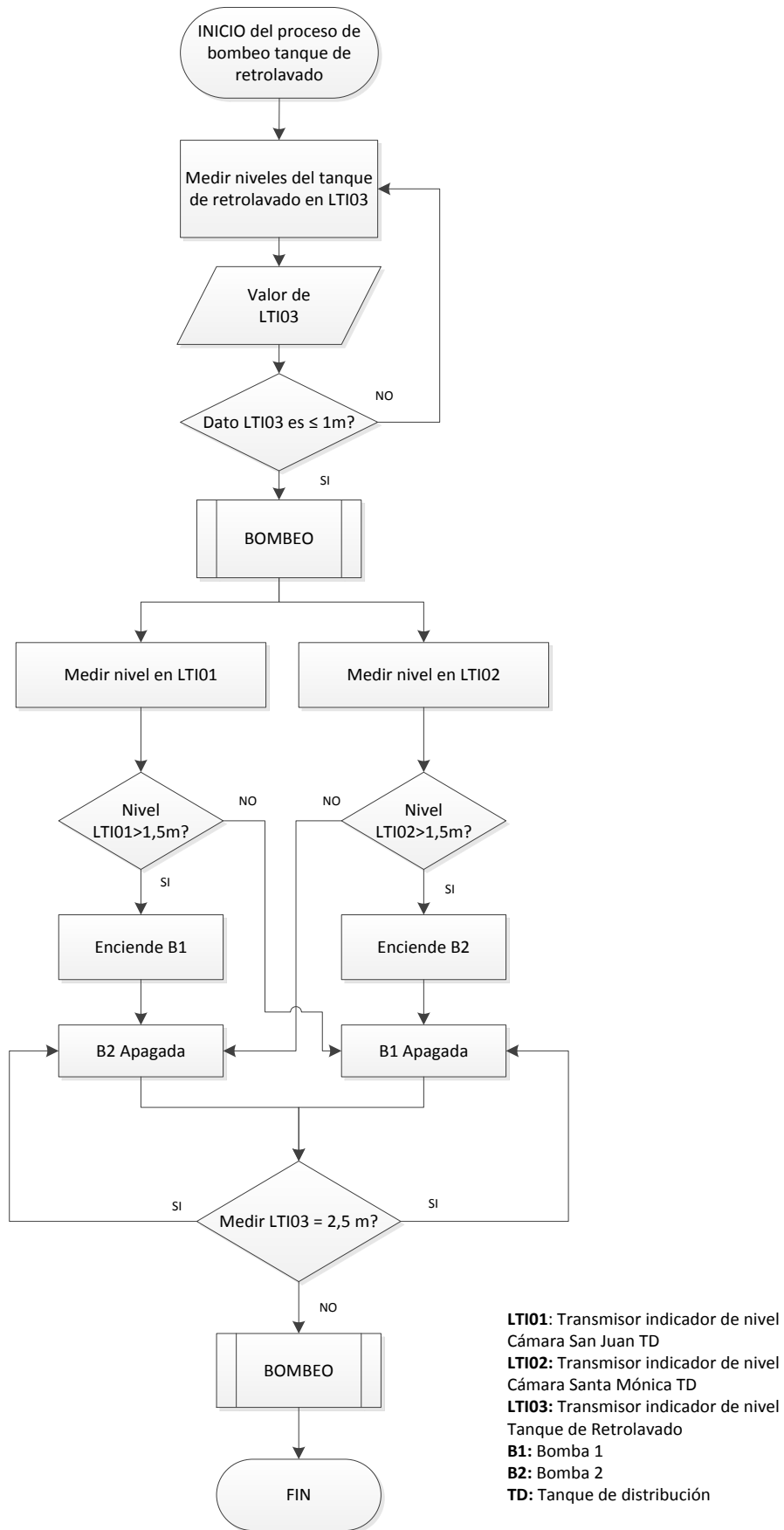


Figura. 3.29. Diagrama de flujo proceso de bombeo al tanque de retrolavado
Fuente: Elaborado por el autor

3.6.3 Lógica de control en cámara de salida y envío a las líneas de distribución.

En esta etapa se tiene la visualización de los niveles de las cámaras de distribución y su envío por las tuberías de la línea de San Juan, Santa Mónica y Ontaneda, por lo cual no se necesita tener una lógica de control únicamente en el caso de necesitar una mayor altura en las cámaras, se maniobrarán manualmente las válvulas y es necesario que el operador realice la regulación tanto para cerrar o abrir dichas válvulas.

Para la red de instrumentación del control de calidad de turbiedad y cloro residual del agua tratada es netamente su visualización, pero es importante que en la pantalla del HMI se muestren alertas o mensajes, cuando estos parámetros aumenten bruscamente el valor medido por el sensor.

3.7 DISEÑO DE CIRCUITO DE CONTROL

El diagrama de control se basa en un sistema de control de lazo cerrado con retroalimentación, debido a que la salida ejerce un control en el sistema.

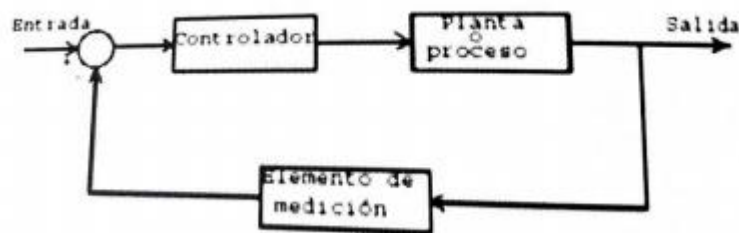


Figura. 3.30. Esquema general de un sistema de control de lazo cerrado
Fuente: (Escalona Hernández & Morillo Pozo, 2017)

Actualmente para el bombeo de agua hacia el tanque de retrolavado, el operador debe ir al tablero de control principal y según la verificación física de los niveles, él toma la decisión de encender cualquier de las dos bombas de las cámaras, la bomba que se encienda pertenece a la cámara que mejor nivel tenga en ese momento. Este procedimiento es manual y requiere que el operador se dirija al tablero. La propuesta del sistema SCADA es que esta actividad se realice remotamente desde la sala de control y mediante la interfaz HMI,

visualizará los niveles de las cámaras y se tomará la decisión de que bomba se va a encender, en el caso que se pierda comunicación con el HMI o exista algún inconveniente se mantiene el arranque manual desde el tablero principal y los pulsadores.

La interfaz HMI envía las peticiones al PLC, el cual ejecuta dentro de su programación las sentencias y activa los dispositivos finales para encender o apagar una bomba. En base a lo mencionado, es necesario realizar un rediseño del diagrama de control eléctrico del tablero principal, el cual se lo puede observar en la Figura. 3.31.

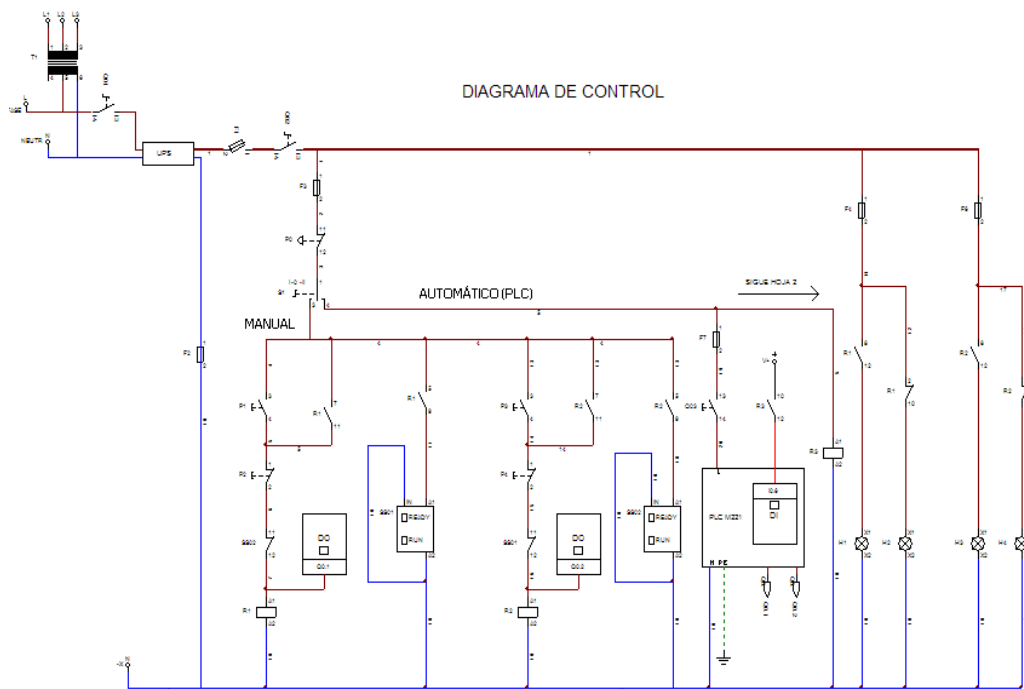


Figura. 3.31. Diagrama de control
Fuente: Elaborado por el autor

En el Anexo A, se puede observar más detalladamente el plano eléctrico de control en modo manual y automático, el diagrama de control contiene dos hojas.

3.8 DISEÑO DE CIRCUITO DE FUERZA

El circuito de fuerza se mantiene con los siguientes dispositivos:

- El disyuntor
- El guardamotor CAT140-CMN

- El arrancador suave SMC-3
- La bomba

En la Figura. 3.32. se puede observar el diagrama de fuerza para el bombeo de agua tratada hacia el tanque de retrolavado.

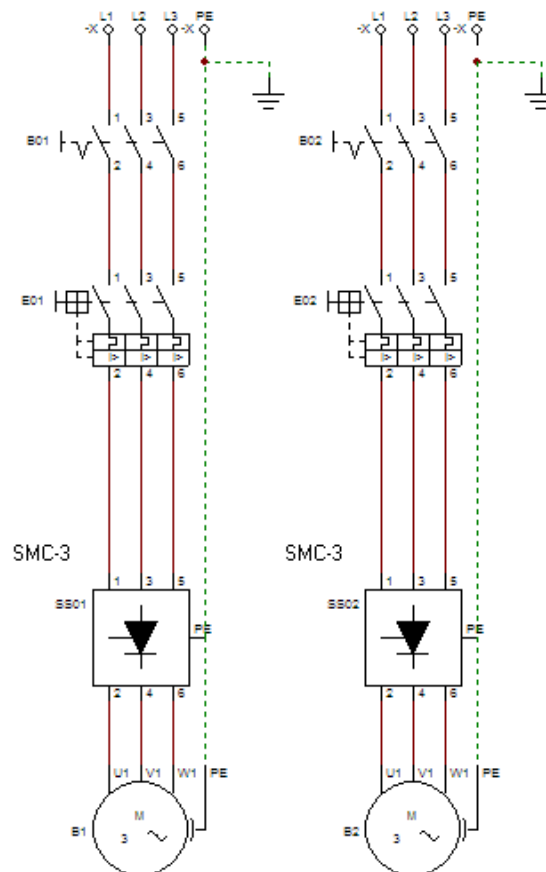


Figura. 3.32. Diagrama de fuerza
Fuente: Elaborado por el autor

En el tablero principal se realizará el rediseño del circuito de control y se mantendrá el circuito de fuerza para encender y apagar las bombas

El circuito de control que se propone rediseñar, implementa dos formas o modos:

- Modo manual
- Modo automático

Para la selección del modo de operación, se propone un selector de tres posiciones, la

primera posición habilita modo manual, la intermedia no realiza nada y la tercera posición habilita el modo automático. Para ambos modos de operación es necesario que se encienda en el tablero principal un indicador que la bomba está funcionando, en este caso se mantiene las luces piloto de 110VAC, el color verde indica que la bomba está encendida y la luz color roja indica que la bomba está apagada.

En la Figura. 3.33. se muestra el tablero de control principal donde estarán los circuitos de fuerza, control y se ubicará el selector para habilitar el modo manual y automático.



Figura. 3.33. Tablero principal
Fuente: Elaborado por el autor

3.9 DISEÑO DE LA INTERFAZ HMI PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA EN LA PTAP CONOCOTO

En el control de un proceso se debe tener una interfaz HMI. InTouch puede recopilar esta información en una o varias pantallas que detallen todo el proceso, contenga todas las variables, sensores, actuadores a ser controlados y monitoreados.

La supervisión y control del proceso de potabilización de agua, se lo realiza en la sala de control de la PTAP de Conocoto, en donde se supervisará desde el ingreso de agua cruda,

que atraviesa la tubería, el actuador de ingreso, continuando con sus siguientes etapas de proceso como floculación, sedimentación, filtración, hasta el bombeo de agua tratada hacia el tanque de retrolavado y finalmente el monitoreo del tanque de salida, donde se encuentran; los niveles de las cámaras, los caudales por las tuberías de cada línea de envío y la instrumentación en línea, para la verificación de los parámetros de calidad del agua potable.

Los operadores de turno monitorean y controlan el funcionamiento del proceso de tratamiento las 24 horas, por lo cual estas variables consideradas las más importantes están presentes a lo largo del diseño de cada pantalla individual y en conjunto demostrarían el proceso general de la planta

En base a esto se propone iniciar con una pantalla de acceso, donde mediante un usuario y una clave definida, se identificará el grupo de persona que intentan acceder a la aplicación. Por lo cual se estableció dos modos: operador y administrador (ver Figura. 3.34).

3.9.1 Modo operador

En esta modalidad se especifica al grupo de operadores, ellos son los encargados de tomar decisiones y controlar el proceso sus tendencias, pero no pueden hacer cambios en la programación e información que se envía al PLC.

3.9.2 Modo administrador

En esta modalidad se especifica al grupo de mantenimiento electrónico que son los únicos que pueden ingresar a todo el menú de pantallas, pero especialmente a la pantalla denominada “Totalizadores”.

En esta pantalla se puede resetear y cargar valores a los totalizadores, estos valores ya serán escritos en la memoria del PLC, por lo cual su acceso debe ser restringido y solo personas autorizadas puedan cambiar estos valores inherentes a la producción de la planta.



Figura. 3.34. Diagrama de flujo creación de pantallas
Fuente: Elaborado por el autor

3.10 ANÁLISIS DE COSTOS

El levantamiento del diagnóstico, de los equipos ya instalados como de los equipos que necesitan ser reemplazados y la adquisición de nuevos equipos, materiales e insumos que son necesarios para de monitorear las variables ya seleccionadas, ver Tabla. 3.12.

Tabla. 3.12. Costos de adquisición del equipamiento y los materiales

EQUIPAMIENTO			
CANTIDAD	ITEM	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PLC M221CE16R	1.350	1.350
1	Módulo TM3AM6	367	367
1	Módulo TM2AMI4LT	250	250
1	Switch 8 puertos SFN 8TX	340	340
1	Licencia Wonderware 2014 R2/1000 Tags	7.957	7.957
1	PC DUAL CORE	750	750
2	Fuente 24 VDC (2 A/ 5 A)	120	360
MATERIALES			
6	Relés (4 110VAC-2 24VDC)	19	114
1	Boya	37	37
250 m	Cable de instrumentación 2x16 AWG	2,15/m	537,5
200 m	Cable UTP, cat 6	1,20/m	240
4	Rollos de cable de control No. 14R-W/16	39,5	158
8	Luces piloto, pulsadores	4,50	36
9	(3)Duplicadores 4-20 mA/ (6)Supresores Trascientes 4-20mA	250/150	1.650
2	Cintas etiquetadora 3/8"- 1/2"	40	80
4	Kits de terminales punteros, tipo U	6	24
224	Mano de obra (Hora/Hombre)	30	6.720
VALOR TOTAL (USD)			20.970,50

Fuente: Elaborado por el autor

CAPÍTULO IV.

IMPLEMENTACIÓN

4.1 DESARROLLO

Finalizada la etapa de diseño, donde se seleccionó las variables necesarias para el sistema de control y visualización del sistema SCADA para el proceso de potabilización de agua en la planta de Conocoto.

Primeramente se verificará como establecer el cableado desde los equipos cercanos (caudalímetros, medidores de nivel e instrumentación en línea) hacia el tablero principal.

Para establecer la red Modbus TCP-IP se enviará por ductos el cable UTP categoría 6, hacia el switch de control, de esta manera se asegurará concentrar mediante direcciones IP la comunicación del PLCM221, PLC TSX Momentum, HMI, PC administrador y el radioenlace existente.

4.1.1 Estructura del cableado

Esta etapa empieza con la ruta del cableado, se evidencio por inspecciones preliminares que desde la sala de control se llega con dos ductos de manguera de 4 pulgadas hacia el tablero de control principal. El primer ducto lleva la acometida eléctrica desde la salida del generador hacia la alimentación del tablero es decir se encuentra protegido en caso de fallas eléctricas.

La Figura. 4.1. muestra las inspecciones preliminares, para definir el cableado de que comunica el PLC y el switch.



Figura. 4.1. Inspección de ductos soterrados
Fuente: Elaborado por el autor

.Medición de la distancia de cableado

Se verificó la distancia del cableado entre el tablero principal y el tablero de revisión ubicado en la sala de control (ver Figura. 4.2.) donde se encuentra el switch, en esta parte se instalará cable UTP categoría 6.



Figura. 4.2. Medición de la distancia del cableado
Fuente: Elaborado por el autor

El cableado de las señales analógicas de: 0-20 mA, 4-20 mA, se realizará mediante cable de instrumentación apantallado de 2X16 AWG. Previa la instalación de tuberías conduit EMT de ½ pulgada y la perforación de los tableros mencionados.

La Figura. 4.3 muestra la instalación de tubería conduit que comunicará los dos tableros, por los cuales se realizará la acometida del cableado.



Figura. 4.3. Instalación de tuberías conduit
Fuente: Elaborado por el autor

4.1.2 Montaje e instalación de equipos nuevos

En el capítulo de la propuesta, se mencionó la instalación de equipos nuevos y remplazo de equipamiento en cada etapa del proceso.

En la cámara de entrada se realizó la instalación del equipo transmisor de turbiedad Hach GLI modelo T53 y se verificó su funcionamiento.

En la cámara de retrolavado se sustituyó la placa electrónica del transmisor Vantage 2200, con lo cual empezó a registrar lecturas del nivel de la celda, se verificó que únicamente un sensor ultrasónico está funcionando adecuadamente. Adicional en la otra celda del tanque de retrolavado se instaló una boya como dispositivo de control de llenado y vaciado.

En la cámara de salida como se mencionó, se instaló duplicadores de señal 4-20 mA, para de la señal directa transmisor, el duplicador Weidmuller produce dos señales una de ellas se va a un equipo GPRS y la otra señal se va a las entradas analógicas del PLC del módulo analógico TM2AMI4LT, ver Figura. 4.4.

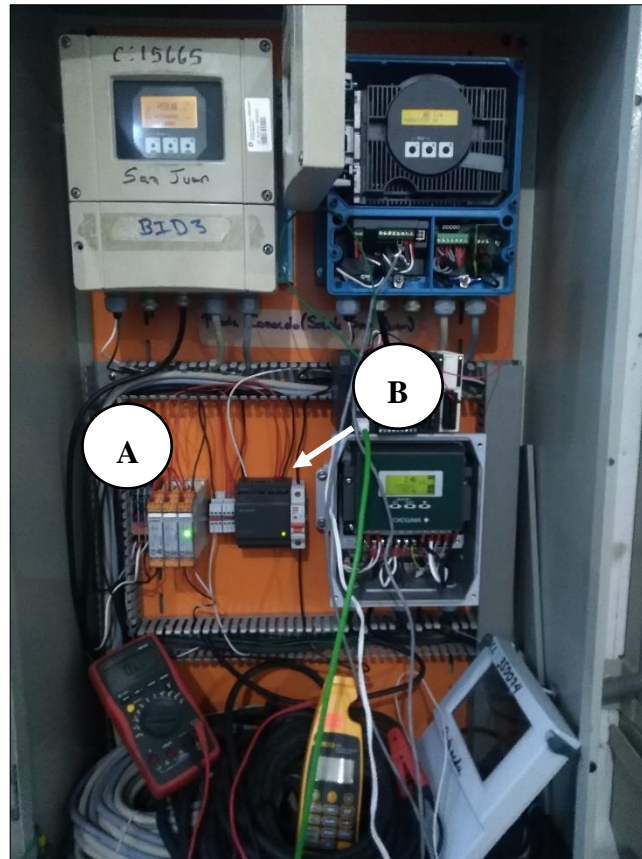


Figura. 4.4. Instalación de duplicadores Weidmuller (a) Duplicador (b) Fuente
Fuente: Elaborado por el autor

Los duplicadores de corriente Weidmuller para señal de 4-20 mA, para su funcionamiento requieren de una fuente de alimentación de 24 VDC/2A, como se observa en la Figura. 4.5. y Anexo F.

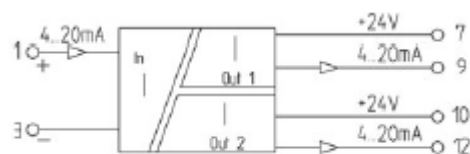


Figura. 4.5. Conexión de duplicadores Weidmuller
Fuente: Elaborado por el autor

4.1.3 Programación del PLC M221CE16R en SoMachine Basic

La programación se diseñó en lenguaje ladder (LD) y en funciones con listas de instrucciones (IL). Se estableció en la ejecución una tarea maestra que contiene la creación de varios POU, donde se dividió por partes es decir: cámaras, bombeo y red Modbus. En la Figura. 4.6. se puede observar el desarrollo de tarea maestra y los POU.

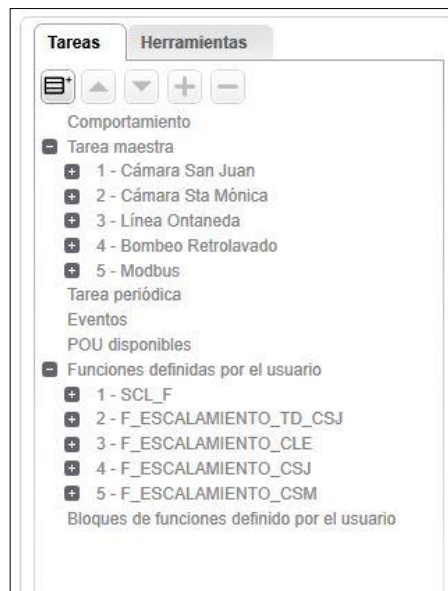


Figura. 4.6. Desarrollo de la programación
Fuente: Elaborado por el autor

En cada POU se cuenta con funciones de escalado diseñadas matemáticamente con el fin de escalar una señal analógica en un valor de tipo real, observar Figura. 4.7.

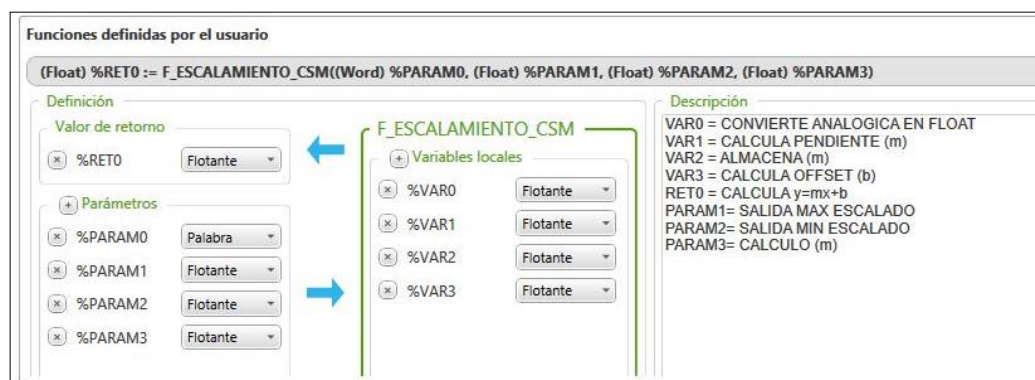


Figura. 4.7. Diseño de la función de escalamiento
Fuente: Elaborado por el autor

En el POU de la cámara San Juan se encuentra la función de escalado del nivel de la cámara y el caudalímetro, seguidamente se configura dos contadores en serie para realizar un totalizador en m³, se usa las señales de pulsos de cada transmisor, observar Figura. 4.8.



Figura. 4.8. Desarrollo de la programación cámara San Juan
 Fuente: Elaborado por el autor

El POU de los equipos de instrumentación Hach SC200 y Microchem 2, van a realizar su comunicación con el controlador, mediante el protocolo Modbus serial RTU, para lo cual se utiliza el bloque de funciones %READ_VAR.

La Figura. 4.9. muestra el bloque de función %READ_VAR0, que necesita una señal de reloj de 100 ms.

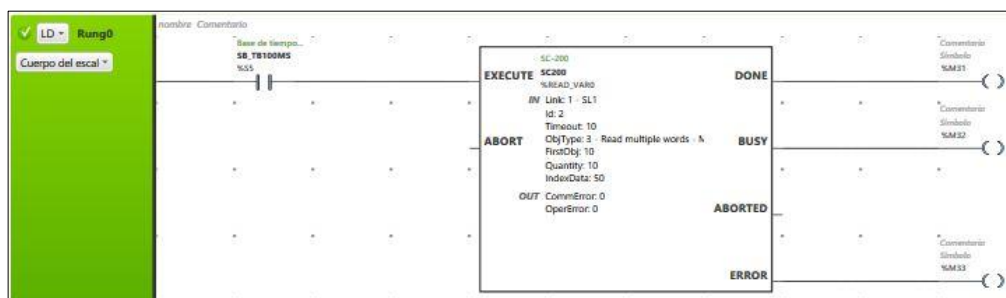


Figura. 4.9. Desarrollo de la programación red Modbus RTU
 Fuente: Elaborado por el autor

En el POU de bombeo retrolavado se realiza la lógica de control interna y se condiciona el valor de los niveles que impiden se realice el bombeo si no se cuenta con una altura en los transmisores mayor a 1,50 metros.

El valor de los niveles entra a un comparador para establecer la condición que habilitará una marca y realizará el encendido de la bomba.

La Figura. 4.10. muestra la lógica de control y los contactos para la parte del bombeo de cada cámara y el uso de la bomba correspondiente.

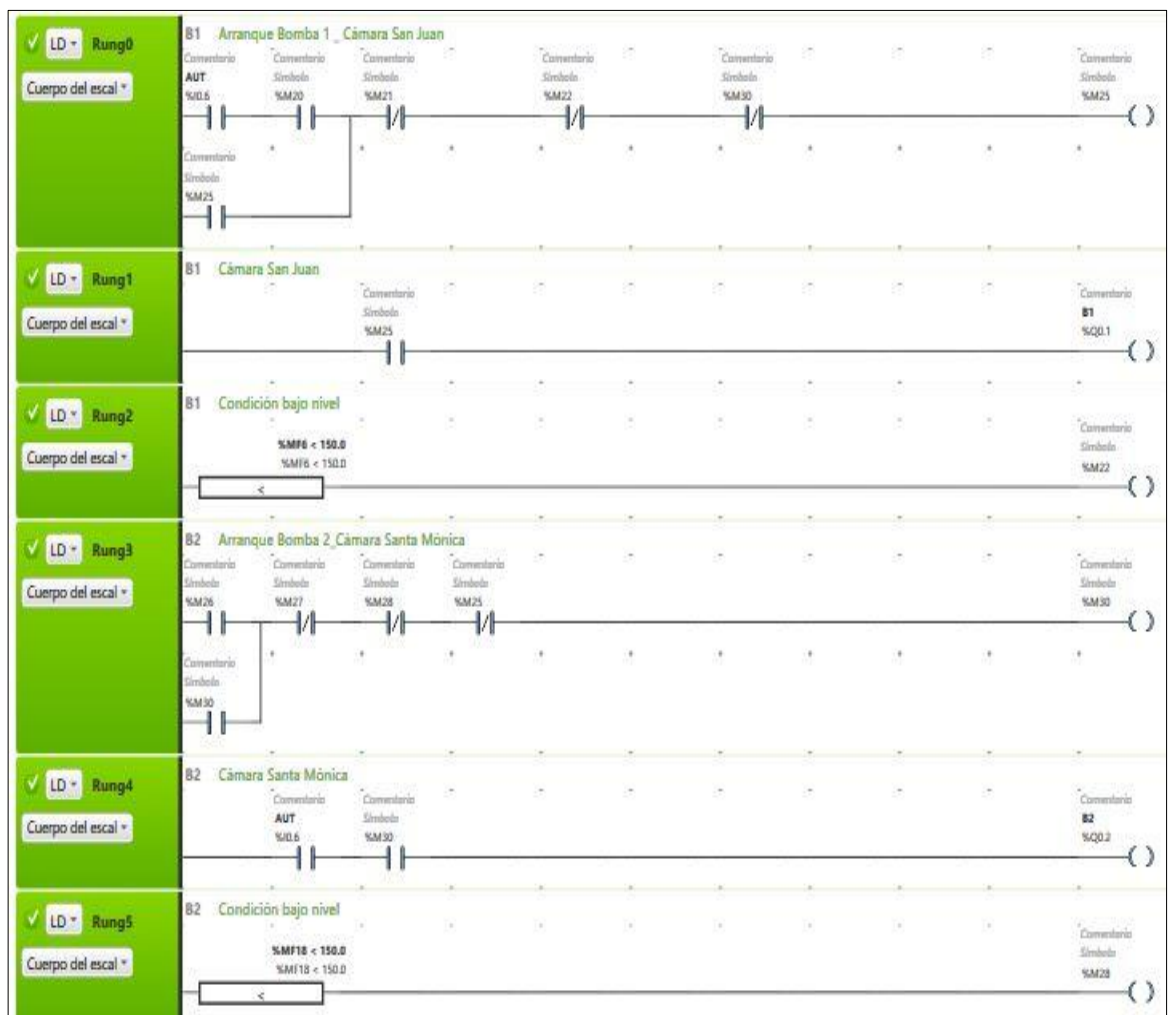


Figura. 4.10. Desarrollo de la programación bombeo

Fuente: Elaborado por el autor

4.1.4 Diseño y programación de las pantallas del HMI en InTouch

La programación de las pantallas se realizará en InTouch 2014 R2, se usará las librerías Symbol Factory 1.1.25 y Archestra Graphic Toolbox, para diseñar el criterio es usar los objetos más reales, que puedan simular el proceso de potabilización de la PTAP Conocoto.

Inicialmente la pantalla de acceso, será el filtro de identificación de cual grupo de personas intenta acceder en sus dos modos de inserción.

.Diseño de pantalla de acceso

La pantalla de acceso (login), da la bienvenida al usuario en esta pantalla se debe ingresar con un nombre de usuario y una contraseña. Dependiendo del grupo de usuarios, se accede al menú correspondiente y sus funciones específicas. La Figura. 4.11. muestra el diseño de la pantalla de acceso.

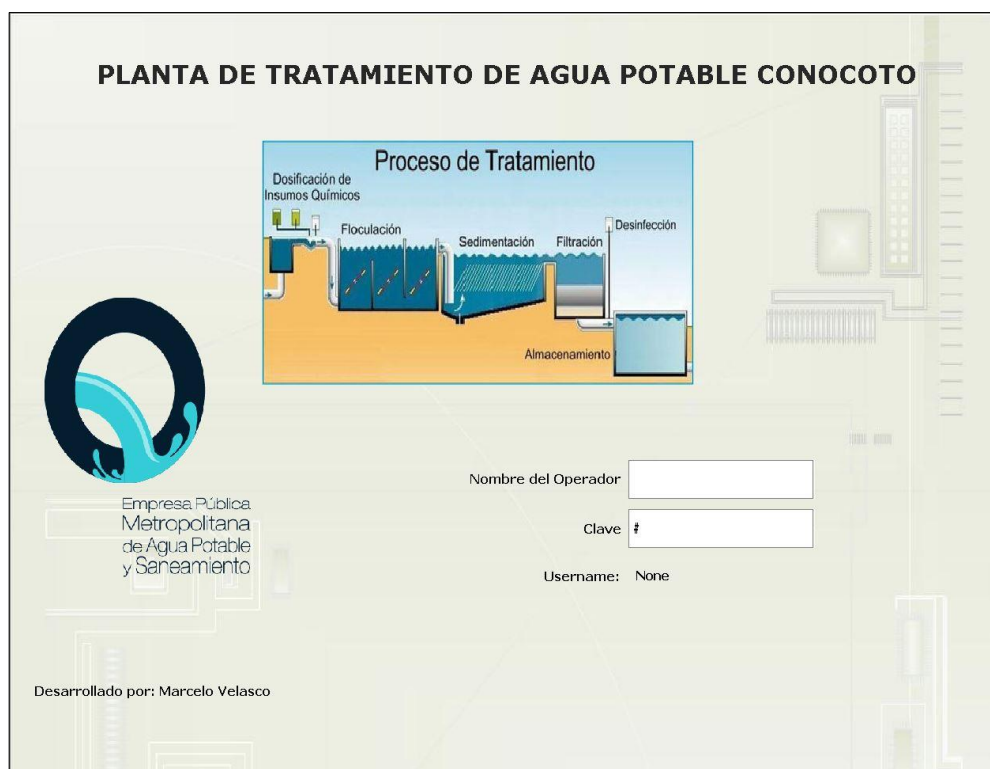


Figura. 4.11. Diseño de la pantalla de acceso
Fuente: Elaborado por el autor

.Diseño de pantalla vista general

La pantalla vista en general, aborda con objetos todo el proceso de tratamiento de agua potable. En el diseño fue necesario la creación de objetos nuevos a las galerías de InTouch, estos objetos son propios de la aplicación como los: sedimentadores, filtros y la adición de químico en la coagulación.

En la Figura. 4.12. se muestra el diseño de la pantalla vista general, que después de la autenticación en la pantalla anterior será la pantalla matriz del proceso de potabilización, el resto de pantallas tendrán un botón para regresar directamente a esta pantalla

En esta pantalla no se evidenciará ningún tipo de alerta o mensaje en relación a una variable.

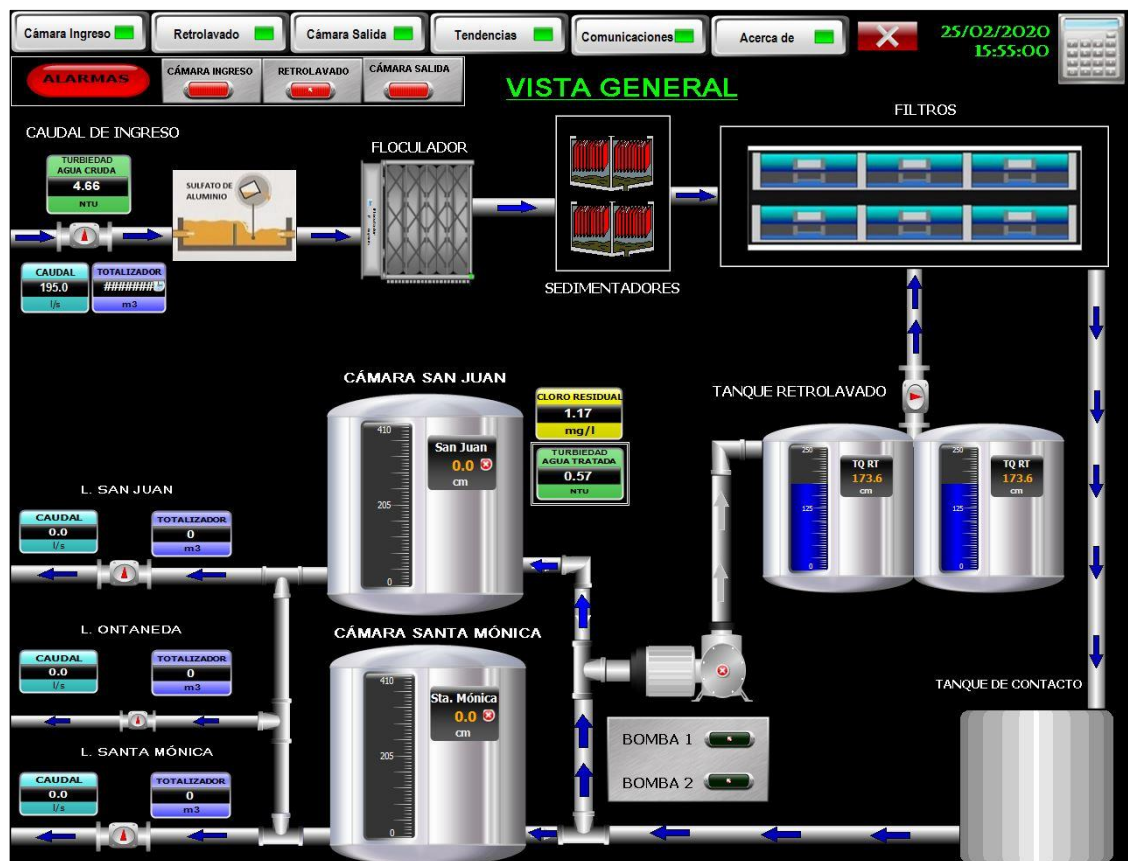


Figura. 4.12. Diseño de la pantalla vista general
Fuente: Elaborado por el autor

.Diseño de pantalla cámara ingreso

La pantalla cámara ingreso, permite realizar un Set Point (SP) en la posición del actuador Rotork que en nuestra interfaz se lo denomina FCV-300. En la parte SP APERTURA, se puede modificar el valor de posicionamiento y en la opción APERTURA ACTUAL se registra el valor que está en ese instante el actuador, como se puede observar en la parte (A) de la Figura. 4.13.

Esta pantalla posee una tendencia en tiempo real (Real-time Trend), donde se situó la variable del caudal de ingreso, esta parte de la pantalla permite realizar una curva del flujo vs tiempo, como se puede observar en la parte (B) de la Figura. 4.13.



Figura. 4.13. Diseño de la pantalla cámara de ingreso
Fuente: Elaborado por el autor

.Diseño de pantalla retrolavado

La pantalla retrolavado muestra los niveles de las cámaras San Juan y Santa Mónica, en los cuales están instaladas la bomba 1 y 2 respectivamente. En la parte superior se encuentra el nivel del tanque de retrolavado que se representa por un solo tanque, como se puede observar en la parte (C) de la Figura. 4.14.

Además esta pantalla tiene en su programación dos modos el manual y automático como se observa en parte (A) de la Figura. 4.14. En el modo manual se puede arrancar una bomba pulsando el botón (ON), pero el apagado lo hace el operador pulsando el botón (OFF), desde la pantalla. El modo automático el control del llenado lo realizará la boya instalada, si se activa esta opción, los botones de ambas bombas quedan deshabilitados.



Figura. 4.14. Diseño de la pantalla retrolavado
Fuente: Elaborado por el autor

El mensaje de la Figura. 4.15. muestra una alerta al operador que el nivel de la celda se encuentra por debajo del límite 1,50 metros. Este mensaje aparecerá en ambas cámaras siempre que el nivel sea bajo, para deshabilitar el mensaje tiene un botón llamado “RECONOCER”.



Figura. 4.15. Diseño de mensajes de alertas
Fuente: Elaborado por el autor

En la Figura. 4.16. se muestra la programación de los Scripts en la pantalla retrolavado, los cuales son sentencias de condicionantes para realizar una acción ya sea en la pantalla, en un Tag o en la aplicación en general.

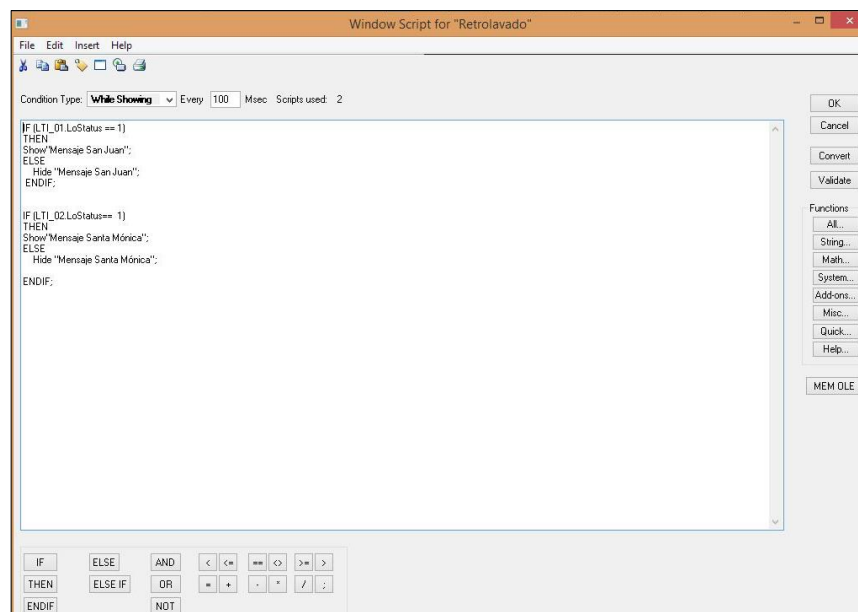


Figura. 4.16. Programación de Scripts en pantalla retrolavado
Fuente: Elaborado por el autor

.Diseño de pantalla cámara salida

La pantalla cámara de salida, muestra la medición de los niveles de la cámara de San Juan y Santa Mónica, así como el caudal que se envía por las tres líneas de distribución. Además muestra los valores de los equipos de instrumentación en línea para controlar la calidad del agua tratada, como se observa en la Figura. 4.17.

Esta pantalla posee una tendencia en tiempo real (Real-time Trend), de los caudales de envío por las tres líneas de distribución. Esta gráfica permite realizar una curva del flujo en tiempo real, como se puede observar en la parte (A) de la Figura. 4.17.

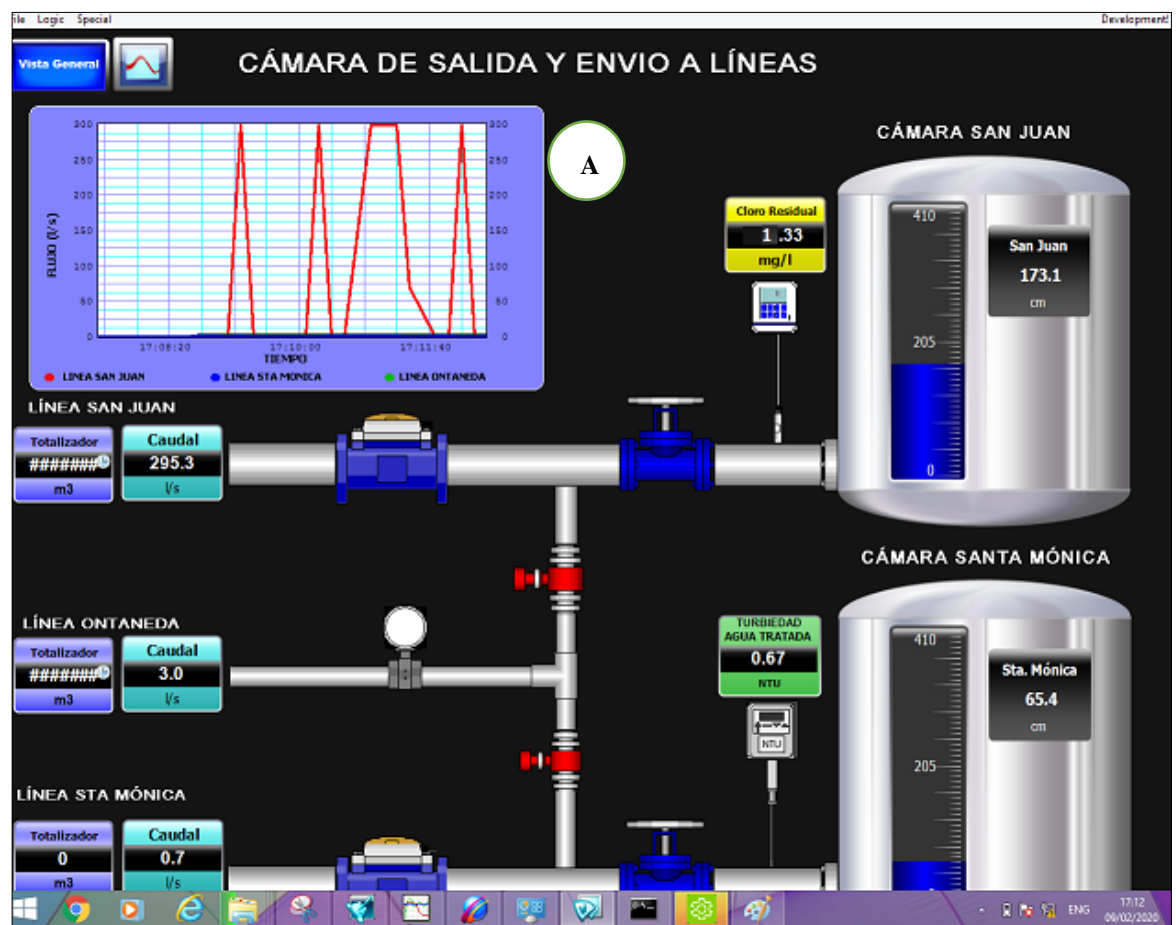


Figura. 4.17. Diseño de la pantalla cámara salida
Fuente: Elaborado por el autor

.Diseño de pantalla totalizadores

Esta pantalla se puede ingresar únicamente, autenticándose como administrador, caso contrario no aparecerá.

En el caso que por alguna razón se apague el PLC, se vaya la energía en el tablero existan actividades de mantenimiento, esta pantalla permite cargar nuevamente los valores de los totalizadores de cada línea, en la memoria interna del PLC.

Para lo cual esta pantalla trabaja con pantallas auxiliares y se podrá cargar valores de manera independiente a cada línea de distribución, solo se necesita comparar los datos con los transmisores y cargar el valor desde la aplicación.

La Figura. 4.18. muestra el diseño de esta pantalla que contiene las tres líneas de envío.



Figura. 4.18. Diseño de la pantalla totalizadores
Fuente: Elaborado por el autor

Cuando se da clic en el objeto “TOTALIZADOR” tal como se muestra en la parte (A) de la Figura. 4.18. inmediatamente se sobrepondrá la pantalla auxiliar, donde se cargará los nuevos valores o se reseteará los totalizadores poniendo a cero los registros de los contadores internos del PLC.

La pantalla auxiliar que aparece cuando se quiere cargar un valor se muestra en la Figura. 4.19.



Figura. 4.19. Diseño de la pantalla auxiliar de carga de valores
Fuente: Elaborado por el autor

En esta pantalla se puede resetear y cargar valores de los totalizadores, estos valores ya serán escritos en la memoria del PLC, por lo cual su acceso debe ser restringido y solo personas autorizadas puedan cambiar estos valores inherentes a la producción de la planta.

4.2 IMPLEMENTACIÓN

La implementación comprende, la ejecución de las tareas en el tablero principal, llevar todas las señales del cableado y ubicarlos en borneras. En la Figura. 4.20. se puede observar la instalación de borneras de riel DIN, donde se concentraran las señales provenientes de los equipos que deben conectarse.

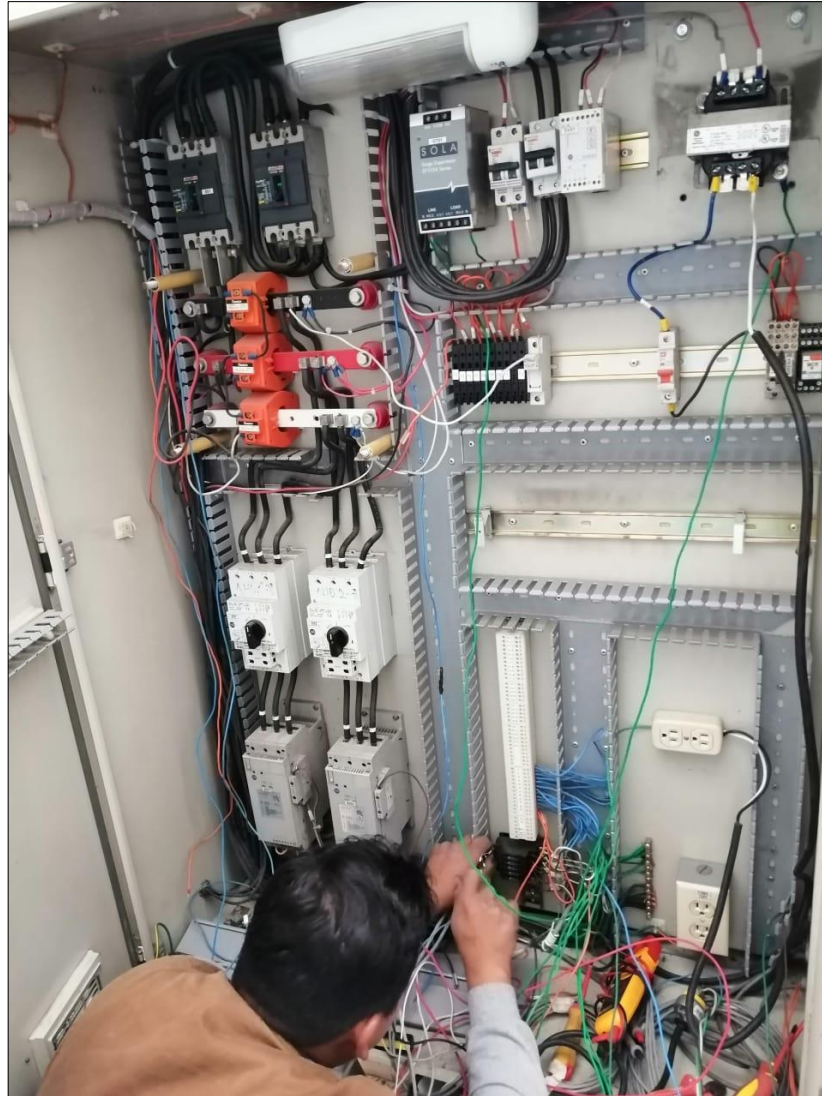


Figura. 4.20. Instalación de borneras para riel DIN
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.1 Rediseño del control en tablero principal

En el tablero principal de control, se implementó el diseño del nuevo plano de control, quedando su lógica de control de esta manera.

El rediseño tablero principal de la lógica de control en relación a lo que funcionaba con anterioridad, se debe tomar en cuenta que ahora se tiene dos modos: modo manual desde el tablero principal y modo automático desde el sistema SCADA.

En la Figura. 4.21. se muestra la instalación del PLC, fuente de 24 VDC y sus módulos, así como todas las señales están conectadas en las borneras.



Figura. 4.21. Instalación de PLC y sus módulos
Fuente: Elaborado por el autor

.Conexión de las entradas del PLC

El PLC M221 tiene 9 entradas digitales de las cuales 4 son entradas rápidas (HSC) de 100 kHz y 5 entradas normales, posee un bloque de terminales de tornillo extraíbles.

Las 5 entradas normales son (I2, I3, I4, I5, I8) para todas las entradas posee 1 línea común desde I0 hasta I8. Soportan una tensión de entrada nominal de 24 VDC y un rango desde 19.2 a 28.8 VDC, con una corriente de entrada nominal de 7 mA.

En la conexión física y el cableado para las entradas existen dos maneras: el cableado de lógica positiva y de lógica negativa. Por tema de diseño se optó la conexión por lógica positiva, tal como se puede observar en la Figura. 4.21.

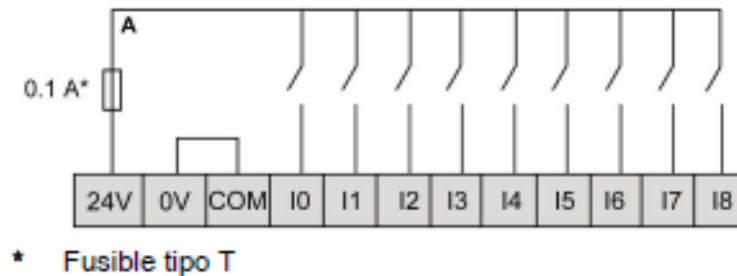


Figura. 4.21. Cableado de entradas de común positivo
Fuente: Elaborado por el autor

.Conexión de las salidas del PLC

Las salidas del controlador M221 están particionadas en grupos de canales, posee 1 línea común desde Q0 a Q3 y otra línea común desde Q4 a Q6, su corriente nominal es de 2 A por salida, posee un bloque de terminales de tornillo extraíbles.

El diagrama de conexión también tiene dos lógicas de cableado la lógica positiva y negativa, por tema de diseño de igual manera se mantiene la lógica positiva para AC, como se observa en la Figura. 4.22.

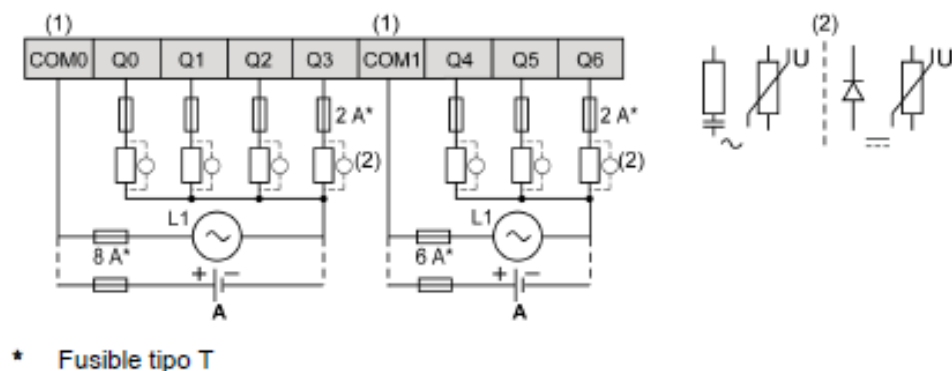


Figura. 4.22. Cableado de salidas de común positivo
Fuente: Elaborado por el autor

.Conexión del módulo analógico TM2AMI4LT

La configuración de los módulos TM2 por hardware siempre debe montarse después de los módulos TM3, por lo cual deben configurarse al final.

En la configuración del módulo, para nuestro caso debe ser tipo de entrada corriente (0-20mA), como se observa en la Figura. 4.23.

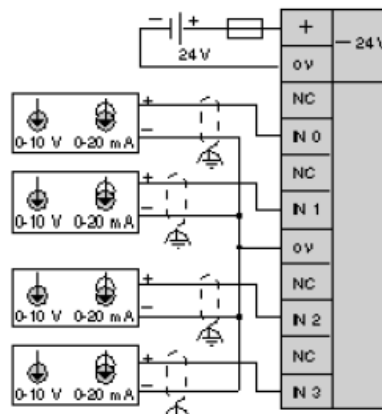


Figura. 4.23. Configuración de entradas del módulo TM24AMI4LT
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.2 Configuración de la red TCP/IP

La red LAN establecida en la planta Conocoto tiene un direccionamiento TCP/IP, por lo cual se pidió direcciones IP libre para la comunicación de la red.

Tabla. 4.1. Descripción del direccionamiento IP

DIRECCIONAMIENTO LAN CONOCOTO		
Equipo	Dirección IP	Máscara de subred
PLC TM221CE16R	172.20.30.51	255.255.0.0
PC HMI	172.20.30.50	255.255.0.0
PLC TSX Momentum	172.20.30.53	255.255.0.0
PC Administrador	172.20.30.52	255.255.0.0

Fuente: Elaborado por el autor

En el programa SoMachine Basic se accede al puerto Ethernet (ETH1) que permite direccionar el nombre del dispositivo de la red, su dirección IP y la máscara de subred.

En la Figura. 4.24. se puede observar el direccionamiento IP que se registró al PLCM221 según la Tabla. 4.1.

Ethernet

Nombre de dispositivo: M221

Dirección IP de DHCP

Dirección IP de BOOTP

Dirección IP fija

Dirección IP: 172 . 20 . 30 . 51

Máscara de subred: 255 . 255 . 0 . 0

Dirección de pasarela: 0 . 0 . 0 . 0

Velocidad de transmisión: Automático

Parámetros de seguridad

Protocolo de programación habilitado

Protocolo EtherNet/IP habilitado

Servidor Modbus habilitado

Protocolo de descubrimiento automático habilitado

Aplicar Cancelar

Figura. 4.24. Direccionamiento PLCM221

Fuente: Elaborado por el autor

Para realizar el direccionamiento de la tarjeta de red de la interfaz HMI, se ingresa en la configuración de las propiedades del adaptador Ethernet y finalmente en el protocolo Internet versión 4 (TCP/IPv4) se ingresa la dirección IP y la máscara de subred.

Tomar en cuenta registrar la puerta de enlace predeterminada para la red LAN de la PTAP Conocoto 172.20.10.1. En la Figura. 4.25. se puede observar el direccionamiento IP al equipo donde se encuentra la interfaz HMI.

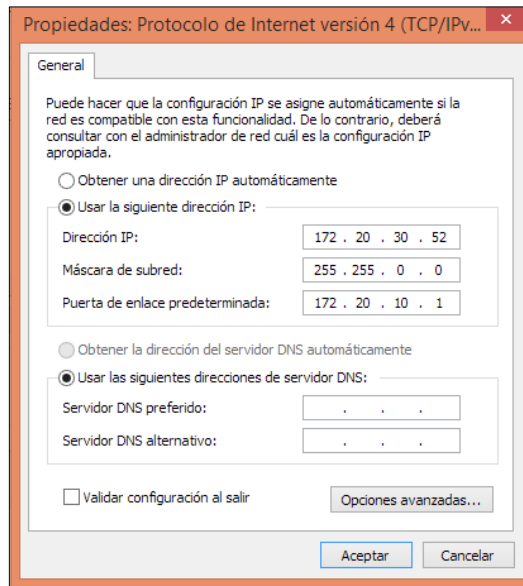


Figura. 4.25. Direccionamiento HMI

Fuente: Elaborado por el autor

4.2.3 Configuración de la red Modbus serial

Para la configuración de la red Modbus serial, se establece al PLC como equipo maestro y los demás equipos de instrumentación como esclavos (HACH SC200, Microchem 2), la interfaz física de conexión, es RS-485.

La Figura. 4.26. muestra la configuración del equipo maestro (PLC) de la red Modbus serial.

Figura. 4.26. Configuración de PLC como maestro

Fuente: Elaborado por el autor

La configuración de la línea serie empieza por definir la velocidad de transmisión la cual se estableció en 9.600 Mbps, debido al resto de equipos de la red. En todos los equipos se estableció de igual manera la misma paridad y el mismo número de bits de parada. La interfaz de medio físico es RS-485, como se puede observar en la Figura. 4.27.

Configuración de línea serie

Ajustes de protocolo

Protocolo Modbus

Configuración de línea serie

Velocidad de transmisión 9600

Paridad Ninguna

Bits de datos 8

Bits de parada 1

Medio físico

RS-485 RS-232

Polarización No

Figura. 4.27. Configuración del bus serial
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.4 Configuración del DAServer Manager

La aplicación MBTCP DAServer permite a través del System Management Console (SMC), levantar en el computador un servidor de protocolo de comunicación Modbus TCP/IP. En resumen La HMI se comunica con el PLC mediante el DAServer

Anteriormente se mencionó que Modbus posee la capa de aplicación y este software es la interfaz para que el usuario pueda establecer comunicación con el dispositivo.

Como se puede observar en la parte (A) de la Figura. 4.28. el puerto de la aplicación para la capa de transporte, por default es el puerto 502. Una vez configurado se debe configurar la IP del PLC, la cual debe estar dentro del segmento de red predeterminada, tal como se observa en la parte (B) de la Figura. 4.28.

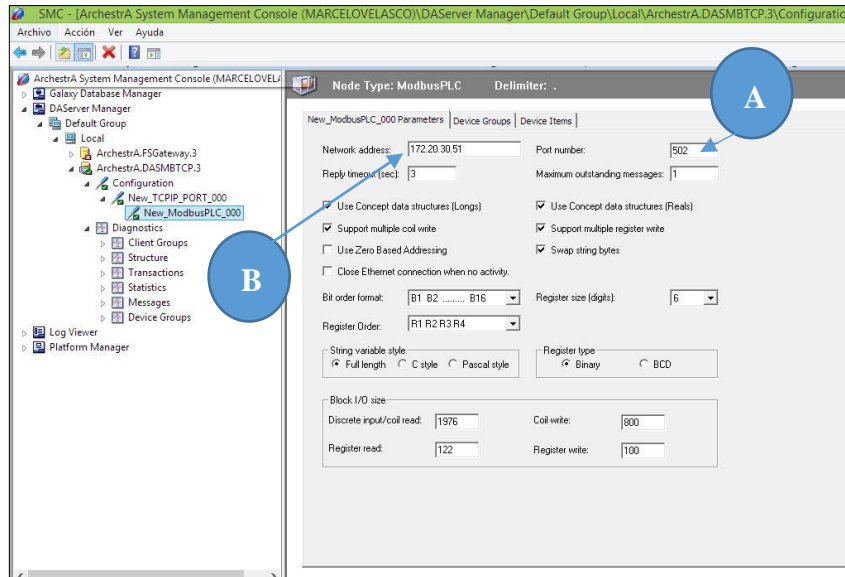


Figura. 4.28. Configuración del System Management Console
Fuente: Elaborado por el autor

4.2.5 Configuración del Access Name

Para conectar esta aplicación con la visualización se debe definir el grupo del dispositivo o device group (Ver Figura. 4.29.).

En cuanto a la configuración en InTouch, se establece un nombre de acceso o Access Name este debe ser idéntico con el Topic Name, estos dos nombres deben ser idénticos para establecer un enlace requerido, tal como se observa en la Figura. 4.29.

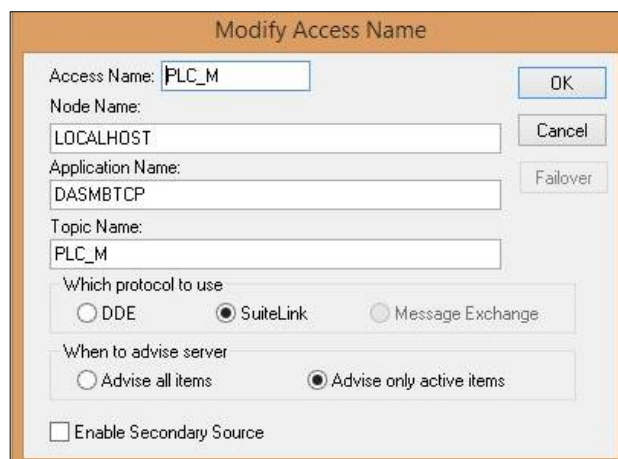


Figura. 4.29. Configuración del Acces Name PLC M221
Fuente: Elaborado por el autor

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Las pruebas de funcionamiento se segmentan en pruebas de campo a nivel de hardware y de software como las pruebas de monitoreo del PLC, pruebas de la interfaz HMI y finalmente pruebas de conectividad de toda la red industrial.

4.3.1 Pruebas de funcionamiento en el tablero principal

Las pruebas de funcionamiento en el tablero principal, se realizaron en el modo manual del sistema de bombeo, donde se encendió el sistema de bombeo desde los pulsadores del tablero, tal como se observa en la Figura. 4.30.

La parte (A) de la Figura. 4.30. indica que la bomba No. 1 se encuentra bombeando agua, por lo que esta encendido la luz piloto verde, mientras la bomba No. 2 se encuentra apagada como se observa en la parte (B) de la Figura. 4.30. donde se encuentra encendido la luz piloto roja.



Figura. 4.30. Encendido de bomba desde el tablero principal

Fuente: Elaborado por el autor

Seguidamente se determinó la corriente de arranque de las dos bombas y se comparó con los valores de sus placas las cuales se encontraba dentro del rango, tal como se observa en la Figura. 4.31.



Figura. 4.31. Pruebas en tablero principal
Fuente: Elaborado por el autor

La Figura. 4.32. muestra como quedo al terminar la implementación, el tablero de control principal que concentra todo el control manual y automático (PLC) y se concentran todas las señales del equipamiento de caudales de envío, totalizadores de los caudalímetros, niveles de las cámaras y el nivel del tanque de retrolavado; así como la instrumentación de calidad de la cámara de salida.

Se instaló un UPS para salvaguardar de cortes de energía, la etapa de control del tablero principal, tal como se observa en la parte (A) de la Figura. 4.32.



Figura. 4.32. Vista final del tablero de control
Fuente: Elaborado por el autor

4.3.2 Pruebas de conectividad

Primeramente se realizó pruebas de conectividad, donde se verifica el medio de transmisión en nuestro caso el cable UTP categoría 6 y se verifica la calidad de los enlaces para la adquisición de datos.

.Prueba de conectividad del HMI con el PLCM221

En las pruebas de conectividad se realizó un ping (intercambio de paquetes ICMP de solicitud y envío) desde el equipo supervisor (computador) hasta el equipo PLC.

Las pruebas de conectividad comprenden la realización de un PING hacia el equipo de la red.



```
Ca. Símbolo del sistema
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Respuesta desde 172.20.30.51: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.30.51: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64

Estadísticas de ping para 172.20.30.51:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 3, perdidos = 1
    (25% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\Marcelo Uelasco>ping 172.20.30.51

Haciendo ping a 172.20.30.51 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 172.20.30.51: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 172.20.30.51: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.
Tiempo de espera agotado para esta solicitud.

Estadísticas de ping para 172.20.30.51:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 2, perdidos = 2
    (50% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms

C:\Users\Marcelo Uelasco>
```

Figura. 4.33. Pruebas de conectividad

Fuente: Elaborado por el autor

4.3.3 Pruebas de funcionamiento de la interfaz HMI

Las pruebas permiten evaluar que el diseño de la HMI, contenga todas las variables mencionadas con anterioridad, si el DAServer tiene conectividad ya se puede visualizar la información que está recibiendo el PLC en sus entradas digitas y analógicas. El HMI ya puede evidenciar el valor instantáneo de las variables en proceso real.

Se considera una interfaz interactiva por el uso de sus animaciones que indican al usuario, encendido de bombas, direcciones de flujo, alertas y demás mensajes de consideraciones para el operador.

En la Figura. 4.34. se puede observar cómo se enciende la bomba No. 1 remotamente desde el HMI y como se muestran las flechas que indican el sentido del flujo del sistema de bombeo, de igual manera una luz que esta de color verde cerca de los pulsadores.



Figura. 4.34. Pruebas de la interfaz HMI
 Fuente: Elaborado por el autor

4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez finalizada la fase de implementación en el tablero de control principal y en el tablero donde se controla el actuador Rotork, se realizó las pruebas de funcionamiento de la lógica de control en base al diseño de los circuitos de control y de fuerza. Se puede observar la Tabla. 4.2. muestra si se cumplió el objetivo en las pruebas de control.

Tabla. 4.2. Pruebas del diseño de control

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO		
CUMPLE		
	SI	NO
DISEÑO CONTROL		
Tablero principal de control		
*Modo manual	X	
*Modo automático	X	
Tablero de control Actuador Rotork		
*Modo manual	X	
*Modo automático	X	

Fuente: Elaborado por el autor

Al concluir con la programación del PLC M221, la interfaz HMI muestra la medición de los equipos conectados físicamente a sus entradas, salidas discretas y analógicas. En la arquitectura de la red, existen equipos que se comunican mediante el protocolo TCP-IP en los cuales se realizó las pruebas de conectividad entre ellos, ver Tabla. 4.3.

Tabla. 4.3. Pruebas de conectividad

PRUEBAS DE CONETIVIDAD		
CUMPLE		
	SI	NO
PING PC-PLCM221	X	
PING PC-PLC TSX Momentum	X	
PING PC- PCADMIN	X	

Fuente: Elaborado por el autor

La HMI contiene todos los aspectos técnicos de seguridad en la autenticación del personal, maneja un sistema de alarmas para las variables como: los niveles de las cámaras de distribución y del tanque de retrolavado, los cuales al llegar a valores máximos y mínimos se mostrará mensajes de alertas. Se realizó un cotejamiento de los valores de caudales de las tres líneas con los valores que se pueden ver en los equipos transmisores, se verificó que los valores son similares, es decir su factor de error es relativamente bajo. Se realizó el cotejamiento con los niveles de las celdas de la cámara San Juan y Santa Mónica, donde los valores difieren de manera centesimal, lo que de igual manera no tiene incidencia en el factor de error del escalamiento de la señal que realiza el PLC, ver Tabla. 4.4.

Tabla. 4.4. Pruebas de funcionamiento del sistema SCADA

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SCADA		
CUMPLE		
	SI	NO
Medición de niveles	X	
Medición de flujo (caudalímetros)	X	
Instrumentación	X	

Fuente: Elaborado por el autor

CONCLUSIONES

Al definir y seleccionar las variables de control y visualización se verificó que son las más importantes del proceso de potabilización de agua. Se analizó que la forma de vincular los equipos sea por entradas analógicas o discretas, los que tengan protocolos de comunicación se vincularán a la red Modbus serial. Hay equipos que por su tecnología y en relación a su antigüedad tienen prestaciones limitadas en relación a los equipos actuales.

El diseño y la arquitectura de red del sistema SCADA, cumple el objetivo de abarcar las variables definidas y el uso de instrumentos como: sensores, accionamientos y un actuador de control.

La topología de la red, mediante el protocolo Modbus TCP-IP, permitió que los controladores M221 y TSX Momentum, puedan interactuar entre ellos con las interfaces HMI Magelis y la computadora con el SCADA, de esta manera se realizó la red de comunicación concentrándose el cableado en el switch de 8 puertos, por lo que se concluye su topología es de tipo bus.

La topología de red Modbus serial utiliza la interfaz física RS-485, es una red que el dispositivo maestro es el PLC M221 y los dispositivos esclavos son el controlador SC200, Microchem 2, su topología es de tipo bus.

El diseño de las pantallas de la interfaz HMI, cumple con la visualización y el control de las variables definidas, se desarrolló una pantalla en vista general del proceso y pantallas que estratifican las etapas por cámaras, en general la aplicación es muy interactiva y de fácil comprensión para el personal operativo.

La validación tanto de hardware y software, mediante pruebas de funcionamiento permite dar la seguridad que el sistema funciona correctamente, se desarrolló una aplicación segura, fiable y con un entorno industrial.

La ventaja del Modicon M221 es su robustez y la incorporación de la comunicación Modbus serial y Modbus TCP/IP, lo que lo convierte en la mejor elección para la ejecución del sistema SCADA, otra ventaja es que el software de programación SoMachine Basic no necesita estar licenciado.

El escalamiento de variables consiste en adaptar los valores de corriente (4-20 mA, 0-20 mA) o voltaje (0-10V), en valores de su media propia como nivel, caudal, presión, en un rango máximo y mínimo, para su interpretación en el HMI. El escalamiento en los Modicon se realizó matemáticamente, por lo cual se definió el valor máximo y mínimo con el fin de graficar la ecuación de la recta y escalar estos valores en sus magnitudes.

La seguridad implementada en la interfaz HMI, permite que solo personas autorizadas puedan ingresar a la pantalla “totalizadores”, donde por alguna razón se pueden cargar nuevamente o igualar el valor de los totalizadores que son indicadores de volumen diarios enviados por cada línea de la red de distribución.

La interfaz HMI permite la interacción directa del operador y el proceso industrial mediante sus pantallas de control, se considera que la interfaz es sencilla y amigable para el proceso de potabilización de agua, el diseño fue de fácil comprensión para el personal operativo de la planta Conocoto.

Con la implementación del sistema SCADA, se tiene un sistema confiable de monitoreo y control en tiempo real, por lo cual se obtiene grandes beneficios para el personal operativo que permitirá actuar rápidamente cuando sus variables de control de calidad y operativas cambien de valor bruscamente.

Establecer un modo manual en el tablero principal, garantiza que por cualquier motivo el operador pueda encender y apagar las bombas de forma manual, lo mismo sucede en el tablero con la Magelis, el operador puede seleccionar el mando local y operar localmente el actuador FCV-300.

RECOMENDACIONES

Se recomienda la sustitución del equipo medidor de nivel en el tanque de retrolavado, ya que su valor registrado no corresponde al valor real medido con una regleta, por lo cual el equipo presenta un gran rango de error en las lecturas instantáneas.

Se recomienda un estudio técnico e hidráulico que permita la correcta ubicación del sensor del caudalímetro de la línea San Juan (Promag 50), puesto que en la jornada diurna se evidencia un gran envío de agua por esta línea y se escucha en la ventosa una gran cantidad de aire que sale por la misma, este equipo presenta valores negativos en sus lecturas y según los técnicos de esta área, es por la presencia de burbujas en el sensor de medición.

Se recomienda a corto plazo enlazar la pantalla vista general a la red de la Planta Puengasí o Planta de Bellavista, con el fin de exportar un aplicativo View donde el personal a cargo de la administración, puedan verificar el proceso de potabilización, los indicadores operativos y de calidad en tiempo real, en resumen hacer una aplicación publicada del proceso de potabilización de la PTAP Conocoto, únicamente para ejecutar visualización, mas no control.

Realizar un mantenimiento periódico de la tubería que recibe agua cruda, que va hacia el sensor Accu4 Low Range Turbidimeter, esto garantizará el funcionamiento idóneo de este equipo, la medición de esta variable es importante. El agua cruda posee material sedimentable, con el tiempo esto genera un taponamiento de los conductos del sensor y en el transmisor se evidencia una lectura errónea en comparación con la lectura de los equipos de campo.

Se recomienda manejar el mismo SPAM tanto en el equipo transmisor, la programación del PLC y en la creación de los tags, donde se registre el valor mínimo y máximo de la magnitud a medirse, con el fin de que el error de lectura sea despreciable y se ajuste al valor del transmisor.

Se recomienda instalar una protección Ethernet para el puerto Ethernet del PLC, se evidenció que por el sector se presenta una gran cantidad de lluvias y rayos por lo que los puertos de comunicación no son inmunes a sufrir intermitencias por ruido.

Se recomienda calibrar frecuentemente los tres equipos de instrumentación en línea del sistema SCADA, de esto dependerá tener un valor confiable y un error mínimo en las lecturas instantáneas que tenga los instrumentos.

Para desarrollar aplicaciones e interfaces graficas se debe tomar como base los requerimientos del operador o usuario final, esta información es importante y útil para diseñar una interfaz HMI sencilla, práctica antes que una aplicación con numerosas pantallas y varios objetos, esto hace que sea complicada la supervisión y la interpretación del sistema SCADA por parte de los usuarios del sistema.

Se recomienda tener una tabla de asignación de variables y conocer la forma que el PLC guarda los datos, ya que existen casos de traslapamiento de los registros lo que evidencia una lectura errónea del registro.

Se recomienda en el caso de fallas, en las comunicaciones inalámbricas y alámbricas, cuando no se tiene ping en la red, se puede controlar el actuador Rotork localmente en el tablero, para lo cual se tiene un selector que en la posición manual y con la Magelis se regula el setpoint de apertura o cierre de la válvula. En el caso para controlar manualmente el encendido y apagado de las bombas, su operación será de la misma manera, el selector debe estar en la posición manual y desde el tablero mediante los pulsadores de arranque/parada se puede realizar el bombeo.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ASCII: American Standard Code for Information Interchange.

Cl₂: Dicloro

Dirección IP: Es un numero de 32 bits, que identifica a un dispositivo de la red.

EIA: Electronic Industries Association.

HMI: Human-Machine Interface.

HP: High Power

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IEE802.3: Norma de especificación de Ethernet.

LAN: Red de área local

Modicon: Modular Digital Controller.

Modbus: A serial communications protocol.

Modbus TCP/IP: Protocolo Modbus con uso en la parte superior de Ethernet

TCP / IP

NTU: Nefelometric Turbidity Units

OSI: Open System Interconnection.

PLC: Programmable Logic Controller

PTAP: Planta de tratamiento de agua potable.

RF: Radio Frequency

RS-485: Norma física RS-485 de comunicación serie.

RS-232: Norma física RS-232 de comunicación serie.

RTU: Remote Terminal Units.

SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition

TAG: Etiqueta relacionada a una variable del proceso.

TCP-IP: Transmission Control Protocol/Internet Protocol

TIA: Telecommunications Industry Association

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

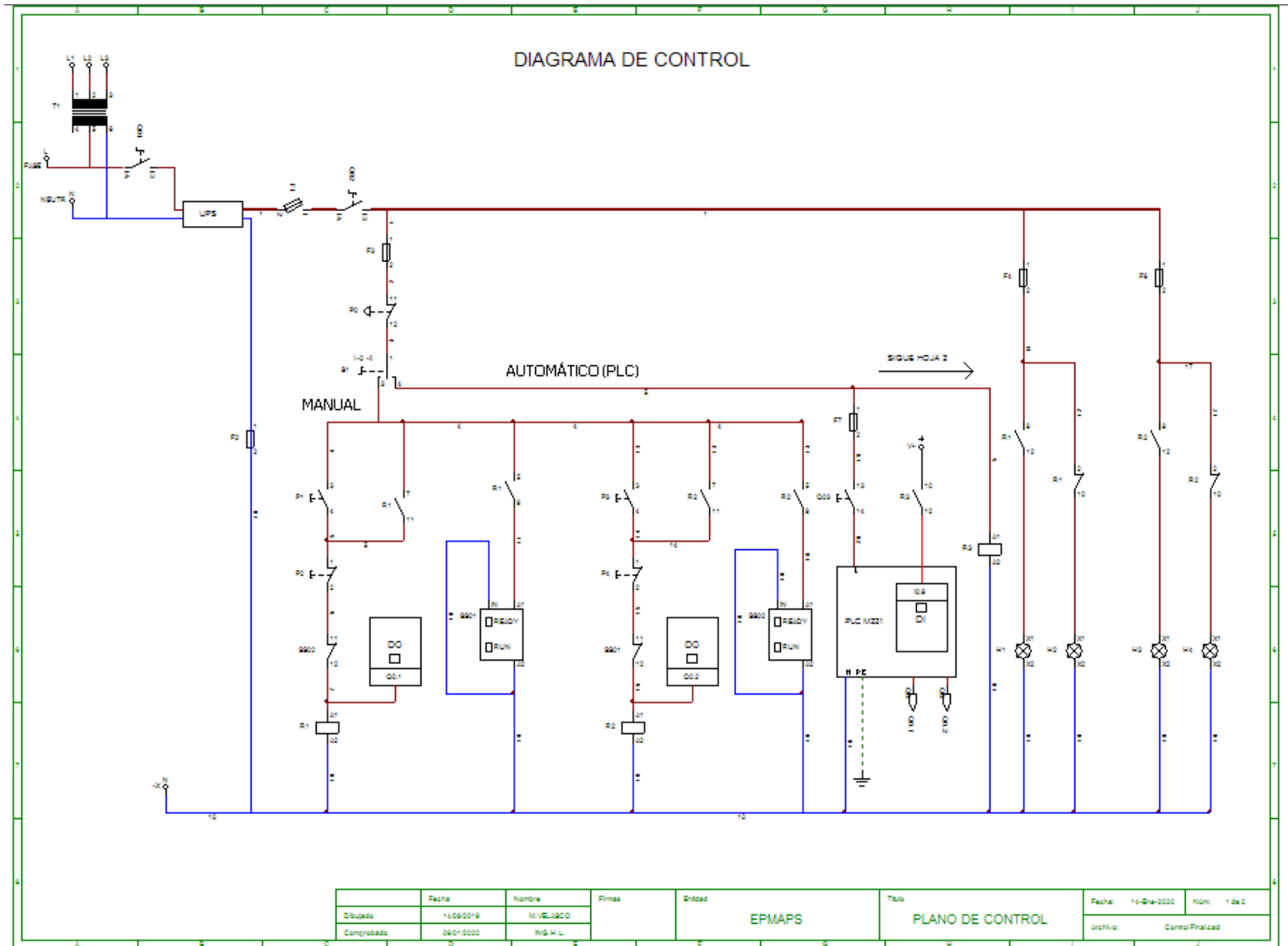
- Aimacaña Quishpe, S. F., & Sango Viracocha, W. R. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de recursos energéticos primarios en el Campus "Gral. Guillermo Rodríguez Lara" de la ESPE*. Latacunga: ESPE.
- Allen-Bradley. (s.f.). *Technical Data SMC-3 Smart Motor Controllers*. Bulletin 150.
- Alvarez Pichizaca, M. M. (2010). *Implementación de la arquitectura para la automatización distribuida Modbus-IDA para el Laboratorio de Automatización Industrial (EIS)*. Riobamba: ESPOCH.
- Amendola, L. (1996). *Instrumentación Industrial Medición*. Barcelona.
- Angulo Sanchez, P. (1990). *Control Industrial*. Quito: EPN Facultad de Ingeniería Eléctrica.
- Angulo Sanchez, P. (1990). *Diagramas de Control Industrial*. Quito: EPN.
- AUTRACEN . (2019). *AUTRACEN*. Obtenido de <http://www.autracen.com/>
- AUTRACEN. (02 de 02 de 2019). <http://www.autracen.com/sistemas/>.
- Balcells, J., & Romeral, J. L. (s.f.). *Autómatas Programables*. Barcelona: Marcombo.
- Bolton, W. (2009). *Programmable logic controllers*. Oxford: Oxford Elsevier Newns.
- Brito Mogro, C. F., & Bustos Pantoja, B. X. (2009). *Diseño e Implementación de un prototipo SCADA inalámbrico didáctico para el laboratorio de instrumentación*. Quito: EPN.
- Candelas. (2011). *Comunicación con RS-485 y Modbus*.
- Corrales , L. (2007). *Interfaces de Comunicación Industrial*. Quito: EPN, Dpto. de Automatización y Control Industrial.
- Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. México: Alfaomega.
- Daneri, P. A. (2008). *PLC Automatización y Control Industrial*. Buenos Aires: Hispana Americana S.A.
- EASTECH. (2000). *Technical Brief FB Level Sensors*. Tulsa.
- EASTECH. (2008). *Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter*. EASTECH.
- Eastech. (2018). *VANTAGE 2200*. Obtenido de Ultrasonic Open Channel Flow & Level Meter: <http://www.eastechflow.com/pdf/vantage-2000.pdf>
- EASTECH. (s.f.). *Technical Brief FB level sensors*. Obtenido de <http://www.eastechflow.com/pdf/fb-sensors-tech-brief.pdf>

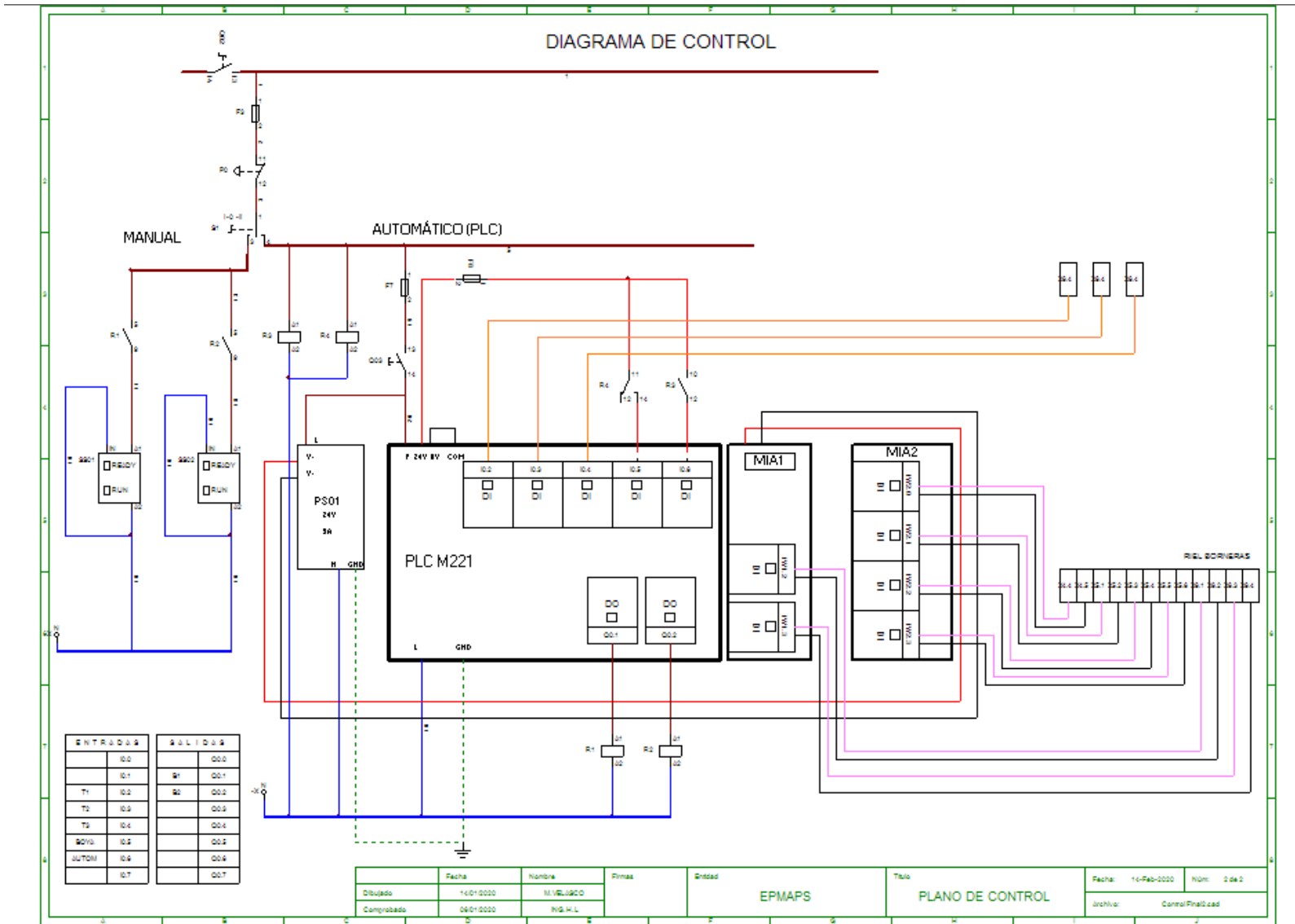
- Endress + Hauser. (2005). *Medición de caudal*. Barcelona.
- Endress+Hauser. (2009). *Operating Instructions Proline Promag 50*. Endress+Hauser.
- Endress+Hauser. (2010). *Prosonic S FMU90*. Switzerland.
- EPN. (2007). Actuadores. *Automatización y Control Industrial*.
- Escalona Hernandez, M., & Morillo Pozo, J. (2017). *Teoría Clásica de Control Automático y Aplicaciones en Ingeniería*. Quito: Editorial Jurídica del Ecuador.
- FESTO. (2008). *Fundamentos de la técnica de automatización*. Alemania.
- GLI International. (2010). *Operating Manual Accu4 Low-Range Turbidimeter System*. Milwaukee.
- Guerrero, V., Yuste, R. L., & Martínez, L. (s.f.). *Comunicaciones industriales*. Alfaomega.
- HACH. (2014). *Modbus Module User Manual*. Loveland: Hach Company.
- HACH. (2016). *1720E Low Range Turbidimeter User Manual*. Switzerland.
- HACH. (2016). *User Manual SC200 Controller*. Switzerland: DOC023.53.80040.
- Hernández Tinoco, M. (2016). *Desarrollo e implementación de una red de datos basada en Modbus y Ethernet para autómatas industriales*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Inductive automation. (3 de 10 de 2018). *inductiveautomation*. Obtenido de <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>
- León Araujo, F. (s.f.). *Diseño, construcción e implementación de un sistema para el manejo de un periférico de los ascensores del edificio Paco mediante comunicación serial y protocolo Modbus RTU*. Quito: EPN.
- López López, D. A., & Sánchez Navarrete, G. E. (2008). *Diseño e Implementación del Sistema SCADA para el Dosificador de Polímero de la Planta de Tratamiento de agua potable del Casigana de EMAPA*. Latacunga.
- López Salazar, R. C., & Mora Ledesma, E. A. (2017). *Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para una Red de Comunicación Industrial utilizando protocolo abierto Modbus RTU – TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la Estación de Multivariables Físicas, en el Laboratorio de la ESPE*. Latacunga: ESPE.
- Maraña, J. C. (2005). *Instrumentación y Control de Procesos*. Idom.
- Montoro, S., Lorite, J. A., & Romera, P. J. (1994). *Automatización Problemas Resueltos con Autómatas Programables*. Paraninfo.

- Moreno Gil, J., & Lasso Tarraga, D. (s.f.). *Autómatas Programables Módulo I*. Madrid: Automatización Avanzada y Formación.
- Muñoz Hernandez, J. A. (2008). *Instrumentación medición de flujo de gas*. Ibagué:
- Pallas Areni, R. (2006). *Sensores y Acondicionadores de Señales*. México: Alfaomega.
- Ramos Medina, J. P. (2014). *Diseño de los sistemas SCADA y de control para la microcentral hidroeléctrica "Tanque Bellavista Alto" de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS*. Quito: EPN.
- Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo.
- Rodríguez Penin, A. (2013). *Sistemas SCADA*. México D.F: Alfaomega.
- Sampieri, R. (s.f.). *Metodología de la investigación*.
- Schneider Electric. (2017). *Modicon M221 Logic Controller Guía de hardware*.
- Schneider Electric. (2019). *Product data sheet TM2AMI4LT*.
- Schneider Electric. (2020). *Data sheet TM221CE16R*.
- Schneider Electric. (2020). *Ficha técnica TM3AM6G*.
- Severn Trent Services. (01 de 02 de 2018). *Severn Trent*. Obtenido de <http://www.aciltd.ca/pdf/microchem2.pdf>
- Viteri, M., & Yancey, G. (31 de 07 de 2013). *InSource Solutions*. Obtenido de https://knowledge.insourcess.com/IntelaTrac/Tech_Notes/Wonderware_Hardware_Requirements
- Weidmuller. (2018). *Hoja técnica WAS5 CCC 20LP*. Germany: Weidmuller.
- Wonderware by Schneider Electric. (2014). *Creating and Managing Archestra Graphics User's Guide*. Lake Forest: Invensys.
- Wonderware by Schneider Electric. (2014). *InTouch Modern Application Guide*. Lake Forest: Invensys Systems.
- Wonderware by Schneider Electric. (2014). *Platform Manager User's Guide*. Lake Forest: Invensys.
- Wonderware Training. (2006). *InTouch HMI 9.5 Fundamentals of Application Development Course*. Invensys System.
- Wonderware Training. (2009). *InTouch Software Part I*. Invensys Systems .

ANEXOS

ANEXO A: PLANOS ELÉCTRICOS





ANEXO B: EQUIPOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL



Technical Information

Prosonic S FMU90

Transmitter in housing for field or top-hat rail mounting
for the ultrasonic sensors FDU91/91F/92/93/95/96



Application for level measurement

- Continuous, non-contact level measurement of fluids, pastes, sludge and powdery to coarse bulk materials with 1 or 2 ultrasonic sensors
- Measuring range up to 70 m (depending on sensor and material measured)
- Level limit detection (up to 6 relays)
- Pump control (alternating); rake control
- Option: additional pump control functions (pump function test, ...)
- Calculations: average, difference, sum

Application for flow measurement

- Flow measurement in open channels and measuring weirs with 1 or 2 ultrasonic sensors
- Simultaneous measurement of level and flow in a stormwater overflow basin with only 1 sensor
- Flow measurement with back water detection (2 sensors) or sludge detection
- Up to 3 totalizers and 3 (resettable) counters; optionally resettable via digital inputs
- Counting or time pulse output for control of external units

Your benefits

- Simple, menu-guided operation with 0-line plain text display; 15 languages selectable
- Envelope curves on the display for quick and simple diagnosis
- Easy operation, diagnosis and measuring point documentation with the supplied "ToF-Tool - FieldTool Package" operating program.
- Option: four digital inputs (e.g. for pump feedback) and one external temperature input
- Time-of-flight correction via integrated or external temperature sensors
- Linearisation (up to 32 points, freely configurable)
- Linearisation tables for the most common flumes and weirs pre-programmed and selectable
- Online calculation of the flume-/weir-flows via integrated flow curves
- Pre-programmed pump control routines
- System integration via HART or PROFIBUS DP
- Automatic detection of the sensors FDU9x
- The sensors of the former series FDU8x can be connected (for certificates see note on page 8)

Output

Analogue outputs

Number	1 or 2, depending on instrument version
Output signal	configurable at the instrument: <ul style="list-style-type: none"> ■ 4 ... 20 mA with HART¹⁾ ■ 0 ... 20 mA without HART
Signal on alarm	<ul style="list-style-type: none"> ■ for setting 4 ... 20 mA, selectable: <ul style="list-style-type: none"> - -10% (3,6 mA) - +10% (22 mA) - HOLD (last current value is held) - user specific ■ for setting 0 ... 20 mA: <ul style="list-style-type: none"> - +10% (21,6 mA) - HOLD (last current value is held) - user specific
Output damping	freely selectable, 0 ... 1000 s
Load	max. 600 Ω, influence negligible
max. ripple	$U_{\text{ripple}} = 200 \text{ mV}$ at 47 ... 125 Hz (measured at 500Ω)
max. noise	$U_{\text{noise}} = 2,2 \text{ mV}$ at 500 Hz... 10 kHz (measured at 500Ω)

1) The HART signal is assigned to the first analogue output. The second analogue output does not carry a HART signal.

Relay outputs

Number	1, 3 or 6; depending on the instrument version
Type	potential-free relay, SPDT, can be inverted
Assignable functions	<ul style="list-style-type: none"> ■ limit (inband, out-of-band, trend, level limit) ■ counting pulse¹⁾ (pulse width adjustable) ■ time pulse¹⁾ (pulse width adjustable) ■ alarm/diagnosis (e.g. indication of backwater¹⁾, sludge¹⁾, echo loss etc.) ■ pump control (alternating/fixed limit/pump rate) ■ for FMU90-*3****** and FMU90-*4******): additional pump control (standby pump, storm function to avoid unnecessary run times of the pumps, pump function test, flush control to clean pump shafts, operating hours alarm, pump alarm) ■ rake control (difference or relative measurement) ■ fieldbus relay (to be switched directly from the Profibus DP-bus)
Switching power	<ul style="list-style-type: none"> ■ DC voltage: 35 V_{DC}, 100 W ■ AC voltage: 4 A, 250 V, 100 VA at $\cos\phi = 0,7$
State on error	selectable: <ul style="list-style-type: none"> ■ HOLD (last value is held) ■ energized ■ de-energized ■ present value is used
Behaviour after power failure	switch-on delay selectable
LEDs ²⁾	A yellow LED on the front panel is allocated to each relay, which lights if the relay is energized. The LED of an alarm relay lights during normal operation. The LED for a pulse relay briefly flashes at every pulse.

1) for instrument versions with flow software (FMU90 - ***2********)

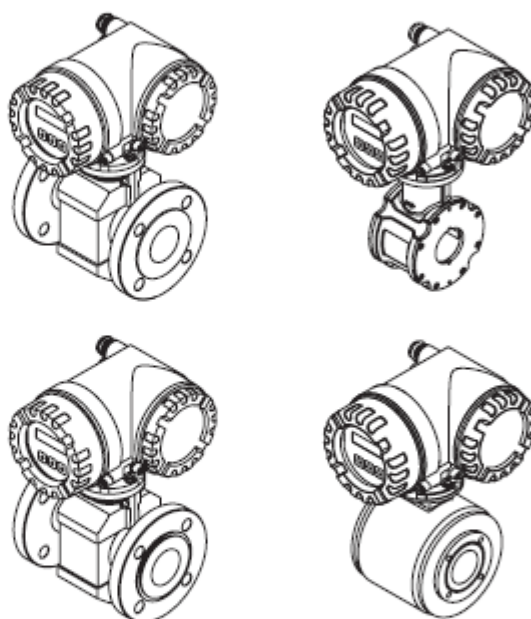
2) for instrument versions with display and operating module



Operating Instructions

Proline Promag 50

Electromagnetic flow measuring system



BA046D/06/es/12.09
71106181
Valid as of version
V 2.03.XX (device software)

Endress+Hauser 
People for Process Automation

10 Technical data

10.1 Technical data at a glance

10.1.1 Application

→ 5

10.1.2 Function and system design

Measuring principle	Electromagnetic flow measurement on the basis of Faraday's Law.
---------------------	---

Measuring system	→ 7
------------------	-----

10.1.3 Input

Measured variable	Flow velocity (proportional to induced voltage)
-------------------	---

Measuring range	Typically $v = 0.01$ to 10 m/s (0.033 to 33 ft/s) with the specified accuracy
-----------------	---

Operable flow range	Over 1000 : 1
---------------------	---------------

Input signal	<i>Status input (auxiliary input)</i> <ul style="list-style-type: none"> ■ Galvanically isolated ■ $U = 3$ to 30 V DC ■ $R_i = 5$ kΩ ■ Can be configured for: totalizer reset, positive zero return, error message reset.
--------------	--

10.1.4 Output

Output signal	<i>Current output</i> <ul style="list-style-type: none"> ■ Galvanically isolated ■ Active/passive can be selected: <ul style="list-style-type: none"> – Active: 0/4 to 20 mA, $R_L < 700$ Ω (HART: $R_L \geq 250$ Ω) – Passive: 4 to 20 mA, supply voltage V_S 18 to 30 V DC, $R_L \geq 150$ Ω) ■ Time constant can be selected (0.01 to 100s) ■ Full scale value adjustable ■ Temperature coefficient: typ. 0.005% o.f.s./$^{\circ}$C, resolution: 0.5 μA o.f.s. = of full scale value <i>Pulse/frequency output</i> <ul style="list-style-type: none"> ■ Galvanically isolated ■ Passive: 30 V DC / 250 mA ■ Open collector ■ Can be configured as: <ul style="list-style-type: none"> – Pulse output <ul style="list-style-type: none"> Pulse value and pulse polarity can be selected, max. pulse width adjustable (0.5 to 2000 ms) – Frequency output <ul style="list-style-type: none"> Full scale frequency 2 to 1000 Hz ($f_{max} = 1.25$ Hz), on/off ratio 1:1, pulse width max. 10 s.
---------------	---

ANEXO C: EQUIPOS DE MEDICIÓN DE NIVEL

VANTAGE 2200 ULTRASONIC FLOW & LEVEL METER**INSTALLATION &
OPERATING MANUAL****EASTECH**

General Specifications

Span Range	<p>FB5: 0 to 25 feet. Maximum total range including offset distance is 26 feet. Minimum offset 1 foot.</p> <p>FB7: 0 to 15 feet. Maximum total range including offset distance is 16 feet. Minimum offset 1 foot.</p> <p>FB3: 0 to 50 feet. Maximum total range including offset distance is 52 feet. Minimum offset 2 feet.</p>
Outputs	<p>4-20 mA DC isolated; 800 ohms max.</p> <p>Up to Five programmable relays, SPDT .25 amp @ 120 VAC, .5 amp @ 24 VDC.</p> <p>RS-232 Serial Port, 9600 – 36500 Baud, Modbus™ Protocol</p> <p>RS-485 Serial Port optically isolated, Modbus™ Protocol (2220 only)</p>
Display	4 line, 20 characters per line backlit LCD display.
Programming	Front panel mounted 16 button keypad.
Power	90/240 VAC, 50/60 Hz, or 12 VDC @ 150 mA continuous.
Accuracy	<p>FB5: ± 0.02" or ± 0.05% of target distance</p> <p>FB7: ± 0.02" or ± 0.05% of target distance</p> <p>FB3: ± 0.1" or ± 0.1% of target distance</p>
Sensors	<p>FB5:</p> <p>Temperature Range: -20° to 160° F (-30° to 70° C) 50 kHz</p> <p>Operating Frequency: 60 KHz</p> <p>Beam Angle: 6° included at -3dB Boundary</p> <p>Housing: PVC body, PVC cap</p> <p>Cable: 2 twisted pair, foil shielded, standard lengths of 32 feet (10 meters) or 65 feet (20 meters). May splice up to 1000 ft maximum of Belden 8728 or equal</p> <p>FB7:</p> <p>Temperature Range: -20° to 160° F (-30° to 70° C) 50 kHz</p> <p>Operating Frequency: 51 KHz</p> <p>Beam Angle: 8° included at -3dB Boundary</p> <p>Housing: Tefzel™ body, Teflon™ cap</p> <p>Cable: 2 twisted pair, foil shielded, standard lengths of 32 feet (10 meters) or 65 feet (20 meters). May splice up to 1000 ft maximum of Belden 8728 or equal</p> <p>FB3:</p> <p>Temperature Range: -40° to 200° F (-40° to 90° C) 30 kHz</p> <p>Operating Frequency: 30 KHz</p> <p>Beam Angle: 14° included at -3dB Boundary</p> <p>Housing: Glass filled polyester / Glass reinforced epoxy face</p> <p>Cable: 100 feet of 2 twisted pair, foil shielded. May splice up to 300 ft maximum of Belden 8728 or equal.</p> <p>The maximum range will be reduced for cable lengths over 300 feet. The range is reduced 1 foot for every 100 feet of cable over 300 feet.</p>
Electronic Enclosure	IP66/NEMA 4X standard, temperature range: -4° to 158° F (-20° to 70° C) Optional with heater, temperatures down to -40° F (-40°C)
Optional Modem	14400 BBS data speed

TECHNICAL BRIEF

FB LEVEL SENSORS

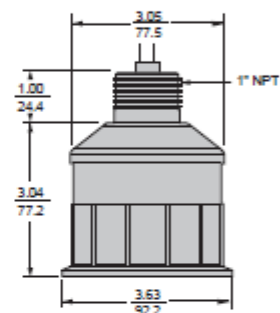
Description:

The FB series of height sensors are designed to operate with the Vantage 2200 series electronics for open channel flow or level measurements. The FB family of height sensors incorporate a piezo crystal and a temperature compensator within their housings. There is also a diode protection network designed to protect these components inside the housing.



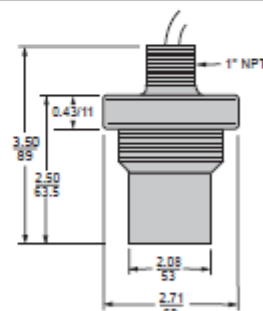
FB5 Sensor

Application: Flow and/or Level
 Range: 0-25 Feet (with minimum 1 ft offset region)
 Accuracy: $\pm 0.02''$ or $\pm 0.05\%$ of target distance, whichever is greater
 Material: PVC Glass Filled Polyester
 Cable: 1 conductor, 3 shields (Belden 3124A) PVC coated
 Cable lengths: 30, 100, 200 ft standard. Special over 200 ft. up to 1000 ft. max.
 Operating frequency: 50KHZ
 Temperature: -40° F to 158° F (-40° to 70° C)



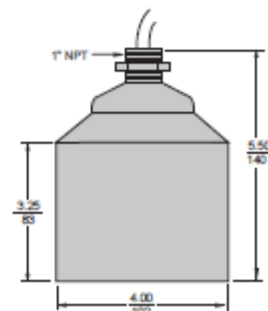
FB2 Sensor

Application: Flow and/or Level (Food Safe)
 Range: 0-16 Feet (with minimum 1 ft offset region)
 Accuracy: $\pm 0.02''$ or $\pm 0.05\%$ of target distance, whichever is greater
 Material: Tefzel
 Cable: 4 conductor, 3 shields (Belden 8728) PVC coated
 Cable lengths: 30, 100, 200 ft standard. Special over 200 ft. up to 1000 ft. max.
 Operating frequency: 51KHZ
 Temperature: -40° F to 158° F (-40° to 70° C)



FB3 Sensor

Application: Level
 Range: 0-50 Feet (with minimum 2 ft offset region)
 Accuracy: $\pm 0.1''$ or $\pm 0.1\%$ of target distance, whichever is greater
 Material: ABS
 Cable: 4 conductor, 3 shields (Belden 8728) PVC coated
 Cable lengths: 100 ft standard, 300ft maximum.
 Operating Frequency: 30KHZ
 Temperature: -40° F to 158° F (-40° to 70° C)

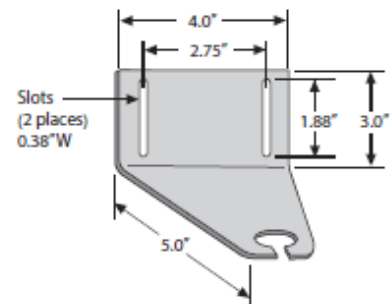


TECHNICAL BRIEF

FB LEVEL SENSORS

Sensor Bracket:

A Stainless Steel sensor bracket is provided with each FB sensor. Dimensions are shown to the right. Simply route cable through the end of the bracket and slide the 1 inch nipple through the hole in the bracket and tighten both nuts.



Sensor Bracket:

All primary devices (flume/weirs) will have a horizontal distance that is required. This dimension is usually upstream of the restriction in the device. (i.e. throat of flume, or crest of weir)

On both level and flow measurements, there is a minimum clearance from a wall or obstruction to the side of the sensor. (Refer to the drawing on the right.) This dimension is referred to as "A". "A" is calculated as follows:

FB5 Sensor: A = 6 degrees or (0.09* Total Range)

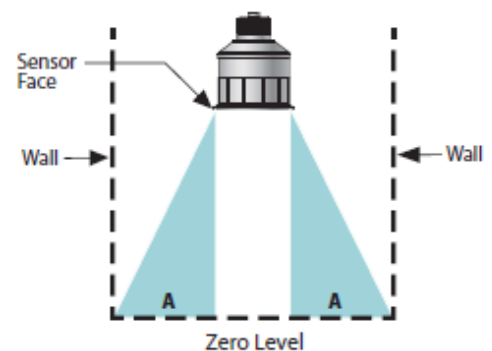
FB2 Sensor: A = 5 degrees or (0.07* Total Range)

FB3 Sensor: A = 5 degrees or (0.09* Total Range)

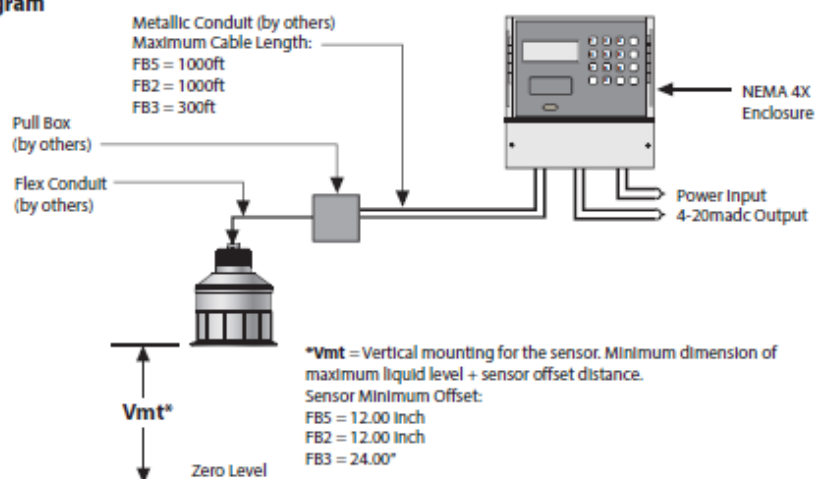
Total Range = Distance from bottom of sensor to zero level in feet or inches.

Example: Using an FB5 with a Total Range of 10ft. $0.09 * 10\text{ft} = 0.9\text{ft}$, or 10.8in.ft.

The sensor will need to be mounted as a minimum of 0.09ft or 10.8 inches away from any wall or obstruction.



System Diagram



ANEXO D: PLC Y MÓDULOS DE ENTRADAS

Ficha técnica del producto

Características

TM221CE16R

M221 Plc 16 Es Rele Eth Compact



Principal

Rango de producto	Modicon M221
Tipo de producto o componente	Controlador lógico
[Us] tensión de alimentación nominal	100 ... 240 V CA
Número de entrada digital	9, entr. discreta conforme a IEC 61131-2 tipo 1
Número de entrada analógica	2 a 0...10 V
Tipo de salida digital	Relé normalmente abierto
Número de salida digital	7 relé
Tensión de salida digital	5 ... 125 V CC 5 ... 250 V CA
Corriente de salida digital	2 A

Complementario

Número de E/S digitales	16
Número de módulo de expansión de E / S	4 para salida transistor 4 para salida del relé
Límites tensión alimentación	85 ... 264 V
Frecuencia asignada de empleo	50/60 Hz
Corriente de entrada	40 A
Maximum power consumption in VA	49 VA a 100 ... 240 V con el número máximo de módulo de expansión de E / S 33 VA a 100 ... 240 V sin módulo de expansión de E / S
Corriente de salida fuente de alimentación	0,325 A 5 V para bus de expansión 0,12 A 24 V para bus de expansión
Lógica de entrada digital	Receptor o suministro (positivo/negativo)
Tensión de entrada digital	24 V
Tipo de voltaje entrada discreto	CC
Resolución de entrada analógica	10 bits
Valor LSB	10 mV
Tiempo conversión	1 ms por canal + 1 tiempo de ciclo del controlador para analoga entrada entrada analógica
Sobrecarga permitida en entradas	+/- 30 V CC para 5 minutos (máximo) para entrada analógica +/- 13 V CC (permanente) para entrada analógica

28/02/2020

	A/B Fase única
Tipo de conexión integrada	Puerto USB con USB 2.0 mini B conector Enlace serie sin aislar serie 1 con RJ45 conector y RS232/RS485 interfaz Ethernet con RJ45 conector
Alimentación	(de serie)fuentes de alimentación de enlace serie: 5 V, <200 mA
Velocidad de transmisión	1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) para bus longitud de 15 m para RS485 1,2-115,2 kbit/s (115,2 kbit/s por defecto) para bus longitud de 3 m para RS232 480 Mbit / s para USB
Protocolo de puerto de comunicaciones	Puerto USB: USB protocolo - SoMachine-Red Enlace serie sin aislar: Modbus protocolo maestro/esclavo - RTU/ASCII o Red SoMachine : Ethernet protocolo
Puerto Ethernet	10BASE-T/100BASE-TX 1 puerto con 100 m cable cobre
Servicio de comunicación	Cliente DHCP Adaptador Ethernet / IP Servidor Modbus TCP Dispositivo esclavo Modbus TCP Cliente Modbus TCP
Señalizaciones frontales	PWR: 1 LED (verde) RUN: 1 LED (verde) Error de módulo (ERR): 1 LED (rojo) Acceso a tarjeta SD (SD): 1 LED (verde) BAT: 1 LED (rojo) Estado de E/S: 1 LED por canal (verde) SL: 1 LED (verde) ACT: actividad de la red Ethernet (verde) Enlace (Estado Enlace): Enlace de red Ethernet (amarillo)
Conexión eléctrica	bornero de tornillo extraíble para insumos bornero de tornillo extraíble para salidas bornero, 3 terminal(es) para conexión de la fuente de alimentación de 24 V CC conector, 4 terminal(es) para entradas analógicas USB 2.0 mini B conector para un terminal de programación
Maximum cable distance between devices	Cable blindado: <10 m para entrada rápida Unshielded cable: <30 m para salida Unshielded cable: <30 m para entrada digital Unshielded cable: <1 m para entrada analógica
Aislamiento	Entre entrada y lógica interna a 500 V CA Sin aislamiento entre entrada analógica y lógica interna Sin aislamiento entre las entradas analógicas Entre el suministro y el suelo a 1500 V CA Entre la fuente de alimentación del sensor y la tierra a 500 V CA Entre entrada y tierra a 500 V CA Entre salida y tierra a 1500 V CA Entre la oferta y la lógica interna a 2300 V CA Entre la fuente de alimentación del sensor y la lógica interna a 500 V CA Entre salida y lógica interna a 2300 V CA Entre el terminal Ethernet y la lógica interna a 500 V CA Entre alimentación y alimentación del sensor a 2300 V CA
Marcado	CE
Fuente de alimentación de detector	24 V CC a 250 mA suministrado por el controlador
Soporte de montaje	Tipo sombrero de copa TH35-15 perfil conforme a IEC 60715 Tipo sombrero de copa TH35-7.5 perfil conforme a IEC 60715 placa o panel con juego de fijación
Alto	90 mm
Profundidad	70 mm
Ancho	95 mm
Peso del producto	0,346 kg

Entorno

Normas	EN / IEC 61010-2-201 EN/IEC 60664-1 EN/IEC 61131-2
Certificados de producto	CSA CULus LR RCM

Ficha técnica del producto

Características

TM3AM6G

Modulo entradas analogas 4 x V/I - 2 x V/I - 12 bits resorte



Principal

Gama	Modicon TM3
Tipo de producto o componente	Módulo analógico de entrada/salida
Compatibilidad de la gama	Modicon M221 Modicon M241 Modicon M251
Número de entrada analógica	4
Tipo de entrada analógica	corriente 4...20 mA corriente 0...20 mA tensión 0...10 V tensión -10...10 V
Número de salida analógica	2
Tipo de salida analógica	Corriente 4...20 mA Corriente 0...20 mA Tensión 0...10 V Tensión -10...10 V

Complementos

Resolución de entrada analógica	12 bits 11 bits + sign
Sobrecarga continua admitida	13 V tensión 40 mA corriente
Tapa de conexiones trasero	<= 50 Ohm corriente >= 1 MOhm tensión
Resolución de salida analógica	12 bits 11 bits + sign
Clip-en las cubiertas	2.44 mV 0...10 V tensión 4.88 mV - 10...10 V tensión 4.88 µA 0...20 mA corriente 3.91 µA 4...20 mA corriente
Tipo de carga	Resistivo
Impedancia ohmica de la carga	1 kOhm tensión 300 Ohm corriente

28-02-2020

Life to On | Schneider
Electric

1

Product data sheet

Characteristics

TM2AMI4LT

analog input module M238- 4 inputs voltage/
current/temperature- non differential

Product availability : Stock - Normally stocked in distribution facility



Price* : 623.00 USD



Main

Range of product	Modicon M238 logic controller
Product or component type	Analog input module
Analogue input number	4
Analogue input type	Current 0...20 mA non differential Voltage 0...10 V non differential Temperature probe - 200...600 °C Pt 100/Pt 1000 non differential Temperature probe - 50...150 °C Ni 100/Ni 1000 non differential
Cross talk	≤ 1 LSB

Complementary

Range compatibility	Advantys OTB Twido
Analogue input resolution	12 bits
LSB value	0.2 °C temperature probe Pt 100/Pt 1000 0.05 °C temperature probe Ni 100/Ni 1000 2.5 mV voltage voltage 4.8 µA current current
Permissible continuous overload	13 V voltage 40 mA current
Input impedance	≥ 10 kOhm temperature probe 10 kOhm voltage 470 Ohm current
Sampling duration	160 ms
Acquisition period	160 ms per channel + 1 controller cycle time voltage/current 320 ms per channel + 1 controller cycle time temperature probe
Measurement error	+/- 0.4 % of full scale Pt 100/Pt 1000, Ni 100/ Ni 1000 25 °C +/- 0.2 % of full scale 0...10 V 0...10 V 25 °C +/- 0.2 % of full scale 4...20 mA 4...20 mA 25 °C
Temperature coefficient	+/- 0.004 %FS/°C temperature probe +/- 0.009 %FS/°C current

Jun 1, 2019

Lib is On | Schneider

1

Disclaimer: This documentation is not intended as a substitute for and is not to be used for determining suitability or reliability of these products for specific user applications

ANEXO E: INSTRUMENTACIÓN

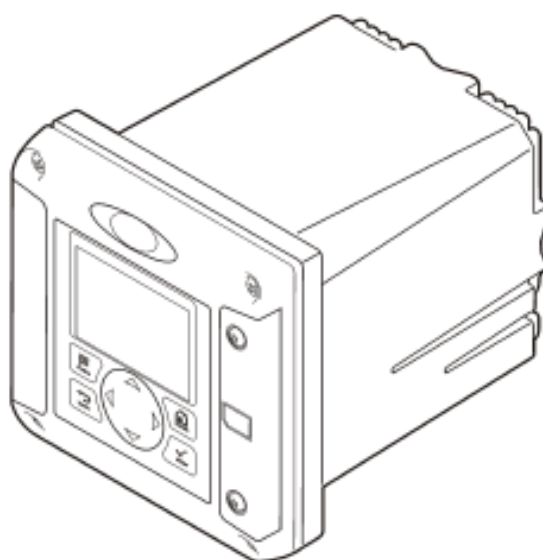


DOC023.53.80040

SC200 Controller

05/2018, Edition 9

User Manual



Specifications

Specifications are subject to change without notice.

Specification	Details
Component description	Microprocessor-controlled and menu-driven controller that operates the sensor and displays measured values.
Operating temperature	-20 to 60 °C (-4 to 140 °F); 95% relative humidity, non-condensing with sensor load <7 W; -20 to 50 °C (-4 to 104 °F) with sensor load <28 W
Storage temperature	-20 to 70 °C (-4 to 158 °F); 95% relative humidity, non-condensing
Enclosure ¹	NEMA 4X/IP66 metal enclosure with a corrosion-resistant finish
Power requirements	AC powered controller: 100-240 VAC ±10%, 50/60 Hz; Power 50 VA with 7 W sensor/network module load, 100 VA with 28 W sensor/network module load (optional Modbus, RS232/RS485, Profibus DPV1 or HART network connection).
	24 VDC powered controller: 24 VDC—15%, +20%; Power 15 W with 7 W sensor/network module load, 40 W with 28 W sensor/network module load (optional Modbus, RS232/RS485, Profibus DPV1 or HART network connection).
Altitude requirements	Standard 2000 m (6562 ft) ASL (Above Sea Level)
Pollution degree/installation category	Pollution Degree 2; Installation Category II
Outputs	Two analog (0-20 mA or 4-20 mA) outputs. Each analog output can be assigned to represent a measured parameter such as pH, temperature, flow or calculated values. Optional module supplies three additional analog outputs (5 total).
Relays	Four SPDT, user-configured contacts, rated 250 VAC, 5 Amp resistive maximum for the AC powered controller and 24 VDC, 5A resistive maximum for the DC powered controller. Relays are designed for connection to AC Mains circuits (i.e., whenever the controller is operated with 115 - 240 VAC power) or DC circuits (i.e., whenever the controller is operated with 24 VDC power).
Dimensions	½ DIN—144 x 144 x 180.9 mm (5.7 x 5.7 x 7.12 in.)
Weight	1.7 kg (3.75 lb)
Compliance information ²	CE approved (with all sensor types). Listed for use in general locations to UL and CSA safety standards by ETL (with all sensor types). Certain AC mains powered models are listed for use in general safety locations to UL and CSA safety standards by Underwriters Laboratories (with all sensor types).
Digital communication	Optional Modbus, RS232/RS485, Profibus DPV1 or HART network connection for data transmission
Data logging	Secure Digital Card (32 GB maximum) or special RS232 cable connector for data logging and performing software updates. The controller will keep approximately 20,000 data points per sensor.
Warranty	2 years

General information

In no event will the manufacturer be liable for direct, indirect, special, incidental or consequential damages resulting from any defect or omission in this manual. The manufacturer reserves the right to

¹ Units that have the Underwriters Laboratories (UL) certification are intended for indoor use only and do not have a NEMA 4X/IP66 rating.

² DC powered units are not listed by UL.



DOC023.52.03221

1720E Low Range Turbidimeter

USER MANUAL

04/2016, Edition 8

Section 1 Specifications

Specifications are subject to change without notice.

Table 1 1720E Low Range Specifications

Range	0–100 nephelometric turbidity units (NTU)			
Measurement Units	mg/L, NTU, TE/F, FTU, Degree			
Accuracy¹	± 2% of reading or ± 0.02 NTU (whichever is greater) from 0 to 40 NTU; ± 5% of reading from 40 to 100 NTU (when calibration is performed at 20.0 NTU with the offset turned off).			
Linearity¹	Better than 1% 0–40 NTU on formazin. Allows for accurate calibration at high turbidity values.			
Resolution (Displayed)	0.0001 NTU up to 9.9999 NTU; 0.001 NTU from 10.000 to 99.999 NTU; 0.01 NTU at 100.00 NTU			
Repeatability	Better than ±1.0% of reading or ±0.002 NTU, whichever is greater			
Response Time	For a full-scale step change, initial response in 1 minute, 15 seconds. Varies with flow rate, see the table below. The response time is also dependent on the signal averaging time, which is user selectable.			
	% Step Change	Flow Rate		
		750	500	250
	10	1¼ minutes	1½ minutes	2½ minutes
	50	2 minutes	2½ minutes	6 minutes
90	3½ minutes	3½ minutes	9 minutes	
99	4 minutes	5 minutes	12 minutes	
Sample Flow Required	250 to 750 mL/minute			
Storage Temperature	–20 to 60 °C (–4 to 140 °F)			
Operating Temperature	0 to 50 °C (32–122 °F) for single sensor system, 0 to 40 °C (32–104 °F) for two sensor system			
Sample Temperature Range	0 to 50 °C			
Operating Humidity	5 to 95% non-condensing			
Power Requirements	12 VDC ± 5%, 12.5 Watts maximum			
Sample Inlet Fitting	¼ inch barb fitting to ¼-inch NPT male adapter			
Signal Average Time	no averaging, 6, 30, 60, and 90 seconds, user selectable. Default is 30 seconds.			
Dimensions	Turbidimeter body and cap: 25.4 x 30.5 x 40.6 cm (10 x 12 x 16 inches)			
Sensor Cable Length	1.8 m (5.9 ft); optional 7.62 m (25 ft)			
Mounting Options	Turbidimeter Body and Head Assembly: Wall; floor stand			
Shipping Weight	1720E Series 2 Turbidimeter and Controller: 6.31 kg (13.5 lb); 1720E Turbidimeter only: 4.71 kg (10 lb)			
Calibration Methods	<ol style="list-style-type: none"> 1. StablCal® (stabilized formazin) – primary or wet calibration of the instrument. Recommended at 20.0 NTU. 2. Formazin – user-prepared primary or wet calibration of the instrument. Recommended at 20.0 NTU. 3. Multi-sensor calibration – Performed with a specialized calibration procedure for up to eight sensors on a single set of fresh StablCal® standards. 			

Instruction Manual -
MicroChem[®]2 Transmitter and Controller
Series 4000

SEVERN
TRENT
SERVICES

Instrumentation Products



2.3 General Description

MicroChem®2 Analyzer/Controller Family includes 3 types of instruments. Each type, except Type 3, can measure the following parameters: conductivity, pH, ORP, (oxidation reduction potential), dissolved oxygen, chlorine, chlorine dioxide, ozone, bromine, conductivity, fluoride, mA and temperature. Instruments Type 1 and Type 2 can accept any combination of these parameters.

- **Transmitter** (Instrument Type 1)
Transmitters, single, dual or three channel.
- **Controller** (Instrument Type 2)
PID controller for the installed Sensor, with specific algorithms for each type of measured parameter. It can accept an optional 4-20 mA signal from a flowmeter on channel 2. This second input can be used as Feed Forward input in the PID algorithm.
- **Averaging Controller**
Supports either two or three probes. The instrument calculates the average value based on two/three input signals, feeds it to the PID as the process variable, and generates a 4-20 mA analog output control signal or a digital output control signal (contacts closure).
- **Swimming Pool Controller** (Instrument Type 3)
Available in three different parameter combinations:
 - three channels (pH, mV, Cl),
 - two channels (pH and mV),
 - two channels (pH and Cl).
 It performs PID control of two channels: pH (on channel 1) and the sensor installed on channel 2 (when configured as a 2 channel instrument) or on channel 3 (when configured as a 3 channel instrument).

2.4 Technical Specifications

- Display: digital LCD display, dot matrix, 2-line x 16 characters, with back light.
- Power supply, selectable through a jumper on the power supply pc board. (see Sect. 3.4.1):
110 Vac, ±10%, 50/60 Hz
220 Vac, ±10%, 50/60 Hz
Note: All units shipped 220 Vac
- Maximum consumption: 20 VA
- Electrical classification: for non hazardous area
- Enclosure classification: NEMA 4, IP65, suitable for outdoor mounting
- Housing construction material: plastic, Goodlac V0 532 ULSD F17 self extinguishing tested according UL 94 and classified V0 (material ABS plus 17% fiberglass)
- Mounting hardware is supplied
- Analog outputs: one for each installed channel (analog I/O pc board); separately selectable for each channel as 0-20 mA or 4-20 mA (to be specified in the order).
- Outputs are galvanically separated from inputs. Load 0-1000 ohms, protected against short circuits.
- Relay Outputs. Rating: 120/240 VAC/125 VDC @8 A max. Relay contacts can be configured as NO or NC in the configuration menu.
- Serial communication port: RS232, RS422 and RS485 with RJ11 plug-in sockets and 9-pin terminal. The protocol used is illustrated in a dedicated section at the end of this manual.
- Alarm level setting: High and Low alarm for channels 2 or 3. Separate levels for each channel are field selectable. Dead band freely selectable for each channel.
- Measuring ranges: field selectable for each channel within the limits indicated for each parameter, as follows:

PARAMETER	MINIMUM SPAN	MAXIMUM RANGE	DEFAULT SETTING RANGE
pH	1.00 pH	0.00 to 14.00 pH	2.00 to 12.00 pH
mV	100 mV	-1500 to +1500 mV	-500 to +500 mV
O2	2.0 ppm	0.00 to 20.00 ppm	0.00 to 10.00 ppm
O3	0.25 ppm	0.00 to 10.00 ppm	0.00 to 1.00 ppm
Cl	0.25 ppm	0.00 to 10.00 ppm	0.00 to 1.00 ppm
CD	0.25 ppm	0.00 to 10.00 ppm	0.00 to 1.00 ppm
T	5 °C	0 to +100 °C	0 to +100 °C
mA	2 mA	0/4 to 20 mA	4 to 20 mA
F	0.25 ppm	0 to 9999 ppm	0 to 10 ppm
Br	0.25 ppm	0 to 10.00 ppm	0 to 1.00 ppm
ORP	100 mV	-1500 to +1500 mV	-500 to +500 mV
µS	+/- 5% of probe range	0 to 10,000 µS	4 - 20 µS

ANEXO F: EQUIPAMIENTO

Hoja técnica

WAVESERIES WAS5 CCC 20LP

Weidmüller 

Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Klingenbergstraße 16
D-32758 Detmold
Germany
Fon: +49 5231 14-0
Fax: +49 5231 14-292083
www.weidmueller.com

No utilizar el producto para
nuevos desarrollos



Cuando se utilizan en las tareas de supervisión ambiental, los sensores pueden registrar las condiciones ambientales. Las señales de los sensores se utilizan dentro del proceso para realizar un seguimiento continuo de los cambios en el área controlada. Normalmente se trabaja con señales digitales y analógicas.

Normalmente, generan un valor eléctrico de tensión o corriente que es proporcional a las variables físicas que se desean controlar

Cuando los procesos de automatización tienen que mantener de forma constante o alcanzar unas condiciones definidas, se requiere el procesamiento de señales analógicas. Esto es especialmente importante para las aplicaciones de automatización de procesos. En la ingeniería de procesos, suelen utilizarse señales eléctricas normalizadas. Las corrientes y la tensión estandarizadas analógicas de 0(4)...20 mA/ 0...10 V se han establecido como mediciones físicas y variables de control.

Weidmüller responde a los crecientes retos en materia de automatización y ofrece una gama de productos adaptada a los requisitos de gestión de señales de sensores en el procesamiento de señales analógicas

Los productos de procesamiento de señales analógicas pueden utilizarse de forma universal en combinación con otros productos de Weidmüller y entre sí. Su diseño eléctrico y mecánico es tal que solo requieren un trabajo de cableado mínimo.

Los tipos de armario y los métodos de conexión de conductores coinciden con los de la aplicación respectiva, lo que facilita su uso universal en aplicaciones de procesos y de automatización industrial.

La línea de productos incluye las siguientes funciones:

Datos generales por pedido
Transformadores de aislamiento, seccionadores de alimentación y convertidores para señales DC estándar
Convertidores de medición de temperatura para RTD y tipos
WAS5 CCC 20LP
código 8281160000
Convertidores de función para señal/aislador, Conexión brida-terminales
Transductores de medición de potenciómetros, 4032348234402
Transductores de medición de puentes (calibre de tensión)

- amplificadores de valor límite y módulos para el control de variables eléctricas y no eléctricas de proceso
- Convertidores AD/DA
- indicadores
- dispositivos de calibración

Fecha de creación 4 de julio de 2018 20:02:35 CEST

Versión del catálogo 29.06.2018 / Nos reservamos el derecho de introducir modificaciones

1

Switch - FL SWITCH SFN 8TX - 2891929

Please be informed that the data shown in this PDF Document is generated from our Online Catalog. Please find the complete data in the user's documentation. Our General Terms of Use for Downloads are valid (<http://download.phoenixcontact.com>)



Ethernet switch, 8 TP RJ45 ports, automatic detection of data transmission speed of 10/100 Mbps (RJ45), autocrossing function

Product Features

- Auto negotiation and autocrossing detection simplifies installation and setup
- Local diagnostic indicators with LEDs
- The switch also offers cable locking and port blocking
- Data flow control can be disabled to locate network device errors
- QoS-prioritized (Quality of Service) messages
- RJ45 ports support a transmission speed of 10/100 Mbps; fiber optic ports support 100 Mbps
- DC and AC power supplies

Ethernet

Key commercial data

package_quantity	1
GTIN	4046356100823

Technical data

Dimensions

Width	50 mm
Height	120 mm
Depth	70 mm

Ambient conditions

Degree of protection	IP20
Ambient temperature (operation)	0 °C ... 60 °C
Ambient temperature (storage/transport)	-20 °C ... 70 °C
Permissible humidity (operation)	5 % ... 95 % (no condensation)
Permissible humidity (storage/transport)	5 % ... 95 % (no condensation)
Air pressure (operation)	86 kPa ... 108 kPa (up to 1500 m above mean sea level)
Air pressure (storage/transport)	66 kPa ... 108 kPa (up to 3500 m above mean sea level)
Noise immunity	EN 61000-6-2:2005

Interfaces

Interface 1	Ethernet (RJ45)
No. of ports	8 (RJ45 ports)

ANEXO G: HMI INTOUCH 2014 R2



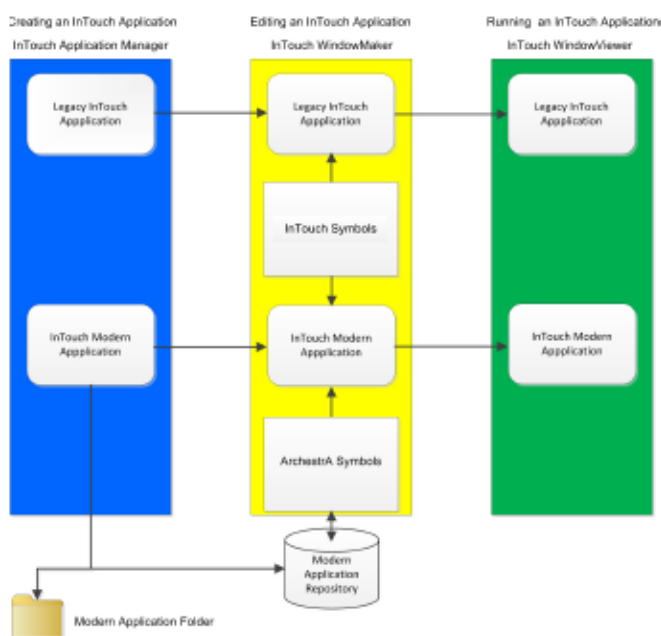
Wonderware
InTouch® Modern
Application Guide

8/26/14

Working With InTouch Modern Applications

The following figure summarizes the workflow of managing and configuring Modern applications. Most management tasks are completed from InTouch Application Manager to:

- Create Modern applications
- Open and edit Modern applications
- Export and import Modern applications
- Migrate earlier versions of InTouch applications to Modern applications
- Publish Modern applications
- Delete Modern applications



Most Modern application configuration tasks are done from WindowMaker to:

- Configure support for other languages
- Configure the Application Style Library
- Configure Alarm Priority Mapping
- Export and import ArchastrA symbols
- Import client controls
- Configure NAD support
- Export and import localization strings for symbols

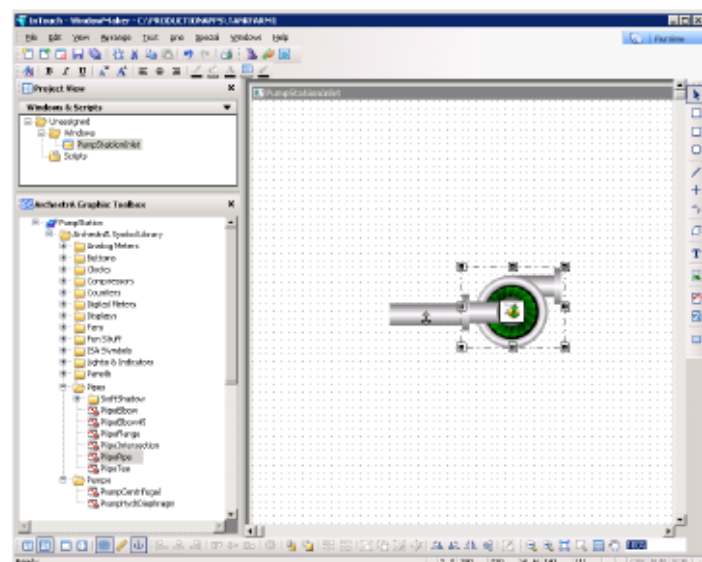


Wonderware
Creating and
Managing ArchestrA
Graphics User's Guide

Chapter 1

Introducing InTouch Modern Applications

Modern InTouch applications give you the capability to easily integrate Arcestra symbols directly into your applications. You simply drag Arcestra or Situational Awareness Library symbols from WindowMaker's Arcestra Graphic Toolbox into Modern application windows. All configuration steps to use Arcestra Graphics are completed from InTouch WindowMaker.



Modern applications combine the capability inherent in Arcestra symbols with the familiar workflow of legacy InTouch applications.

ANEXO H: MANUAL TÉCNICO

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CONOCOTO



Proceso de Tratamiento

Dosificación de Insumos Químicos

Floculación

Sedimentación

Filtración

Desinfección

Almacenamiento



Empresa Pública
Metropolitana
de Agua Potable
y Saneamiento

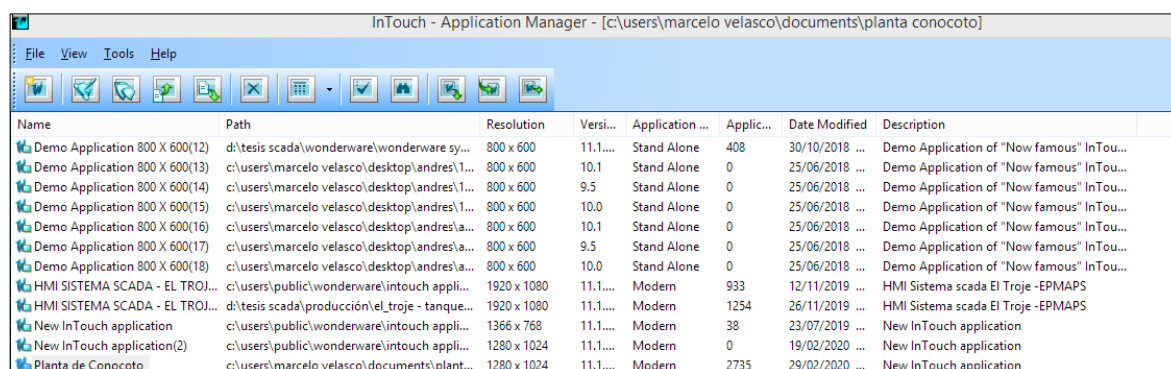
Nombre del Operador:

Clave:

Username: operador

Desarrollado por: Marcelo Velasco

EL sistema SCADA de la PTAP Conocoto empieza desde que se ejecuta el aplicativo en la computadora HMI, donde se encuentra instalado InTouch, posee el nombre Planta de Conocoto, como se observa en la imagen 1.



Name	Path	Resolution	Versi...	Application ...	Applic...	Date Modified	Description
Demo Application 800 X 600(12)	d:\tesis scada\wonderware\wonderware sy...	800 x 600	11.1....	Stand Alone	408	30/10/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(13)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	10.1	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(14)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	9.5	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(15)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	10.0	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(16)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	10.1	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(17)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	9.5	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
Demo Application 800 X 600(18)	c:\users\marcelo velasco\desktop\andres\1...	800 x 600	10.0	Stand Alone	0	25/06/2018 ...	Demo Application of "Now famous" InTou...
HMI SISTEMA SCADA - EL TROJ...	c:\users\public\wonderware\intouch appli...	1920 x 1080	11.1....	Modern	933	12/11/2019 ...	HMI Sistema scada El Troje - EPMAPS
HMI SISTEMA SCADA - EL TROJ...	d:\tesis scada\producción\el_troje - tanque...	1920 x 1080	11.1....	Modern	1254	26/11/2019 ...	HMI Sistema scada El Troje - EPMAPS
New InTouch application	c:\users\public\wonderware\intouch appli...	1366 x 768	11.1....	Modern	38	23/07/2019 ...	New InTouch application
New InTouch application(2)	c:\users\public\wonderware\intouch appli...	1280 x 1024	11.1....	Modern	0	19/02/2020 ...	New InTouch application
Planta de Conocoto	c:\users\marcelo velasco\documents\plant...	1280 x 1024	11.1....	Modern	2735	29/02/2020 ...	New InTouch application

Imagen 1

Se presiona clic derecho en el nombre de la aplicación y seguidamente clic en WindowViewer o se presiona conjuntamente las teclas Ctrl+V.

Seguidamente aparecerá la imagen 2, la cual indica acceder y empezar la aplicación y se da clic en Sí.

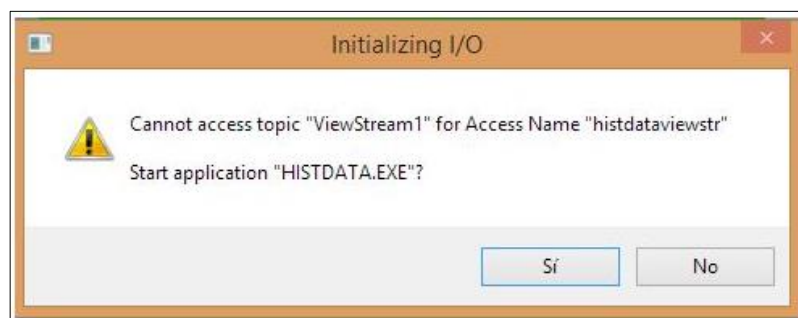


Imagen 2

Se desplegara la imagen 3, donde usted debe poner el usuario y la clave, después aparece el teclado virtual (imagen 4), llene los espacios con la información necesaria, una vez que coloque la clave correctamente seleccione, como se indica la imagen, es importante que recuerde que el usuario para Operador es:

USER: operador

PASSWORD: op



Imagen 3

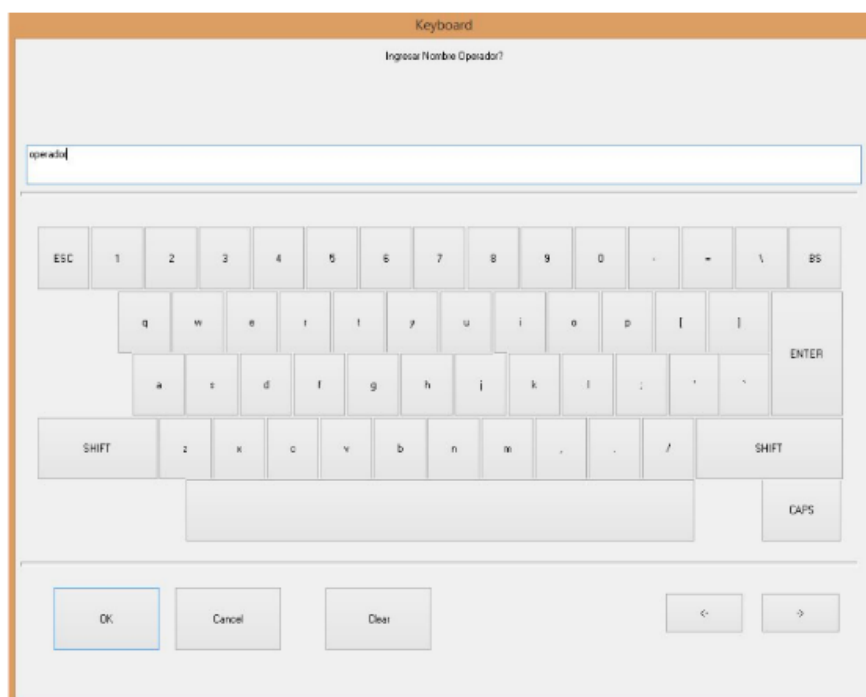


Imagen 4

Si el usuario es autenticado correctamente con el nombre de usuario y la contraseña correcta en la parte inferior donde muestra **Username** aparecerá la identificación que es **operador**, es decir es la persona que ingreso y esto habilitará el icono **Vista General**, como se observa en la imagen 5.

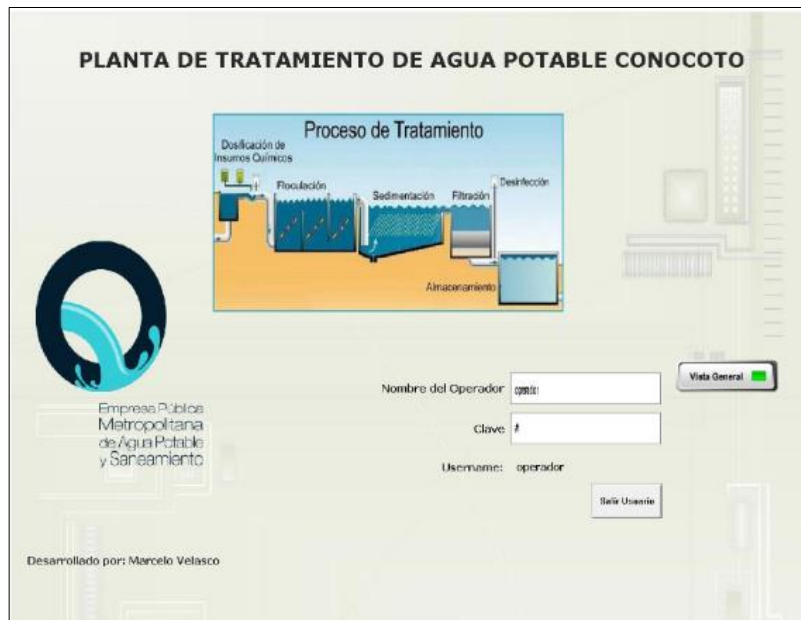


Imagen 5

Una vez que se dé clic en **Vista General**, se desplegará la interfaz gráfica general, con la cual se puede interactuar, ver imagen 6.

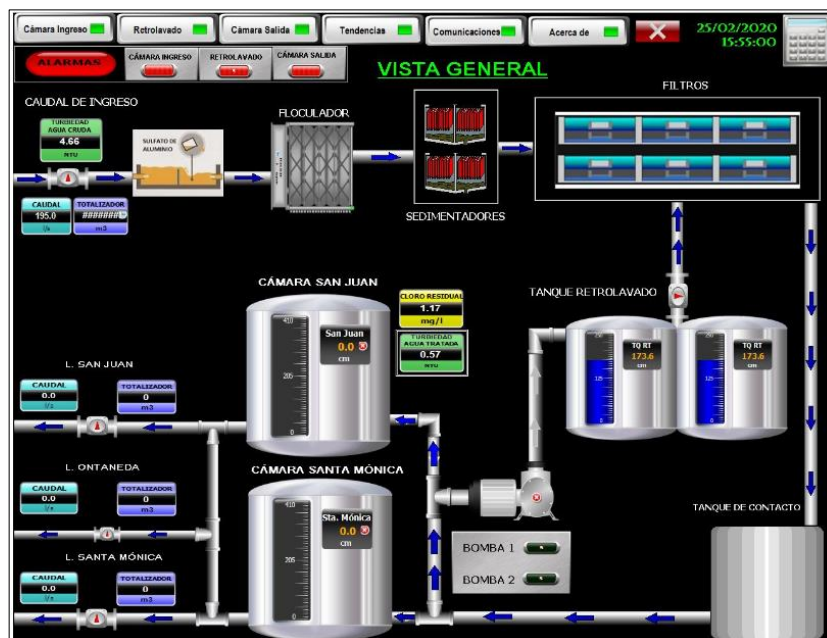


Imagen 6

En la parte superior de la pantalla principal, se encontrará la barra de menú con las opciones para acceder a cada pantalla individual, ver imagen 7.



Imagen 7

En la opción “**Cámara Ingreso**”, al dar un clic se desplegará la imagen 8, que contiene información de: la posición del actuador de ingreso, el caudal instantáneo que está midiéndose y el valor del volumen registrado en m³. Para control de calidad se tiene la medición de la turbiedad de agua cruda mediante un turbidímetro.

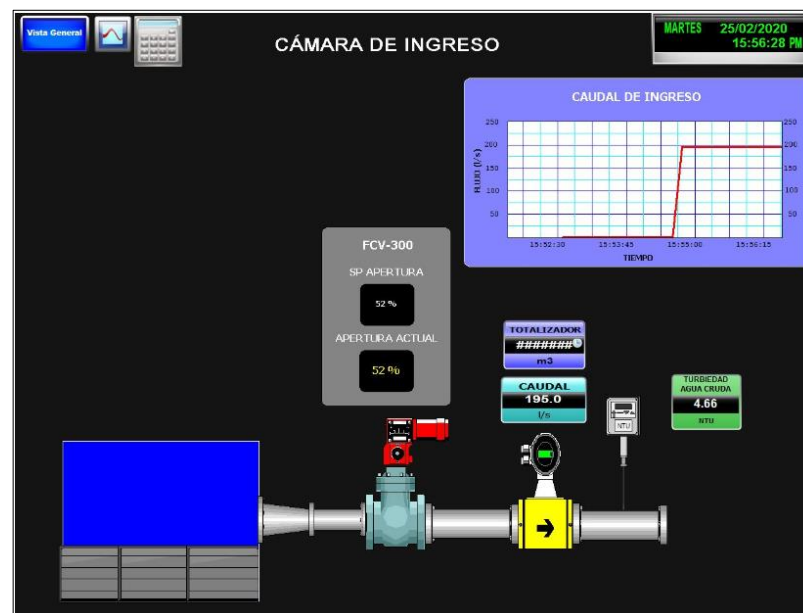


Imagen 8

En la opción “**Retrolavado**”, se observa los niveles al dar un clic, se desplegará la imagen 11, que contiene la información de los niveles de las cámaras de San Juan, Santa Mónica y el tanque de retrolavado. Adicional la pantalla tiene dos modos de bombeo: **MANUAL/AUTOMÁTICO**, ver imagen 9.



Imagen 9

MODO MANUAL

El modo **Manual** habilita los pulsadores tanto de la bomba 1-2 (ver imagen 10); tanto para encender y apagar, si los niveles de las cámaras son mayores a 1,50 metros, se puede mandar las bombas a **ENCENDER** caso contrario NO iniciará el bombeo por los bloqueos en la programación que tiene el PLC, el operador debe estar pendiente a la alerta del mensaje que el tanque de retrolavado llega a 2,50 metros para dar el clic en **APAGAR**.



Imagen 10

La interfaz muestra mensajes tanto para las cámaras de distribución, si no disponen de un nivel suficiente para bombear o si están en su nivel máximo 4,10 metros donde alertan de tanque lleno, en el caso del tanque de retrolavado se presentan mensajes cuando el tanque este por debajo de 1,0 metro y cuando llegue a 2,50 metros que es su valor máximo, ver imagen 11.



Imagen 11

MODO AUTOMÁTICO

El modo Automático deshabilita los pulsadores tanto de la **BOMBA 1** y **BOMBA 2**; es decir no se puede dar clic, su control es automático mediante una boya instalada en una celda del tanque según el nivel la boya inicia el llenado del tanque (enciende bombeo) y cuando se llena el tanque cierra su contacto donde define que está por desbordar el nivel (apaga bombeo).

En la opción “**Cámara Salida**”, se puede observar el caudal instantáneo que pasa en tiempo real por las tres tuberías de salida a la red de distribución que son: la línea san Juan, línea Ontaneda y línea Santa Mónica, así como el registro del volumen en metros cúbicos que son indicadores de la producción enviada por cada línea, ver imagen 12.



Imagen 12

En esta pantalla también se verifica el control de calidad, informado por los equipos de instrumentación en línea, instalados en las tuberías de agua potable. Esta información es

importante porque se conoce la turbiedad y el remante de cloro residual que está yendo a la red de distribución y por ende a la población que abastece.

En la pantalla “**Tendencias**”, se puede observar un histórico de todas las variables registradas por el nombre de las pantallas anteriores en base a la imagen 13.

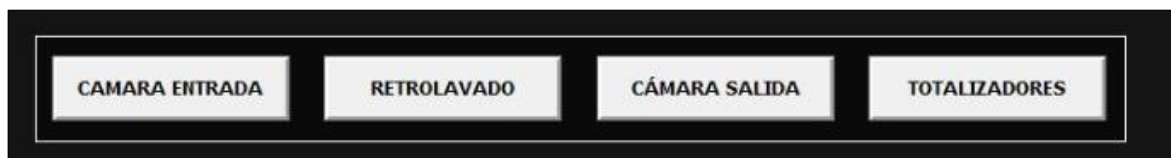


Imagen 13

Esta pantalla muestra en el lado derecho (Parte A) de la imagen 14, el registro del valor según los indicadores de tiempo de la (Parte B) de la imagen 14, donde se puede setear el tiempo si es en horas, minutos, días, etc.

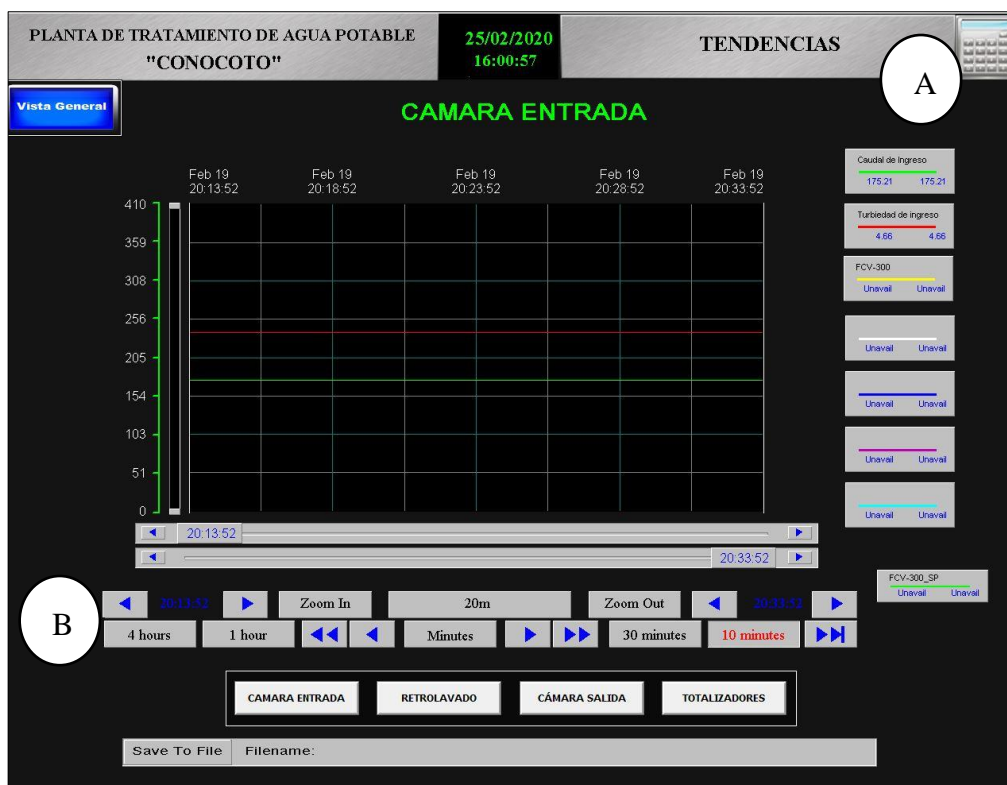


Imagen 14

En la pantalla “**Comunicaciones**”, se puede observar el diagrama de la red TCP/IP en rasgos generales para conocer cómo se encuentra conformada, ver imagen 15.

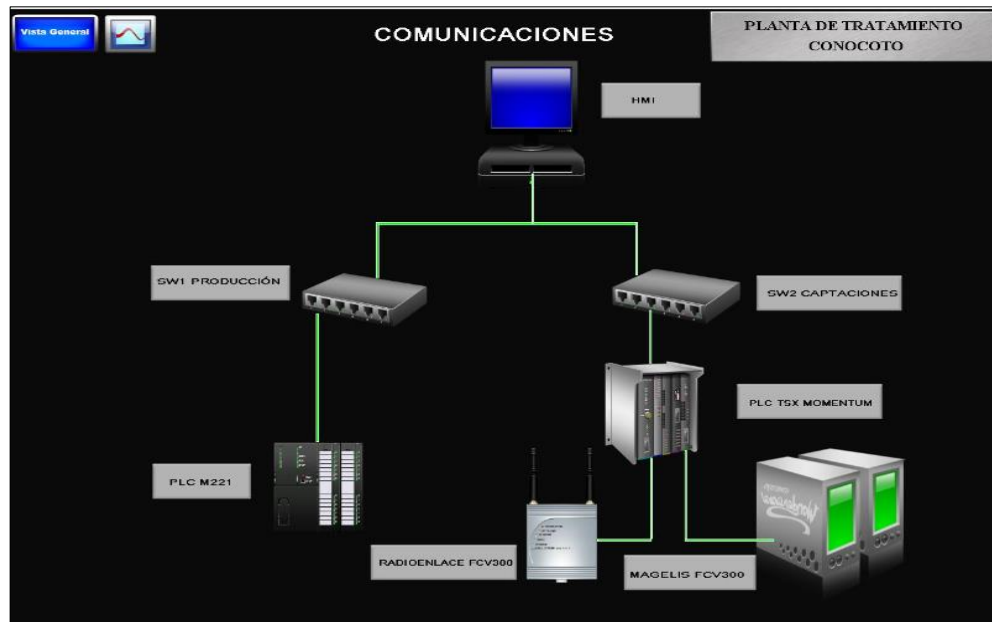


Imagen 15

En la opción “**Acerca de**”, se puede observar los datos informativos de la planta de tratamiento de agua potable de Conocoto desplegados en esta pantalla, ver imagen 16.



Imagen 16

En la opción de la imagen 17, se puede salir de la aplicación, se menciona al sistema el deseo de abandonar la ejecución, sin embargo requiere otra opción de alerta.



Imagen 17

El mensaje de alerta que desplegará es el siguiente, donde se informa si está seguro de salir del sistema, ver imagen 18. Si se presiona el botón **OK**, se abandona la ejecución de la aplicación. Caso contrario si se presiona el botón **CANCEL**, se mantiene en la pantalla **VISTA GENERAL** y no se cierra la ejecución de la aplicación.



Imagen 18

Todas las pantallas mencionadas poseen los botones de las imágenes 19 y 20.

El botón **Vista General** (ver imagen 19), permite regresar a la pantalla principal donde se visualiza el proceso en general



Imagen 19

El botón de la imagen 20 lleva a la pantalla tendencias, en resumen es un acceso directo a esta pantalla.



Imagen 20

El botón de la imagen 21 muestra una pantalla de las alarmas de las variables que tienen registrado los valores máximo y mínimo de las variables más importantes, si estos valores aumentan se tiene mensajes de alertas.



Imagen 21

ANEXO I: CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

