



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

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

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELÉCTRICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: “INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE
PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TULCÁN”**

AUTOR: CABEZAS TRIVIÑO, JOEL SANTIAGO

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ, ENERO

2019



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TULCÁN**” fue realizado por el señor **Cabezas Triviño, Joel Santiago** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar al señor **Cabezas Triviño, Joel Santiago** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Enero 2019

.....
Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro

C.C. 1707721591

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cabezas Triviño, Joel Santiago**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación “**INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TULCÁN**” es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, Enero 2019



.....
Cabezas Triviño Joel Santiago

C.C. 1720727385



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Cabezas Triviño, Joel Santiago**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“INGENIERÍA CONCEPTUAL, BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TULCÁN”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoridad.

Sangolquí, Enero 2019



.....
Cabezas Triviño Joel Santiago

C.C. 1720727385

DEDICATORIA

El siguiente proyecto va dedicado a las personas que en mi vida de alguna manera me han apoyado e inspirado en todo el trayecto de mi vida, por sobre todas las cosas a mis padres Guillermo y Sandra que a pesar de las situaciones de la vida me han enseñado y han inculcado valores que ahora puedo ver frutos, de igual manera a mis hermanos Josué y Gaby que ellos son personas que siempre me inspiran, también a mis amigos que sin su apoyo y momento tristes y alegres se han convertido en hermanos.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido por encima de todas las cosas a Dios, a todas las personas que me han enseñado y motivado a continuar esta carrera a pesar de los obstáculos que se han presentado, a mis padres que han sido mi soporte, a mi gran amigo Santiago que en el trayecto con su forma de ser me ha inspirado a continuar, a todos mis amigos que han sido parte fundamental en el desarrollo de esta carrera de principio a fin.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE TABLAS.....	xii
ÍNDICE FIGURAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia	3
1.3. Alcance del proyecto	5
1.4. Objetivos.....	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. Descripción General del Proyecto	8
CAPÍTULO II	9
MARCO REFERENCIAL	9
2.1. Plantas de tratamiento de Agua Potable	9

2.1.1. Tratamiento de Agua	9
2.1.2. Aducción por gravedad.....	9
2.1.3. Aducción forzada.....	9
2.2. Sistema de Instrumentación.....	12
2.2.1. Sistemas de Instrumentación	12
2.2.2. Medidores de Caudal.....	13
2.2.3. Sensores de nivel.....	15
2.2.4. Turbidez y Sensor de Turbidez.....	17
2.2.5. PH y Sensor de pH	19
2.3. Sistema de Control.....	21
2.3.1. Sistemas de Control.....	21
2.3.2. Sistemas de control realimentados.....	23
2.3.3. Sistemas de control en lazo abierto.....	23
2.3.4. Sistemas de control en lazo cerrado.....	24
2.3.5. Sistemas de control en Lazo Cerrado en comparación con los Sistemas en LazoAbierto.....	24
2.3.6. Diseño de sistema de control.....	25
2.4. Sistema de Comunicación.....	26
2.4.1. Sistemas de Comunicación.....	26
2.4.2. Medio de transmisión.....	26
2.4.3. Tipos de redes según su capacidad de cobertura.....	29
2.4.4. Clasificación de las topologías de red.....	31
2.5. Sistema de Supervisión y monitoreo.....	32
2.5.1. Sistemas SCADA.....	32

CAPÍTULO III	39
INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA.....	39
3.1. Descripción de la planta y requerimientos técnicos del proyecto.	39
3.2. Ingeniería Conceptual para el sistema de Instrumentación.	40
3.2.1. Requerimientos necesarios para el sistema de instrumentación.....	40
3.2.2. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación.	41
3.2.3. Señales y variables a ser medidas en cada etapa del proceso.....	42
3.2.4. Esquema de ubicación para cada elemento de medida.....	44
3.3. Ingeniería Conceptual para el sistema de Control.	45
3.3.1. Requerimientos necesarios para el sistema de control	45
3.3.2. Análisis de elementos de control y actuadores existentes	46
3.3.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de control	48
3.3.4. Variables a ser controladas en cada etapa del proceso.	49
3.3.5. Esquema de ubicación de cada elemento de control.	50
3.4. Ingeniería Conceptual para el sistema de Comunicación.....	51
3.4.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de comunicación.....	51
3.4.2. Plataformas y tecnologías de comunicación existentes.....	52
3.4.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de comunicación.....	57
3.4.4. Esquema y topología de red y arquitectura de comunicación.	58
3.5. Ingeniería Conceptual para el sistema de Supervisión y Monitoreo.	59
3.5.1. Requerimientos necesarios para el sistema de supervisión y monitoreo.....	59

3.5.2.	Análisis de elementos a monitorear y controlar.	60
3.5.3.	Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de supervisión y monitoreo.....	61
3.5.4.	Esquemas de arquitectura de control a ser desarrollada.....	62
3.6.	Ingeniería Básica para el sistema de Instrumentación.....	63
3.6.1.	Análisis y revisión de instrumentos necesarios y existentes	63
3.6.2.	Elaboración de diagramas P&ID preliminares para cada etapa	65
3.6.3.	Análisis de instrumentos existentes en el mercado	66
3.6.4.	Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones.....	70
3.7.	Ingeniería Básica para el sistema de Control.....	76
3.7.1.	Análisis y revisión de elementos de control necesarios y existentes.....	76
3.7.2.	Elaboración de diagramas de control para cada uno de los elementos seleccionados.....	77
3.7.3.	Análisis de equipos de control disponibles en el mercado	79
3.7.4.	Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones	80
3.8.	Ingeniería Básica para el sistema de Comunicación	83
3.8.1.	Análisis y revisión de plataformas de comunicación existentes	83
3.8.2.	Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación.	85
3.9.	Ingeniería Básica para el sistema de Supervisión y Monitoreo.....	86
3.9.1.	Análisis y revisión de elementos de supervisión y monitoreo necesarios	86
3.9.2.	Análisis de equipos y software de monitoreo disponible en el	

mercado	87
3.9.3. Selección y análisis de equipos de monitoreo	88
3.9.4. Selección y análisis de software de monitoreo	89
CAPÍTULO IV	92
INGENIERÍA DE DETALLE	92
4.1. Ingeniería de Detalle para el sistema de Instrumentación.	92
4.1.1. Levantamiento de los diagramas eléctricos y conexiones de montaje.	92
4.1.2. Elaboración de planos P&ID definitivos para el sistema.	94
4.1.3. Diseño de sistema para adquisición de datos	99
4.2. Ingeniería de Detalle para el sistema de Control.	102
4.2.1. Levantamiento de diagramas eléctricos y conexiones de montaje	102
4.2.2. Dimensionamiento y selección de conductores, elementos de protección, dispositivos de maniobra y relés.....	106
4.2.3. Diseño del software y lógica de control del sistema de control.	110
4.3. Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo.	125
4.3.1. Requerimientos de interfaz HMI.	125
4.3.2. Diseño de pantallas de HMI	128
4.4. Desarrollo de la lógica de control e interfaces HMI.....	133
4.4.1. Particularidades del sistema de automatización para la planta de tratamiento de agua potable.....	135
4.5. Configuración driver OPC DDE para comunicación entre Intouch y TIA PORTAL.....	136

CAPÍTULO V	140
SIMULACIÓN.....	140
5.1. Simulación de la lógica de control.	140
5.2. Simulación de pantallas HMI desarrolladas.	142
CAPÍTULO VI.....	147
PRUEBAS Y RESULTADOS	147
6.1. Pruebas.....	147
6.2. Resultados.....	156
CAPÍTULO VII.....	162
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
7.1. Conclusiones.....	162
7.2. Recomendaciones.	163
BIBLIOGRAFÍA.....	165
ANEXO A.....	168
DIAGRAMA ELÉCTRICO DE TABLERO DE CONTROL	168
ANEXO B	168
PROGRAMACIÓN DEL PLC	168
ANEXO C	168
CALCULO DE DIMENSIONAMIENTO	168

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1 <i>Muestra las variables y rangos de los parámetros a medir</i>	43
Tabla 2 <i>Características importantes de las redes de comunicación industriales</i>	55
Tabla 3 <i>Características importantes de las redes de comunicación industrial</i>	57
Tabla 4 <i>Comparación entre sensores de caudal</i>	67
Tabla 5 <i>Comparación entre sensores de turbidez</i>	67
Tabla 6 <i>Comparación entre sensores de pH</i>	68
Tabla 7 <i>Comparación entre sensores de nivel</i>	69
Tabla 8 <i>Comparación entre sensores de cloro</i>	69
Tabla 9 <i>Porcentaje de linealidad de rango de pH del sensor</i>	73
Tabla 10 <i>Comparación entre controladores Siemens y Allen Bradley</i>	79
Tabla 11 <i>Comparación entre actuadores eléctricos Auma y Rotork</i>	79
Tabla 12 <i>Comparación entre bomba dosificadora Ikaki y Ares</i>	80
Tabla 13 <i>Diferencias entre transmisor Rosemount</i>	87
Tabla 14 <i>Descripción de los elementos en el diagrama P&ID de dosificación</i>	97
Tabla 15 <i>Descripción de los elementos en el diagrama P&ID de retrolavado</i>	97
Tabla 16 <i>Direccionamiento de las entradas analógicas Dosificación</i>	99
Tabla 17 <i>Direccionamiento de las entradas analógicas Retrolavado</i>	99
Tabla 18 <i>Direccionamiento de las entradas analógicas Desinfección</i>	100
Tabla 19 <i>Tabla resumen de conductores eléctricos de los elementos protección</i>	109
Tabla 20 <i>Descripción de entradas y nombres en la etapa de Dosificación</i>	111
Tabla 21 <i>Descripción de las salidas y nombres en la etapa de Dosificación</i>	111
Tabla 22 <i>Descripción de entradas y nombres en la etapa de Retrolavado</i>	118
Tabla 23 <i>Descripción de las salidas y nombres en la etapa de retrolavado</i>	119
Tabla 24 <i>Resultados de las pruebas de los sensores en la etapa de dosificación</i>	157
Tabla 25 <i>Resultados de las pruebas de activación de las válvulas</i>	157
Tabla 26 <i>Costos de materiales para la automatización de la planta</i>	158
Tabla 27 <i>Proforma personal de trabajo</i>	159
Tabla 28 <i>Proforma gastos actuales de la planta</i>	160
Tabla 29 <i>Análisis de costo beneficio</i>	161

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Sinóptico de tipos de sensores de caudal.....	13
Figura 2. Medición de caudal por ultrasonidos.....	14
Figura 3. Medidor magnético de caudal.....	15
Figura 4. Transductor ultrasónico de nivel.....	16
Figura 5. Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación.....	18
Figura 6. Valores de pH de varias soluciones.....	20
Figura 7. Sistema de control de temperatura.....	22
Figura 8. Cable UTP categoría 5 con cuatro pares trenzados.....	28
Figura 9. Cable coaxial.....	28
Figura 10. Clasificación de los tipos de redes según cobertura.....	30
Figura 11. Diferentes topologías de redes.....	31
Figura 12. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Dosificación.....	44
Figura 13. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Filtración.....	44
Figura 14. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Desinfección.....	45
Figura 15. Fotografía de las compuertas en la etapa de Filtración.....	47
Figura 16. Esquema de ubicación de elementos de control etapa Dosificación.....	50
Figura 17. Esquema de ubicación de elementos de control etapa filtración.....	50
Figura 18. Esquema de ubicación de elementos de control etapa Desinfección.....	51
Figura 19. Topología de red para la planta de tratamiento de agua potable.....	59
Figura 20. Arquitectura de control para el sistema de automatización.....	63
Figura 21. Diagrama preliminar P&ID de la etapa de Dosificación.....	65
Figura 22. Diagrama preliminar P&ID de la etapa de Filtración.....	66
Figura 23. Diagrama preliminar de P&ID de la etapa de Desinfección.....	66
Figura 24. Sensor Fuji Ultrasonic Flowmeter Detector.....	71
Figura 25. Sensor y transmisor Clarity II Turbidimeter.....	72
Figura 26. Sensor pH/ORP 3900.....	73
Figura 27. Interruptor flotador de nivel FineTek modelo FAE A/B/C CUp Type.....	74
Figura 28. Sensor de cloro Signet con módulo electrónico y transmisor Signet.....	75
Figura 29. Diagrama de flujo de proceso para automatización Dosificación.....	78
Figura 30. Diagrama de control para automatización de la etapa de Retrolavado.....	78
Figura 31. PLC Siemens S/-300.....	81
Figura 32. Actuador eléctrico AUMA.....	82
Figura 33. Bomba dosificadora IWAKI.....	83
Figura 34. Esquema de arquitectura de comunicación.....	85
Figura 35. Transmisor de turbidez y pH.....	86
Figura 36. Diagrama eléctrico de conexión de sensores.....	93
Figura 37. Diagrama eléctrico conexiones interruptores de nivel.....	95

Figura 38. P&ID Etapa de Dosificación	96
Figura 39. P&ID Proceso de Retrolavado.....	98
Figura 40. Configuración del módulo de entradas analógicas	100
Figura 41. Configuración del módulo de entradas analógicas	101
Figura 42. Configuración del módulo de entradas analógicas	101
Figura 43. Diagrama eléctrico Etapa de Dosificación	103
Figura 44. Diagrama eléctrico Proceso de Retrolavado.....	105
Figura 45. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación	112
Figura 46. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación	113
Figura 47. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación	114
Figura 48. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación	115
Figura 49. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación	116
Figura 50. Información para el control mínimo requerido por las bombas	118
Figura 51. Diagrama de Flujo Proceso de Retrolavado	123
Figura 52. Diagrama de Flujo Proceso de Retrolavado	124
Figura 53. Información para el control de fallos en el proceso de retrolavado.....	125
Figura 54. Arquitectura de pantallas de supervisión para la planta de tratamiento	129
Figura 55. Plantilla de interfaz para la pantalla principal	131
Figura 56. Plantilla de interfaz para la pantalla de Vista General.....	132
Figura 57. Plantilla de interfaz para la pantalla de Dosificación	132
Figura 58. Plantilla de interfaz para la pantalla de Retrolavado	132
Figura 59. Plantilla de interfaz para la pantalla de Desinfección.....	133
Figura 60. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de agua potable.....	134
Figura 61. Creación del canal de comunicación en KEPServer.....	137
Figura 62. Creación del canal de comunicación en KEPServer con controlador	137
Figura 63. Creación de los tags en KEPServer	138
Figura 64. Creación del tag de un indicador en InTouch.....	138
Figura 65. Configuración del tag mediante OPC/DDE y el PLC	139
Figura 66. Configuración de Access Name para OPC/DDE con Tia Portal.....	139
Figura 67. Simulación de la etapa de Dosificación.....	141
Figura 68. Simulación de la etapa de Retrolavado.....	142
Figura 69. Planta de tratamiento de agua potable física de la ciudad de Tulcán	143
Figura 70. Simulación pantalla principal de la planta de tratamiento de agua	143
Figura 71. Simulación de pantalla Vista General.....	144
Figura 72. Simulación de pantalla de la etapa de Dosificación	144
Figura 73. Simulación de pantalla de la etapa de Retrolavado	145
Figura 74. Simulación de pantalla de Desinfección.....	145
Figura 75. Simulación de pantalla de Históricos	146
Figura 76. a) Valor de la turbiedad de 2.31 b) Valor de la turbiedad de 2.59.....	148

Figura 77. a) Valor de la turbiedad inicial b) Valor de la turbiedad	149
Figura 78. a) Valor de turbiedad modificada b) Valor de turbiedad	150
Figura 79. a) Valor de la turbiedad de 6.30 b) Valor de la turbiedad de 6.45.....	151
Figura 80. a) Valor de cal en la interfaz b) Valor de cal en la interfaz	152
Figura 81. a) Valor de cal en la interfaz b) Valor de cal interfaz.....	153
Figura 82. Secuencia de limpieza del primer filtro	155
Figura 83. a) Pruebas etapa desinfección, b) Pruebas etapa desinfección en PC.....	156

RESUMEN

La planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán está ubicada en Santa Rosa de Taques a 3100 msnm, tiene una capacidad de producción de 240 L/s y fue construida en la década de los 80, la misma que permite abastecer del líquido vital a una población de 60 mil habitantes a toda la ciudad de Tulcán en sus parroquias urbanas Gonzales Suárez y Tulcán. El diseño de la automatización de la planta involucra el control de la etapa de dosificación y el proceso de retrolavado en la etapa de filtración de la planta, además de la monitorización y supervisión de variables de turbiedad, pH, caudal y nivel. Los elementos seleccionados para el control de estas etapas son bombas dosificadoras y actuadores eléctricos, sensores de turbiedad, pH, caudal y nivel, además de un controlador lógico programable, encargado de la adquisición de datos, procesamiento de la información y emisión de las acciones de control a los actuadores. El sistema tiene la capacidad de ser controlado y monitorizado en tiempo real, con su respectivo software de supervisión y monitoreo, generando información útil y necesaria para los trabajadores de planta.

Palabras Clave:

- **PLANTA TRATAMIENTO**
- **AGUA POTABLE**
- **AUTOMATIZACIÓN**
- **DOSIFICACIÓN**
- **RETROLAVADO**
- **SCADA.**

ABSTRACT

The treatment plant for drinking water in the city of Tulcán is located in Santa Rosa de Taques at 3100 meters above sea level, has a production capacity of 240 L / s and was built in the 1980s, which allows for the supply of vital liquid to a population of 60 thousand inhabitants to the entire city of Tulcán in its urban parishes Gonzales Suárez and Tulcán. The design of the automation of the plant involves the control of the dosing stage and the backwash process in the filtration stage of the plant, as well as the monitoring and supervision of turbidity, pH, flow and level variables. The elements selected for the control of these stages are dosing pumps and electric actuators, turbidity sensors, pH, flow and level, as well as a programmable logic controller, in charge of data acquisition, information processing and emission of the actions of control to the actuators. The system has the ability to be controlled and monitored in real time, with its respective monitoring and monitoring software, generating useful and necessary information for plant workers.

Key Words:

- **TREATMENT PLANT**
- **DRINKING WATER**
- **AUTOMATION**
- **DOSAGE**
- **RETROLAVADO**
- **SCADA.**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes.

La actual planta de tratamiento de agua potable está ubicada en Santa Rosa de Taques a 3100 msnm, tiene una capacidad de producción de 240 L/s y fue construida en la década de los 80, la misma que permite dar el abastecimiento del líquido vital a una población de 60 mil habitantes a toda la ciudad de Tulcán en sus parroquias urbanas Gonzales Suárez y Tulcán (PDyOT, 2015).

La EPMAPA-T busca abastecer a la comunidad de agua apta para el uso y consumo humano, que cumpla con las características organolépticas, microbiológicas y químicas establecidas por la normativa INEN 1108-2011. Esto ha obligado a la empresa a la implementación de mejoras en los tratamientos de potabilización (PDyOT, 2015).

Actualmente la mayoría de plantas industriales poseen algún tipo de sistemas de adquisición y control, para la supervisión de sus procesos, debido a las ventajas que estos ofrecen, entre las que se destacan la adquisición de datos en tiempo real, la configuración gráfica por medio de displays de fácil manejo para el operador y la comunicación con computadores remotos, a través de una red, lo cual hace que se pueda llevar a cabo un control y supervisión desde cualquier sitio (Panesso & Ceballos , 2014).

Los Sistemas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) aproximadamente en los últimos 15 años han sido utilizados para la distribución de agua potable en la ciudad de Quito, lo que ha permitido tener un sistema de Integración Total de Automatización en todos sus procesos, y posteriormente pasar a un sistema Empresarial basado en un modelo de gestión (Rosero Castillo, 2010).

Esto ha permitido el intercambio de información entre centros de control que gestionan procesos específicos como es el caso de tratamiento de agua en las plantas de Bellavista, El Troje, Puengasí, presentando información de manera resumida, pero suficientemente clara, para entender

la situación en tiempo real de todos los procesos que se están desarrollando. La implementación de estos sistemas SCADA han permitido recibir información de caudales de procesos de las plantas de tratamiento, niveles de cisternas de agua tratada y niveles de piletas de agua cruda (Rosero Castillo, 2010).

Se han desarrollado también Diseños de Sistema SCADA para el Dosificador de Polímero de la Planta de Tratamiento de agua potable del Casigana de EMAPA en la ciudad de Ambato, este diseño tuvo como objetivo mejorar la característica del agua potable a niveles internacionales, la EMAPA se ha enfocado en adquirir equipos de alta tecnología y de proporcionar a sus plantas de tratamiento sistemas automáticos que han mejorado la purificación y brindan a la ciudadanía un elemento vital de alta calidad (López & Sánchez, 2008).

Otro de los diseños que se han implementado en el país fue un Sistema inalámbrico para control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del Cantón Baños el cual se enfocó en el desarrollo un sistema SCADA. El proceso consta de tres etapas que son: Captación, Tratamiento y Distribución del agua, cada etapa es controlada por un PLC el mismo que recibe información de parámetros como nivel, caudal y turbidez del agua, desde sensores colocados en todo el sistema. El sistema permite monitorear en tiempo real todas las etapas del sistema de tratamiento. Además, posee una pantalla HMI, la misma que detalla el estado del sistema, de la comunicación, la posición de electroválvulas y sensores. Lo que permite a los operadores distribuir el agua desde un HMI de una manera eficiente (Chico, 2015).

De acuerdo a los antecedentes, teniendo en cuenta los retos y desafíos que todavía se tiene dentro de esta temática, y sabiendo el desarrollo tecnológico que está teniendo el país dentro de los sistemas autónomos y el control de procesos, se propone en esta investigación desarrollar la Ingeniería Conceptual, Básica y de detalle que permita proporcionar el control del proceso mediante la automatización de la planta mejorando la calidad del agua.

1.2. Justificación e Importancia

La institución encargada de administrar y dotar de los servicios de agua potable y alcantarillado es la EPMAPA-T o Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán, esta institución es la encargada de controlar y ejecutar proyectos de agua potable y alcantarillado, así como proporcionar estos servicios básicos a todos los barrios de la ciudad (PDyOT, 2015).

Esta institución cuenta con un sistema de agua potable central que abastece a la ciudad. El sistema de tratamiento principal de la ciudad utiliza técnicas de depuración a través de piscinas de floculación y de filtros de grava y arena. Cuenta con planchas divisorias que forman el serpentín en la etapa de floculación que son de material asbesto – cemento, cuya utilización en la actualidad es contraindicada por asuntos fundamentalmente de salud (PDyOT, 2015) (Municipio de Tulcán, 2015).

De la información anterior se desprende, que si bien es cierto su situación no es tan crítica como la de otros cantones del país, a pesar de que cumple con la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108-2011, se debe aunar esfuerzos para mejorarla, más aún si consideramos que la demanda en calidad y cantidad de los mencionados servicios irá sin duda en crecimiento (Municipio de Tulcán, 2015).

La planta de tratamiento de agua potable de Tulcán no cuenta con ningún tipo de automatización que permita facilitar el control y la visualización del proceso de tratamiento de agua potable, es una planta donde todo el proceso es manual, lo cual provoca dificultad al momento de revisar las etapas principales del proceso de potabilización, además no permite la solución de problemas de una manera rápida y eficiente, ya que cuentan con varios operadores que realizan mediciones empíricas y que por falta de tiempo realizan la inspección del proceso de forma rudimentaria y poco precisa, además de que los operadores no pueden revisar continuamente el proceso de potabilización de la planta.

La EPMAPA-T administra el sistema de tratamiento principal de la ciudad, el cual utiliza técnicas de depuración a través de las etapas de floculación y de filtros de grava y arena, estos procesos no cuentan con ningún tipo de automatización, ni elementos electrónicos como sensores que permitan medir de mejor manera la turbiedad, un parámetro importante en la coagulación, floculación, sedimentación y filtraje del proceso de tratamiento de agua potable ya que según la turbiedad se analizará la calidad de agua, además estas etapas no cuentan con medidores de nivel, ni de caudal que permitan conocer la cantidad de agua que está ingresando a las piscinas y tanques, lo cual facilitaría el manejo de la planta ya que se podría obtener datos precisos de cuando abrir o cerrar válvulas para el paso del agua (Municipio de Tulcán, 2015).

Es política de toda la EPMAPA-T abastecer a la comunidad de agua apta para el uso y consumo humano, esto ha obligado a la empresa a pensar en mejoras en el control y calidad de los tratamientos de potabilización, para ello la supervisión continua y en tiempo real de cada uno de los procesos de tratamiento del agua es sumamente importante (Municipio de Tulcán, 2015).

Es así que desarrollar la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la planta de tratamiento de agua potable en la ciudad de Tulcán es necesaria, ya que por medio de este se da una solución tecnológica, que permitirá tener control del caudal de salida y control de los niveles de agua, se podrá verificar la turbiedad del agua que ingresa, además de permitir el manejo centralizado de los diferentes equipos (bombas, válvulas etc.), junto con la supervisión de las variables del proceso y las posibles fallas que presente el sistema. Para así brindar un mejor y óptimo servicio a la comunidad, mejorando la calidad del agua.

El proyecto a realizarse representa grandes beneficios y ventajas para la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán. (EPMAPA-T), por lo que servirá como iniciativa para que otras instituciones o empresas de agua potable de pequeñas ciudades opten por realizar este tipo de estudios y posteriormente implementar soluciones tecnológicas similares.

1.3. Alcance del proyecto

Con este proyecto se busca realizar la ingeniería conceptual, básica y de detalle con el objetivo de conseguir la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán. (EPMAPA-T).

Este proyecto busca desarrollar un sistema automático que permita controlar, monitorear y alertar de manera eficiente las etapas principales de la planta de tratamiento de agua potable cuando exista cualquier exceso de turbiedad, pH del agua, así también permitirá conocer el caudal de entrada de agua, mejorando el sistema de potabilización de agua. Paralelamente se deberá monitorear los parámetros de turbiedad y pH del agua y caudal del agua para asegurar que el tratamiento de agua potable sea de calidad.

Para el desarrollo de este proyecto se establece cuatro grandes sistemas que permitan dividir y establecer cada uno de los requerimientos necesarios en el sistema de automatización. Estos sistemas son, Instrumentación, Control, Comunicación y Supervisión.

Sistema de instrumentación: Para el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle en este sistema es necesario establecer cuáles son los requerimientos y funciones que serán realizadas por este sistema para el mejoramiento de la calidad del agua. Este sistema será capaz de evaluar el estado de las siguientes variables: valores de turbiedad, pH, caudal, cloro residual. Por lo tanto, se deberá determinar cuáles son los sensores y tecnologías a usarse dentro de este sistema. Se desarrollará planos y esquemas necesarios para el montaje de este sistema, como planos P&ID y diagramas eléctricos multifilares. Se determinará qué y cuáles son los parámetros y configuraciones necesarias para cada uno de estos elementos.

Sistema de control: el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle para este sistema consistirá en diseñar y desarrollar la lógica de control y software de operación que permitan realizar cada una de las tareas que conlleva la automatización del sistema de tratamiento de agua potable. Se deberá establecer cuáles serán los requerimientos y funciones necesarias para controlar cada una de las etapas principales del proceso del sistema y de igual manera seleccionar cada uno

de los equipos y elementos de control que serán usados. Para este sistema es de gran importancia desarrollar cada uno de los diagramas de control y multifilares eléctricos que permitan el montaje y operación de controladores y diferentes actuadores requeridos.

Sistema de comunicación: Para la red de interconexión y transporte de datos e información del sistema se analizará la posibilidad de usar una combinación de tecnologías inalámbricas mediante radio comunicación y otra tecnología cableada como fibra óptica sobre una plataforma de Ethernet IP. Esta red transportará los datos referentes al control entre las diferentes estaciones de control y variables necesarias para la operación del sistema de automatización. Es necesario realizar esquemas de configuración, montaje y conexión para este sistema.

Sistema de Monitoreo y Supervisión: Todas las variables y etapas involucradas dentro del proceso de tratamiento deberán ser monitoreados y controlados (accionados) desde una central de control, el control a aplicar debe ser automático, continuo e ininterrumpido. Es de gran importancia diseñar el software de operación y control para el sistema de monitoreo, es decir establecer que variables y etapas serán controladas y como lo serán.

Se diseñará las pantallas y requerimientos para una Interfaz Humano – Máquina, la cual permitirá manejar el sistema por un operador desde la sala de control. Esta interfaz deberá contar con la seguridad necesaria, así como la confiabilidad que se debe tener para comandar un sistema de esta importancia. El sistema de supervisión deberá tener la capacidad de generar reportes, variaciones del volumen de captación y suministro de caudal, comunicación, etc.

Se realizará una simulación de la lógica de control de cada una de las etapas principales del proceso de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán, cada una de las interfaces Humano – Máquina (HMI), además del funcionamiento de la planta de tratamiento es decir la etapa de dosificación, filtraje y desinfección del agua, visualizando el ingreso del agua y monitoreando los parámetros de turbiedad, pH y caudal que tiene el agua permitiendo tener una idea más cercana y clara de lo que sucede en el proceso de tratamiento de agua potable.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Mejorar la eficiencia y condiciones de operación de la planta de tratamiento de agua potable mediante el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Mejorar el cumplimiento de las normas calidad de agua potable de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108-2011 realizando una correcta ingeniería conceptual, básica y de detalle para *el sistema de instrumentación* de la planta de tratamiento de Tulcán.
- Mejorar la confiabilidad del proceso analizando los requerimientos y funciones necesarios para controlar cada uno de los procesos del sistema desarrollando la ingeniería conceptual, básica y de detalle para *el sistema de control* de la planta de tratamiento de Tulcán.
- Optimizar el tiempo de entrega de datos al laboratorio de la planta de tratamiento mediante el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle para *el sistema de comunicación* de la planta de tratamiento de Tulcán.
- Disminuir los errores humanos de medición y supervisión en la planta mediante el desarrollo de la ingeniería conceptual, básica y de detalle para *el sistema de supervisión y monitoreo* de la planta de tratamiento de Tulcán.

1.5. Descripción General del Proyecto

El siguiente proyecto se basa en el diseño de un sistema de automatización para la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán, la cual está administrada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán (EPMAPA - T). Los aspectos a automatizar y controlar son los siguientes:

Las etapas de coagulación, filtración y desinfección, controlando los parámetros que intervienen en el proceso de potabilización del agua. El sistema abarcará cuatro grupos que trabajaran de manera conjunta encargándose de la parte de instrumentación, control, comunicación, supervisión y monitoreo.

El sistema de instrumentación será el encargado de adquirir los datos de las variables físicas existentes en el proceso de potabilización del agua, como son caudal, turbiedad, pH, alcalinidad.

El sistema de control será el encargado de interpretar todas las señales provenientes del sistema de instrumentación, poner en marcha las acciones de control para las etapas del proceso, comandar el sistema de monitoreo con el objetivo de manejar e interpretar el sistema desde una interfaz, en fin será el encargado de automatizar todas las etapas del proceso trabajando conjuntamente con todos los sistemas.

El sistema de comunicación estará a cargo de comunicarse con los controladores de cada proceso mediante una red de comunicación sobre una plataforma de comunicación del tipo industrial, de tal forma que los datos sean transmitidos sin problemas de forma que no dificulten la integración de todo el sistema y la operabilidad del mismo.

El sistema de supervisión y monitoreo trabajará sobre un software de HMI SCADA facilitando la interrelación y presentación de los demás sistemas, encargado de ayudar a los operadores a visualizar el proceso de potabilización del agua través de una interfaz gráfica orientada a operar todo el sistema de automatización.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Plantas de tratamiento de Agua Potable

2.1.1. Tratamiento de Agua

La potabilización del agua es un proceso que comienza con la captación de agua cruda, ésta agua puede provenir de aguas subterráneas o de fuentes que se encuentren en la superficie lo son como ríos o nevados. Gracias a que Ecuador posee una cuenca hidrográfica grande, las empresas de tratamiento de agua potable realizan sus captaciones principalmente desde tomas de estos ríos, para de esta manera realizar los procesos necesarios con el agua captada para tratarla y potabilizarla (Vásconez Endara & Zurita Armedáriz, 2016).

La captación del agua cruda suele incrementarse según la situación climática del sector lo que provoca gran cantidad de impurezas por lo cual generalmente se utiliza rejillas para obstruir una gran parte de estas impurezas facilitando el tratamiento del agua. Llevar el agua cruda captada en dirección a las plantas de tratamiento se lo conoce como aducción, y existen dos tipos:

2.1.2. Aducción por gravedad

En este tipo de conducción es necesario que la toma del agua cruda se encuentre a una mayor altura que el punto de entrada a las plantas, para que el agua circule gracias a la pendiente de conducción.

2.1.3. Aducción forzada (Tuberías)

Para este tipo de conducción son necesarios grupos de bombeo ya que la toma del agua cruda se encuentra a una altura menor que el punto de entrada a las plantas.

Una vez el agua captada llegue a cada una de las plantas, se dará comienzo a los procesos para la potabilización del agua (Vásconez Endara & Zurita Armedáriz, 2016).

Para la entrada del agua cruda a una planta es necesario colocar la instrumentación que nos permita conocer el estado actual de la misma, entre los cuales podrían ser: el caudal de agua cruda que ingresa a la planta, temperatura, turbiedad, entre otros parámetros los cuales sirven para realizar un tratamiento adecuado del agua.

Entre los procesos comúnmente usados para un adecuado tratamiento de agua potable se encuentran:

- Pretratamiento
- Coagulación, floculación y sedimentación
- Filtración
- Desinfección

- **Pretratamiento**

En esta etapa pueden ser utilizados algunos procesos entre los cuales están: filtros de desbaste, microcribas y bancos de infiltración, éstos poseen funciones específicas que mejoran la calidad del agua. A través del pretratamiento del agua cruda se pueden obtener buenos resultados en cuanto al removimiento de algas, a los altos niveles de turbiedad, virus, quistes de protozoos y demás elementos físico-químicos que posee el agua cruda (Vásconez Endara & Zurita Armedáriz, 2016).

- **Coagulación**

En la etapa de coagulación se añade una o varias sustancias que sirven para formar los elementos de hidrólisis, esto se lo hace para promover la floculación, este proceso permite la interacción de partículas pequeñas que se encuentran en el agua para formar otras partículas más grandes llamadas flóculos. Algunas sustancias o químicos que ayudan a estos procesos son: sales de aluminio, sales de hierro, cal o polímeros orgánicos (Vásconez Endara & Zurita Armedáriz, 2016).

- **Floculación**

En esta etapa las partículas no presentan carga en su superficie, para ello estas partículas deben unirse entre sí. Para conseguir esto, el agua se debe agitar lentamente, de modo que las partículas coaguladas, al chocar, se vayan uniendo para dar lugar a otras de mayor tamaño y peso, llamadas flóculos. Así toma esta etapa el nombre de floculación, y debe hacerse bajo condiciones controladas, pues una agitación muy violenta en esta etapa puede producir rotura de flóculos ya formados, en cambio una agitación muy lenta puede dar lugar a la formación de flóculos "esponjosos" y débiles, lo cual sería difícil de sedimentar.

- **Sedimentación**

Decantación o sedimentación, es la primera etapa efectiva donde se separan las partículas del agua, además se consigue una reducción de turbiedad y color con respecto al agua cruda. Al reducirse la velocidad de circulación del agua, se produce por acción de su propio peso, una caída de las partículas hacia el fondo de la unidad. La sedimentación de los flóculos, le proporciona al agua una mayor claridad que al inicio del proceso que no tenía.

- **Filtración**

Al terminar la anterior etapa de clarificación del agua es necesario una etapa de filtración, la cual actúa como una barrera efectiva para remover del agua impurezas que no se hayan removido en etapas anteriores. Este proceso consiste en pasar el agua clarificada a través de una superficie filtrante, es común que esta superficie filtrante sea de arena y grava las cuales tienen distinta granulometría, éstas van a retener las impurezas en la parte superior de la superficie, logrando conseguir en la parte inferior del filtro agua más limpia, dejando agua casi lista para su consumo.

Es importante y necesario realizar una limpieza de los filtros con la finalidad de que estos no se saturen y obtengan siempre una buena capacidad de filtración, este proceso de limpieza consiste en inyectar temporalmente aire y/o agua en contracorriente, la cual ayuda a que se desprendan las impurezas que aún están retenidas en la superficie filtrante.

- **Desinfección**

La desinfección consiste en el agregar al agua un agente químico para destruir microorganismos que puedan transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo. Además de garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos que puedan afectar la salud.

Esta etapa se realiza después de sedimentar y filtrar el agua, después de que por estas etapas se haya eliminado gran parte de las partículas y microorganismos presentes en el agua cruda. Esta condición es imprescindible, porque la presencia de turbiedad y color, dificulta la acción de los desinfectantes

El agente desinfectante más común usado es el cloro, el cual es eficiente, sencillo en su aplicación y posee la capacidad de dejar una porción residual, que sigue actuando en las redes de distribución. El cloro puede ser utilizado en forma de cloro gaseoso, almacenado bajo presión en cilindros metálicos, o a través de alguna de sus sales, como el hipoclorito de sodio o de calcio. Luego de realizar la desinfección, el agua estará lista para su distribución (Vásconez Endara & Zurita Arnedáriz, 2016).

2.2. Sistema de Instrumentación

2.2.1. Sistemas de Instrumentación

Elementos utilizados para medir las magnitudes físicas o químicas existentes en diferentes procesos industriales, convertir las magnitudes a señales eléctricas y transmitir las hacia controladores o interfaces que permitan interpretar estos valores, dentro de este proyecto el sistema de instrumentación será encargado de medir las siguientes magnitudes físicas de caudal, turbiedad, cloro y pH.

2.2.2. Medidores de Caudal.

- Sensores de caudal.

En la mayor parte de las operaciones realizadas en los procesos industriales y en las efectuadas en laboratorio y en plantas piloto es muy importante la medición de los caudales de líquidos o de gases. Existen dos tipos de medidores, los volumétricos que determinan el caudal en volumen del fluido, y los de masa que determinan la caudal masa. Se reservan los medidores volumétricos para la medida general de caudal y se destinan los medidores de caudal másico a aquellas aplicaciones en las que la exactitud de la medida es importante. Los transductores más conocidos y usados se muestra en la **Figura 1** (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

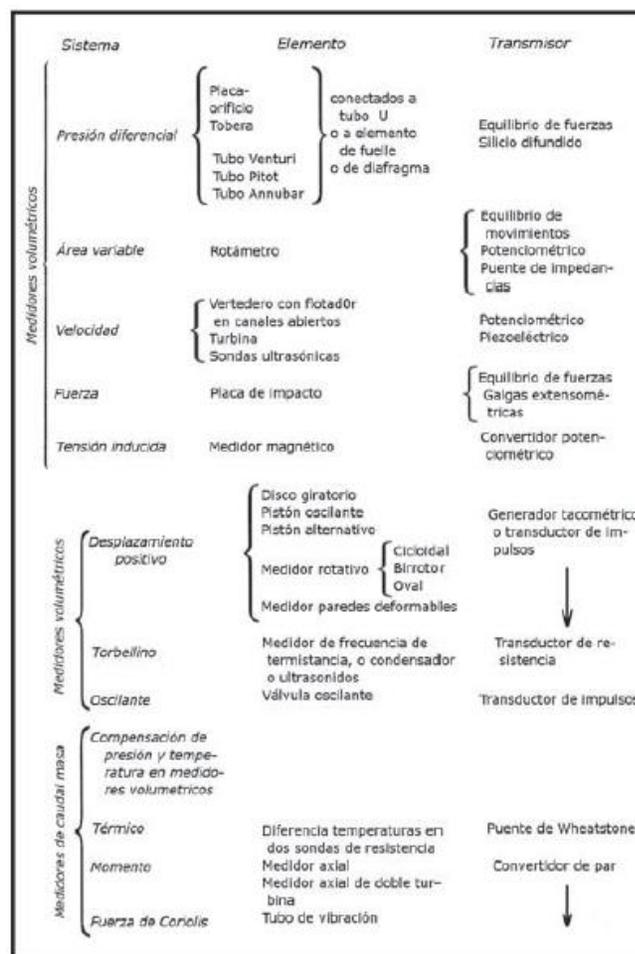


Figura 1. Sinóptico de tipos de sensores de caudal

(Fuente: Creus, 2010)

Los sensores de caudal que se plantea usar para este proyecto son del tipo ultrasónicos y magnéticos, por lo tanto, se realizará el análisis de los mismos.

- **Transductores ultrasónicos.**

Los transductores de ultrasonidos se basan en el fenómeno "ultrasónico" caracterizado porque las pequeñas perturbaciones de presión en el seno de un fluido se propagan a la velocidad del sonido correspondiente al fluido. Si, además, el fluido posee también velocidad, entonces la velocidad absoluta de la propagación de la perturbación de presión es la suma algebraica de ambas (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

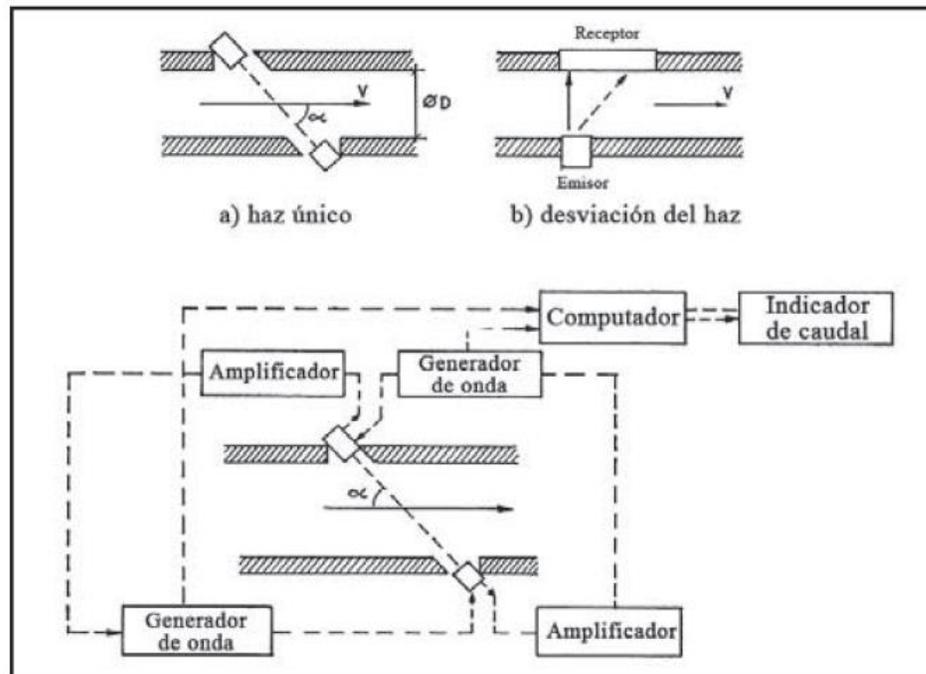


Figura 2. Medición de caudal por ultrasonidos

(Fuente: Creus, 2010)

El principio de funcionamiento de estos instrumentos varía según la necesidad de la aplicación, comúnmente se utilizan transductores piezoeléctricos en estos sistemas tanto para la emisión como para la recepción de las ondas ultrasónicas.

- **Medidor magnético de caudal.**

La ley de Faraday establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor, al moverse éste perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. La regla de la mano derecha nos indica que colocando la mano derecha abierta, con la palma perpendicular a las líneas de fuerza del campo magnético, y los dedos en el sentido de la corriente del fluido, el pulgar señala el sentido de la corriente inducida. (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010)

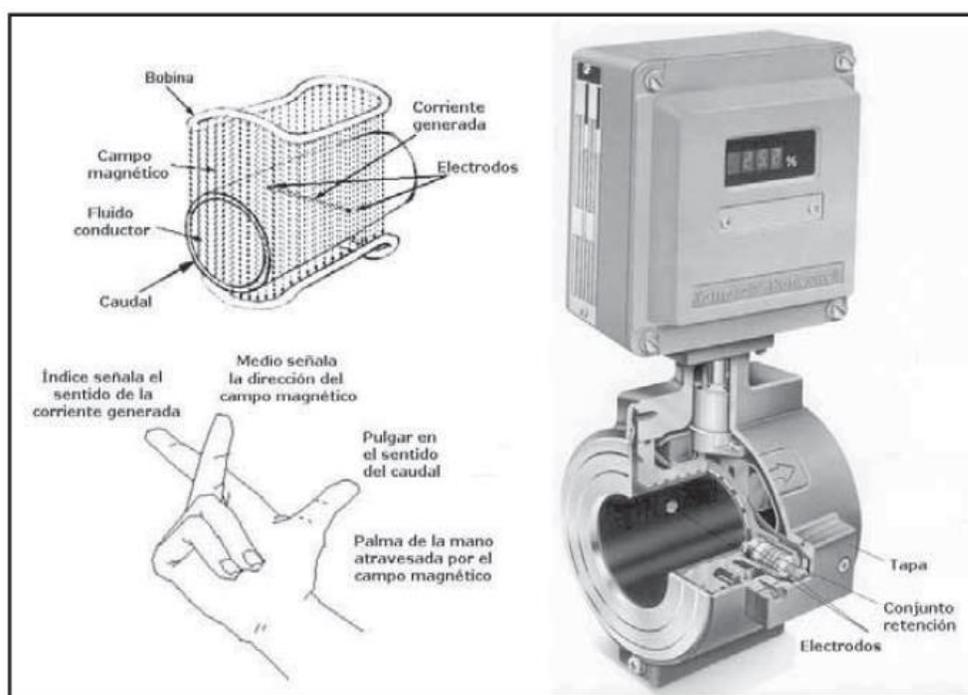


Figura 3. Medidor magnético de caudal

(Fuente: Honeywell)

2.2.3. Sensores de nivel.

La medición de nivel es importante en la industria actual, desde el punto de vista de la operación correcta del proceso como de la consideración del control adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir "inteligencia" en la medida del nivel, y obtener exactitudes en la lectura altas, del orden del $\pm 0,2\%$, en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso.

El transmisor de nivel "inteligente" hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en rotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

- Sistema ultrasónico de medición de nivel

El sistema ultrasónico de medición de nivel (**Figura 4**) se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

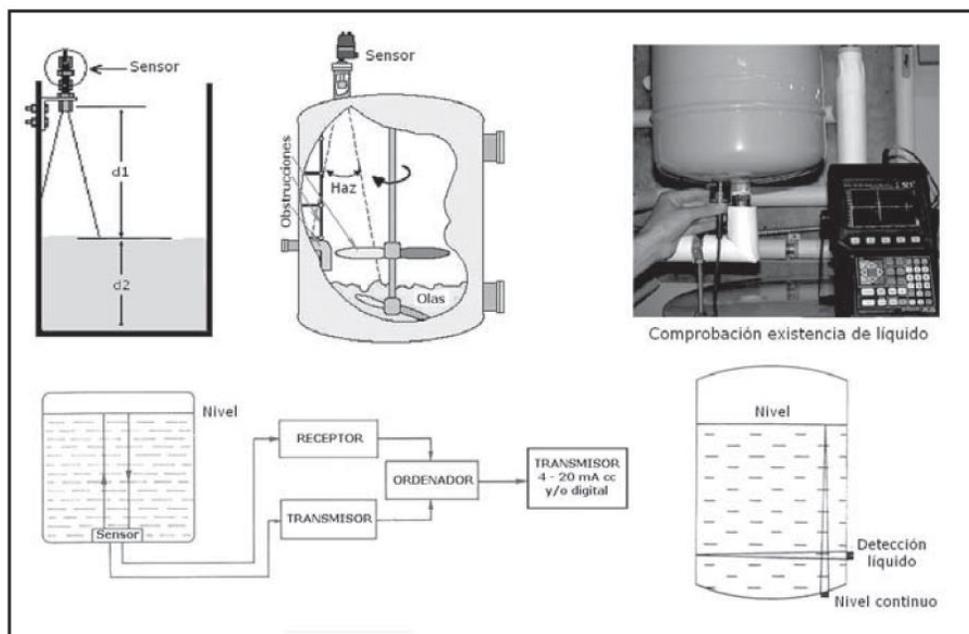


Figura 4. Transductor ultrasónico de nivel

(Fuente: Creus, 2010)

Si el sensor se coloca en el fondo del tanque, envía un impulso eléctrico que es convertido mediante un transductor (cristal piezoeléctrico) a un impulso ultrasónico de corta duración, que es transmitido a través de la pared del tanque hacia el líquido. El impulso se refleja en la superficie del líquido y retorna hasta el transductor ultrasónico. El nivel del tanque viene expresado por:

$$h = \frac{v \times t}{2}$$

h = nivel de líquido

v = velocidad del sonido en el líquido

t = tiempo de tránsito del sonido

Pero la aplicación típica es situar el emisor en la parte superior del tanque y dirigir el impulso ultrasónico a la superficie del líquido para ser reflejado y retornar al receptor. El transductor del receptor realiza los cálculos para convertir esta distancia en el nivel del líquido en el tanque.

El método ultrasónico también es útil para determinar si en un tanque o una tubería hay o no líquido, ya que el tipo de eco es distinto. En otra aplicación, el transductor está montado en la pared del tanque y dirige el impulso hacia arriba en un ángulo determinado y el receptor se encuentre en la misma pared, pero más arriba, con lo que el sistema permite captar la existencia de líquido a una cierta altura del tanque, siendo la aplicación más útil en la detección en el nivel superior y en el fondo del tanque (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

2.2.4. Turbidez y Sensor de Turbidez

La turbidez es una medida de la falta de transparencia de una muestra de agua debida a la presencia de partículas extrañas. Estas partículas pueden ser plancton, microorganismos, barro, etc.

La medida de la turbidez se efectúa para determinar el grado de penetración de la luz en el agua o a su través y permite interpretar, conjuntamente con la luz solar recibida y la cantidad de oxígeno disuelto, el aumento o disminución del material suspendido en el agua.

La turbidez está expresada en unidades arbitrarias llamadas unidades nefelométricas de turbidez (NTU). Por ejemplo, el agua de uso doméstico, industrial y residual tiene de 0,05 a 40 NTU.

El turbidímetro fue inventado por Jackson. Consiste en un tubo graduado que descansa en un soporte de vidrio, en cuya parte inferior se encuentra una vela encendida (*Jackson candle*). La muestra del agua se introduce lentamente en el tubo hasta que a su través deja de verse la llama de la vela. Ha dejado de utilizarse y actualmente la turbidez puede medirse de tres formas en forma continua.

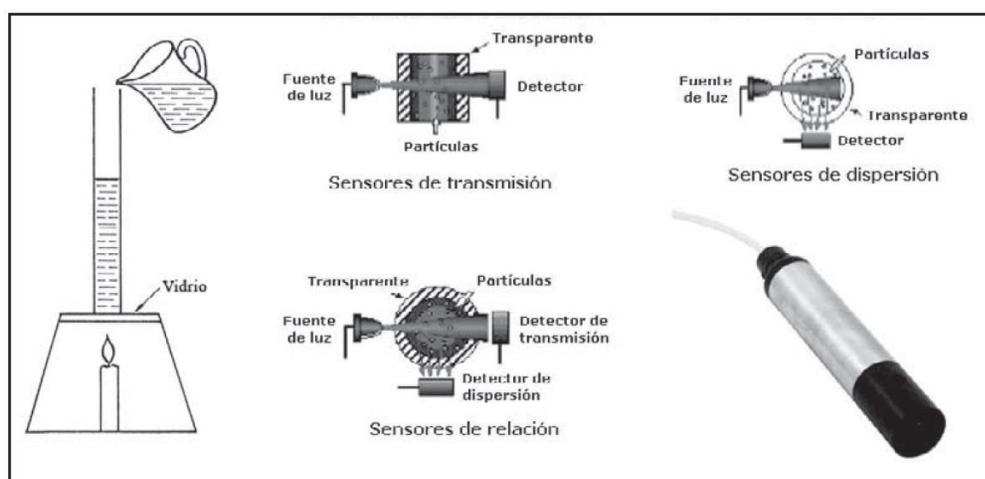


Figura 5. Sensores de turbidez de transmisión, reflexión, relación y el turbidímetro Jackson (*Jackson candle*)
(Fuente: Honeywell)

- **Sensores de Turbidez de dispersión (luz reflejada).**

Es el método más utilizado. Una lámpara emite un rayo de luz blanca, o bien una luz infrarroja, que un sistema de lentes enfoca en la muestra de agua. Una célula fotoeléctrica situada

a 90° del haz de luz capta la luz reflejada por las partículas en suspensión. La intensidad de luz detectada es directamente proporcional a la turbidez del agua.

El aparato utiliza un detector de luz adicional para corregir las variaciones de intensidad luminosa, los cambios de color y la ligera suciedad de la lente. La señal aumenta con el aumento de la turbidez, lo que es favorable para detectar valores bajos de la turbidez. El campo de medida es de 0 a 1000 NTU y la exactitud es del $\pm 1\%$. El método de medida se encuentra en la norma ISO 7027/EN 27027 (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

2.2.5. PH y Sensor de pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración del ion H , expresada en moles por litro:

Señalemos que el agua pura neutra tiene una concentración de ion hidrógeno de 10^{-7} moles por litro. Luego, el pH será:

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ion hidrógeno que el agua pura y, por lo tanto, su pH será menor de 7. Una disolución básica le ocurre a la inversa y su pH será mayor de 7. Las medidas prácticas del pH se encuentran entre los valores 0 a 14. En la **Figura 6** se muestra las concentraciones de varios tipos de soluciones con su pH correspondiente.

	pH	Concentración H ⁺ Mols/litro	Concentración OH ⁻ Mols/litro	pH de productos alimenticios comunes	pH de varios productos químicos a 25° C
	0	1	0,00000000000001		← Ácido sulfúrico 4,9 % (1 N)
	1	0,1	0,0000000000001		← Ácido hidroclicórico 0,37 % (0,1 N)
	2	0,01	0,000000000001	Jugo limón →	
	3	0,001	0,00000000001	Jugo naranja →	← Ácido acético 0,6 % (0,1 N)
Ácido →	4	0,0001	0,0000000001	Cerveza →	
	5	0,00001	0,000000001	Queso →	← Ácido hidroclicórico 0,27 % (0,1 N)
	6	0,000001	0,00000001	Leche →	
Neutro →	7	0,0000001	0,0000001	Agua pura →	
	8	0,00000001	0,0000001	Huevos blancos →	
	9	0,000000001	0,000001	Bórax →	← Bicarbonato sódico 0,84 % (0,1 N)
	10	0,0000000001	0,0001	Magnesia →	← Acetato de potasio 0,98 % (0,1 N)
Básico	11	0,00000000001	0,001		← Amoníaco 0,017 % (0,01 N) Amoníaco 1,7 % (1,0 N)
	12	0,000000000001	0,01		← Sosa cáustica 0,04 % (0,01 N)
	13	0,0000000000001	0,1		
	14	0,00000000000001	1		← Sosa cáustica 4 % (1,0 N)

Figura 6. Valores de pH de varias soluciones

(Fuente: Creus, 2010)

En la medida de pH pueden utilizarse varios métodos, de entre los cuales los más exactos y versátiles de aplicación industrial son: el sistema de electrodo de vidrio y el de transistor (ISFET = *Ion Sensitive Field Effect Transistor*).

El electrodo de vidrio consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones hidrógeno. En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón, de pH constante, dentro de la cual está inmerso un hilo de plata recubierto de cloruro de plata.

Aunque el mecanismo que permite que el electrodo de vidrio mida la concentración de ion hidrógeno no es exactamente conocido, está establecido que al introducir el electrodo en el líquido se desarrolla un potencial relacionado directamente con la concentración del ion hidrógeno del líquido. Es decir, si esta concentración es mayor que la interior del electrodo existe un potencial

positivo a través de la punta del electrodo y, si es inferior, el potencial es negativo (Creus Solé, Instrumentación Industrial, 2010).

2.3. Sistema de Control (Ogata, 2010)

2.3.1. Sistemas de Control

El control automático se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura. Por ejemplo, el control automático es esencial en el control numérico de las máquinas y herramienta de las industrias de manufactura, en el diseño de sistemas de vehículos espaciales, en los sistemas robóticos, en los procesos modernos de fabricación y en cualquier operación industrial que requiera el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad, flujo, etc. Antes de analizar sistemas de control, deben definirse ciertos términos básicos.

- **Variable controlada y variable manipulada.** La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.
- **Plantas.** Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de los elementos de una máquina que funcionan juntos, y cuyo objetivo es efectuar una operación particular. En este libro se llamará planta a cualquier objeto físico que se va a controlar (como un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico o una nave espacial).
- **Procesos.** Se definirá proceso a cualquier operación que se va a controlar. Algunos ejemplos son los procesos químicos, económicos y biológicos.
- **Sistemas.** Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no está necesariamente limitado a los sistemas físicos. El

concepto de sistema se puede aplicar a fenómenos abstractos y dinámicos, como los que se encuentran en la economía. Por tanto, la palabra sistema debe interpretarse en un sentido amplio que comprenda sistemas físicos, biológicos, económicos y similares.

- **Perturbaciones.** Es una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y es una entrada.

Como ejemplo de un sistema de control se toma el control de temperatura del horno eléctrico, se mide mediante un termómetro, que es un dispositivo analógico. La temperatura analógica se convierte a una temperatura digital mediante un convertidor A/D. La temperatura digital se introduce en un controlador mediante una interfaz. Esta temperatura digital se compara con la temperatura de entrada programada, y si hay una discrepancia (error) el controlador envía una señal al calefactor, a través de una interfaz, amplificador y relé, para hacer que la temperatura del horno adquiera el valor deseado, la **Figura 7** muestra un diagrama esquemático del control de temperatura del horno eléctrico (Ogata, 2010).

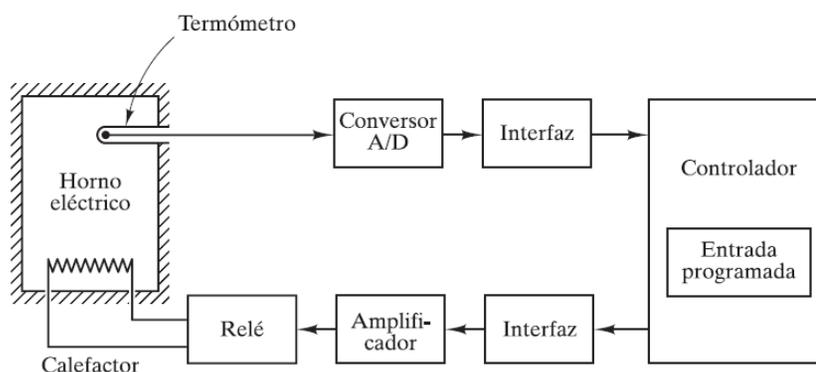


Figura 7. Sistema de control de temperatura

(Fuente: Ogata, 2010)

2.3.2. Sistemas de control realimentados.

Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina sistema de control realimentado. Un ejemplo sería el sistema de control de temperatura de una habitación. Midiendo la temperatura real y comparándola con la temperatura de referencia (temperatura deseada), el termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura de la habitación se mantiene en un nivel confortable independientemente de las condiciones externas (Ogata, 2010).

2.3.3. Sistemas de control en lazo abierto.

Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, el lavado y el centrifugado en la lavadora operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, que es la limpieza de la ropa.

En cualquier sistema de control en lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Así, a cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fija; como resultado de ello, la precisión del sistema depende de la calibración. Ante la presencia de perturbaciones, un sistema de control en lazo abierto no realiza la tarea deseada. En la práctica, el control en lazo abierto sólo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. Es evidente que estos sistemas no son de control realimentado. Obsérvese que cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo está en lazo abierto. Por ejemplo, el control de tráfico mediante señales operadas con una base de tiempo es otro ejemplo de control en lazo abierto (Ogata, 2010).

2.3.4. Sistemas de control en lazo cerrado.

Los sistemas de control realimentados se denominan también sistemas de control en lazo cerrado. En la práctica, los términos control realimentado y control en lazo cerrado se usan indistintamente. En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales), con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema (Ogata, 2010).

2.3.5. Sistemas de control en Lazo Cerrado en comparación con los sistemas en Lazo Abierto.

Una ventaja del sistema de control en lazo cerrado es que el uso de la realimentación vuelve la respuesta del sistema relativamente insensible a las perturbaciones externas y a las variaciones internas en los parámetros del sistema. Por tanto, es posible usar componentes relativamente precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, en tanto que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto. Desde el punto de vista de la estabilidad, el sistema de control en lazo abierto es más fácil de desarrollar, porque la estabilidad del sistema no es un problema importante.

Por otra parte, la estabilidad es una función principal en el sistema de control en lazo cerrado, lo cual puede conducir a corregir en exceso errores que producen oscilaciones de amplitud constante o cambiante.

Debe señalarse que, para los sistemas en los que se conocen con anticipación las entradas y en los cuales no hay perturbaciones, es aconsejable emplear un control en lazo abierto. Los sistemas de control en lazo cerrado sólo tienen ventajas cuando se presentan perturbaciones impredecibles y/o variaciones impredecibles en los componentes del sistema (Ogata, 2010).

2.3.6. Diseño de sistema de control.

En el diseño real de un sistema de control, el que se utilice un compensador electrónico, neumático o hidráulico debe decidirse en parte en función de la naturaleza de la planta que se controla. Por ejemplo, si la planta que se controla contiene fluidos inflamables, debe optarse por los componentes neumáticos (tanto un compensador como un actuador) para eliminar la posibilidad de que salten chispas. Sin embargo, si no existe el riesgo de incendio, los que se usan con mayor frecuencia son los compensadores electrónicos. (De hecho, es común transformar las señales no eléctricas en señales eléctricas, debido a la sencillez de la transmisión, mayor precisión, mayor fiabilidad, una mayor facilidad en la compensación, etcétera.)

Actualmente los sistemas de control son generalmente no lineales, pero es posible aproximarlos mediante modelos matemáticos lineales, podemos usar uno o más métodos de diseño bien desarrollados.

En la aproximación de prueba y error para el diseño de un sistema, se parte de un modelo matemático del sistema de control y se ajustan los parámetros de un compensador. La parte de este proceso que requiere más tiempo es la verificación del comportamiento del sistema mediante un análisis, después de cada ajuste de los parámetros. El diseñador debe utilizar un programa para computador como MATLAB para evitar gran parte del cálculo numérico que se necesita para esta verificación.

Una vez obtenido un modelo matemático satisfactorio, el diseñador debe construir un prototipo y probar el sistema en lazo abierto. Si se asegura la estabilidad absoluta en lazo abierto, el diseñador cierra el lazo y prueba el comportamiento del sistema en lazo cerrado. Debido a los efectos de carga no considerados entre los componentes, la falta de linealidad, los parámetros distribuidos, etc., que no se han tenido en cuenta en el diseño original, es probable que el comportamiento real del prototipo del sistema difiera de las predicciones teóricas.

Mediante el método de prueba y error, el diseñador debe cambiar el prototipo hasta que el sistema cumpla las especificaciones. Debe analizar cada prueba e incorporar los resultados de este análisis en la prueba siguiente. El diseñador debe conseguir que el sistema final cumpla las especificaciones de comportamiento y, al mismo tiempo, sea fiable y económico (Ogata, 2010).

2.4. Sistema de Comunicación

2.4.1. Sistemas de Comunicación

Cuando un mensaje requiere ser transmitido se necesita un sistema de comunicación que permita que la información sea transferida, por medio del espacio y el tiempo, desde un punto emisor hasta otro punto de receptor, se puede transmitir mediante un cable como por ejemplo un teléfono o por ondas como en el caso de las radios. El mensaje puede tener diferentes formas como por ejemplo símbolos, intensidad lumínica, colores, imágenes e incluso acústica.

De manera general los sistemas de comunicación ofrecen los medios para que cualquier tipo de información sea codificada en forma de señal o en su defecto se transmita o intercambie. Las principales características de un sistema de comunicación son: transmisor, canal de transmisión y el receptor. El mensaje original que provocó la fuente, generalmente no es eléctrico, para lo cual se debe convertir en señales eléctricas a través de un transductor de entrada. De esta manera en el destino existirá otro transductor de salida que cumple la función de transformar nuevamente la señal de respuesta para que llegue en este caso al receptor de la forma en el que fue emitido el mensaje inicial (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

2.4.2. Medio de transmisión.

Se pueden utilizar varios medios físicos para la transmisión real. Cada medio tiene su propio nicho en términos de ancho de banda, retardo, costo y facilidad de instalación y mantenimiento. A grandes rasgos, los medios se agrupan en medios guiados (como el cable de cobre y la fibra óptica) y en medios no guiados (como la transmisión inalámbrica terrestre, los satélites y los láseres a través del aire).

- **Medios magnéticos.**

Una de las formas más comunes para transportar datos de una computadora a otra es almacenarlos en cinta magnética o medios removibles (por ejemplo, DVD regrabables), transportar físicamente la cinta o los discos a la máquina de destino y leerlos de nuevo. Aunque este método no es tan sofisticado como usar un satélite de comunicación geosíncrono, a menudo es mucho más rentable, en especial para las aplicaciones en las que el ancho de banda alto o el costo por bit transportado es el factor clave.

- **Par trenzado.**

Uno de los medios de transmisión más antiguos y todavía el más común es el par trenzado. Un par trenzado consta de dos cables de cobre aislados, por lo general de 1 mm de grosor. Los cables están trenzados en forma helicoidal, justo igual que una molécula de ADN. El trenzado se debe a que dos cables paralelos constituyen una antena simple. Cuando se trenzan los cables, las ondas de distintos trenzados se cancelan y el cable irradia con menos efectividad. Por lo general una señal se transmite como la diferencia en el voltaje entre los dos cables en el par. Esto ofrece una mejor inmunidad al ruido externo, ya que éste tiende a afectar ambos cables en la misma proporción y en consecuencia, el diferencial queda sin modificación.

Los pares trenzados se pueden usar para transmitir la información analógica o digital. El ancho de banda depende del grosor del cable y de la distancia que recorre, pero en muchos casos se pueden lograr varios megabits/seg durante pocos kilómetros. Debido a su adecuado desempeño y bajo costo, los pares trenzados se utilizan mucho y es probable que se sigan utilizando durante varios años más.

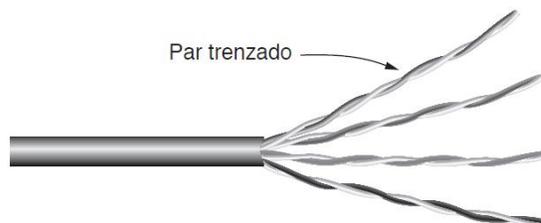


Figura 8. Cable UTP categoría 5 con cuatro pares trenzados

(Fuente: Tanenbaum & Wetherall, 2012)

- Cable Coaxial.

El cable coaxial es otro medio de transmisión común (conocido simplemente como “coax”). Este cable tiene mejor blindaje y mayor ancho de banda que los pares trenzados sin blindaje, por lo que puede abarcar mayores distancias a velocidades más altas. Hay dos tipos de cable coaxial que se utilizan ampliamente. El de 50 ohms es uno de ellos y se utiliza por lo general cuando se tiene pensado emplear una transmisión digital desde el inicio. El otro tipo es el de 75 ohms y se utiliza para la transmisión analógica y la televisión por cable.

Un cable coaxial consiste en alambre de cobre rígido como núcleo, rodeado por un material aislante. El aislante está forrado de un conductor cilíndrico, que por lo general es una malla de tejido fuertemente trenzado. El conductor externo está cubierto con una funda protectora de plástico. En la **Figura 9** se muestra una vista seccionada de un cable coaxial.

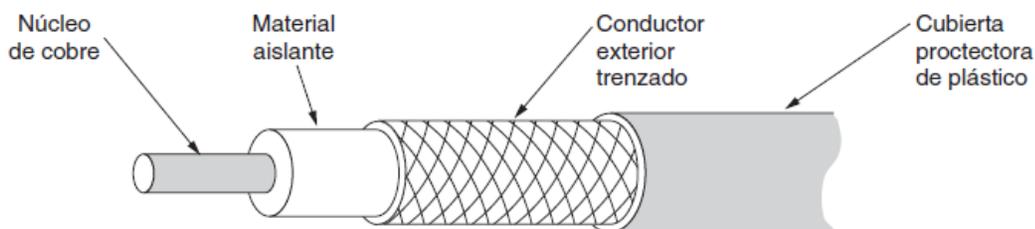


Figura 9. Cable coaxial

(Fuente: Tanenbaum & Wetherall, 2012)

- **Fibra óptica.**

Muchas personas en la industria de la computación sienten un enorme orgullo por la rapidez con que la tecnología de las computadoras está mejorando según la ley de Moore, la cual predice una duplicación de la cantidad de transistores por chip aproximadamente cada dos años (Schaller, 1997). La PC original de IBM (1981) operaba a una velocidad de reloj de 4.77 MHz. Veintiocho años después, las PC pueden operar una CPU de cuatro núcleos a 3 GHz. Este incremento es una ganancia de un factor aproximado de 2 500, o de 16 por década.

La fibra óptica se utiliza para la transmisión de larga distancia en las redes troncales, las redes LAN de alta velocidad (aunque hasta ahora el cobre siempre ha logrado ponerse a la par) y el acceso a Internet de alta velocidad como FTTH (Fibra para el Hogar, del inglés Fiber To The Home). Un sistema de transmisión óptico tiene tres componentes clave: la fuente de luz, el medio de transmisión y el detector. Por convención, un pulso de luz indica un bit 1 y la ausencia de luz indica un bit 0. El medio de transmisión es una fibra de vidrio ultradelgada. El detector genera un pulso eléctrico cuando la luz incide en él. Al conectar una fuente de luz a un extremo de una fibra óptica y un detector al otro extremo, tenemos un sistema de transmisión de datos unidireccional que acepta una señal eléctrica, la convierte y la transmite mediante pulsos de luz, y después reconvierte la salida a una señal eléctrica en el extremo receptor (Tanenbaum & Wetherall, 2012).

2.4.3. Tipos de redes según su capacidad de cobertura (Dordoigne, 2015).

- **LAN, Local Area Networks.**

La Local Area Network (LAN), en castellano Red de Área Local se extiende hasta algunos centenares de metros. Conecta entre sí ordenadores, servidores, etc. Generalmente se utiliza para compartir recursos comunes, como periféricos, datos o aplicaciones. Cubre distancias reducidas (de 200 m a 5 km) y propiedad/explotación privada. Ejemplos de este tipo de redes son: Ethernet (IEEE 802.3), Token Ring (IEEE 802.5).

- **MAN, Metropolitan Area Networks.**

La red metropolitana o Metropolitan Area Network (MAN), que también se conoce como red federalista, garantiza la comunicación a distancias más extensas y a menudo interconecta varias redes LAN. Puede servir para interconectar, por una conexión privada o pública, diferentes departamentos, distantes algunas decenas de kilómetros. Cubre distancias medianas (10 a 50 km, las correspondientes a una ciudad y su área de influencia) y propiedad/explotación a medio camino entre lo público y lo privado.

- **WAN, Wide Area Networks.**

Las redes con mayor alcance se clasifican como WAN, acrónimo de Wide Area Network (WAN). Están compuestas por redes de tipo LAN, o incluso MAN. Las redes extensas son capaces de transmitir la información a miles de kilómetros por todo el mundo. La WAN más famosa es la red pública Internet, cuyo nombre procede de Inter Networking, o interconexión de redes. Cubre distancias grandes (de 100 a 20.000 km) y propiedad pública. Ejemplos de este tipo de redes son: la red telefónica tradicional y la RDSI, las redes públicas de datos con estándar de acceso X.25 (en retroceso), internet, etc.

La **Figura 10** muestra la clasificación de los tipos de redes según su cobertura.

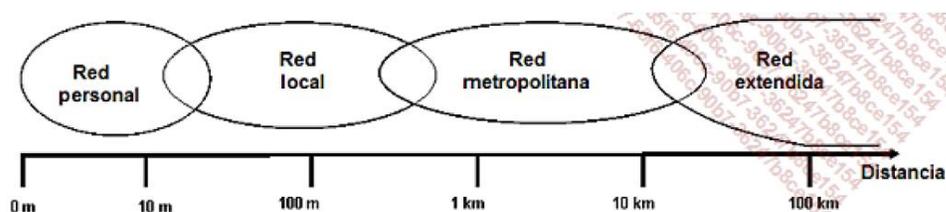


Figura 10. Clasificación de los tipos de redes según cobertura

(Fuente: Dordoigne, 2015)

2.4.4. Clasificación de las topologías de red (Rodríguez Penin, 2008).

La topología de red define la disposición de los diferentes equipos alrededor del medio de transmisión de datos, determinando unas estructuras de red características. Pueden definirse diversos modelos de topologías básicas, la **Figura 11** presenta gráficamente cada una de estos tipos de topologías de red

- **Anillo:** El medio de transmisión forma un circuito cerrado (anillo) al que se conectan los equipos.
- **Estrella:** En esta configuración, todos los equipos están conectados a un equipo o nodo central, que realiza las funciones de control y coordinación.
- **Bus:** La distribución básica se realiza alrededor de un segmento de cable al cual se conectan los equipos.
- **Árbol:** Mezcla las características de las tres topologías anteriores. Los distintos nodos están distribuidos en forma de ramificaciones sucesivas a partir de una única raíz.
- **Malla:** Permite la conexión entre dos estaciones a través de múltiples caminos.

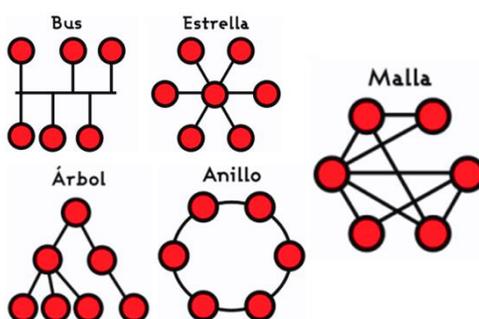


Figura 11. Diferentes topologías de redes

(Fuente: Blog ITDS, 2018)

2.5. Sistema de Supervisión y monitoreo

2.5.1. Sistemas SCADA (Pérez López, 2015).

La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años, se ha estado desarrollado el sistema denominado SCADA (siglas en inglés de Supervisory Control And Data Acquisition), por medio del cual se pueden supervisar y controlar las distintas variables que se presentan en un proceso o planta. Para ello se deben utilizar diversos periféricos, software de aplicación, unidades remotas, sistemas de comunicación, etc., que le permiten al operador tener acceso completo al proceso mediante su visualización en una pantalla de computador.

Hoy en día existen varios sistemas que permiten controlar y supervisar, tales como PLC, DCS y ahora SCADA, que se pueden integrar y comunicar entre sí mediante una red ethernet con el fin de que el operador pueda mejorar la interfaz en tiempo real.

Esto permite no solo supervisar el proceso sino tener acceso al historial de las alarmas y variables de control con mayor claridad, combinar bases de datos relacionadas, presentar en un simple computador, por ejemplo, una plantilla Excel, un documento Word, todo en ambiente Windows, con lo que todo el sistema resulta más amigable.

Las prestaciones que ofrece un sistema SCADA eran impensables hace una década y son las siguientes:

- Posibilidad de crear paneles de alarma, que exigen la presencia del ordenador para reconocer una parada o situación de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de señal de planta, que pueden ser incorporados para su proceso sobre una hoja de cálculo.
- Creación de informes, avisos y documentación en general.
- Ejecución de programas que modifican la ley de control o incluso el programa total sobre el autómata (bajo ciertas condiciones).

- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución sobre la CPU del ordenador y no sobre la del autómeta, menos especializado, etc.

- **Requisitos de un SCADA**

Estos son algunos de los requisitos que debe tener un sistema SCADA para sacarle el máximo provecho:

- Deben ser sistemas de arquitecturas abiertas, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes de la empresa.
- Deben comunicarse con total facilidad y de forma transparente para el usuario con el equipo de planta (drivers) y con el resto de la empresa (acceso a redes locales y de gestión).
- Los programas deben ser sencillos de instalar, sin excesivas exigencias, y fáciles de utilizar, con interfaces amables con el usuario (sonido, imágenes, pantallas táctiles, etc.).

- **Componentes de Hardware**

Un sistema SCADA, necesita ciertos componentes de hardware en el sistema para que de esa manera se pueda gestionar la información recibida, se describen a continuación estos componentes.

- **Ordenador Central o MTU (Master Terminal Unit):**

Se trata del ordenador principal del sistema, el cual supervisa y recoge la información del resto de las subestaciones, ya sean otros ordenadores conectados (en sistemas complejos) a los instrumentos de campo o directamente sobre dichos instrumentos. Este ordenador suele ser un PC que soporta el HMI.

De esto se deriva que el sistema SCADA más sencillo es el compuesto por un único ordenador, que es el MTU que supervisa toda la estación.

Las funciones principales del MTU son las siguientes:

Interroga en forma periódica a las RTU y les transmite consignas; siguiendo usualmente un esquema maestro-esclavo.

Actúa como interfaz del operador, incluyendo la presentación de información de variables en tiempo real, la administración de alarmas y la recolección y presentación de información “historizada”.

Puede ejecutar software especializado que cumple funciones específicas asociadas al proceso supervisado por el SCADA. Por ejemplo, software para detección de pérdidas en un oleoducto.

- **Ordenadores Remotos o RTU (Remote Terminal Unit):**

Estos ordenadores están situados en los nodos estratégicos del sistema gestionando y controlando las subestaciones; reciben las señales de los sensores de campo y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA.

Se encuentran en el nivel intermedio o de automatización; a un nivel superior está el MTU y a un nivel inferior los distintos instrumentos de campo que son los que ejercen la automatización física del sistema, control y adquisición de datos.

Estos ordenadores no tienen que ser PC, ya que la necesidad de soportar un HMI no es tan grande a este nivel, por lo tanto, suelen ser ordenadores industriales tipo armarios de control, aunque en sistemas muy complejos puede haber subestaciones intermedias en formato HMI.

Una tendencia actual es dotar a los controladores lógicos programables (PLC) con la capacidad de funcionar como RTU gracias a un nivel de integración mayor y CPU con mayor potencia de cálculo. Esta solución minimiza costos en sistemas en los que las subestaciones no sean muy complejas, sustituyendo el ordenador industrial mucho más costoso. Un ejemplo de esto son los nuevos PLC (adaptables a su sistema SCADA Experion PKS o Power Knowledge System) de Honeywell o los de Motorola MOSCAD, de implementación mucho más genérica.

- **Red de comunicación:**

Este es el nivel que gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores desde el sistema. El tipo de BUS utilizado en las comunicaciones puede ser muy variado según las necesidades del sistema y del software escogido para implementar el sistema

SCADA, ya que no todos los software (ni los instrumentos de campo como PLC) pueden trabajar con todos los tipos de BUS.

Hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, se puede implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de BUS. Se encuentran SCADA sobre formatos estándares como los RS-232, RS-422 y RS-485 a partir de los cuales, y mediante un protocolo TCP/IP, se puede conectar el sistema sobre un bus en configuración DMS ya existente; pasando por todo tipo de buses de campo industriales hasta formas más modernas de comunicación como Bluetooth (Bus de Radio), microondas, satélite, cable.

A parte del tipo de BUS, existen interfaces de comunicación especiales para la comunicación en un sistema SCADA, como pueden ser módems para estos sistemas que soportan los protocolos de comunicación SCADA y facilitan la implementación de la aplicación.

Otra característica de SCADA es que la mayoría se implementa sobre sistemas WAN de comunicaciones, es decir, los distintos terminales RTU pueden estar deslocalizados geográficamente.

- **Instrumentos de Campo:**

Son todos aquellos que permiten realizar tanto la automatización o control del sistema (PLC, controladores de procesos industriales y actuadores en general) como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores y alarmas).

Una característica de los SCADA es que sus componentes son diseñados por distintos proveedores, sin coordinación entre sí. De manera que se tienen diferentes proveedores para las RTU (incluso es posible que un sistema utilice RTU de más de un proveedor), módems, radios, minicomputadores, software de supervisión e interfaz con el operador, de detección de pérdidas, etc.

• **Estructura y componentes de un software SCADA**

Se requiere módulos de software que permiten la adquisición, supervisión y monitoreo estos son los siguientes:

- **Configuración:** permite definir el entorno de trabajo de la aplicación según la disposición de pantallas requerida y los niveles de acceso para los distintos usuarios. En este módulo, el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar, importándolas desde otra aplicación o generándolas en el propio SCADA. Para ello, se incorpora un editor gráfico que permite dibujar a nivel de píxel (punto de pantalla) o utilizar elementos estándar disponibles, líneas, círculos, textos o figuras, con funciones de edición típicas como copiar, mover, borrar, etc. Durante la configuración también se seleccionan los drivers de comunicación que permitirán el enlace con los elementos de campo y la conexión o no en red de estos últimos; se selecciona el puerto de comunicación sobre el ordenador y sus parámetros, etc. En algunos sistemas también es en la configuración donde se indican las variables que se van a visualizar, procesar o controlar, en forma de lista o tabla en la que éstas pueden definirse y facilitar la programación posterior.

- **Interfaz gráfica del operador:** proporciona al operador las funciones de control y supervisión de la planta. El proceso que se supervisará se representa mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador y generados desde el editor incorporado en el SCADA o importados desde otra aplicación de uso general (Paintbrush, DrawPerfect, AutoCAD, etc.) durante la configuración del paquete. Los sinópticos están formados por un fondo fijo y varias zonas activas que cambian dinámicamente de formas y colores, según los valores leídos en la planta o en respuesta a las acciones del operador. Deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones a la hora de diseñar las pantallas:
 - Las pantallas deben tener apariencia consistente, con zonas diferenciadas para mostrar la planta (sinópticos), las botoneras y entradas de mando (control) y las salidas de mensajes del sistema (estados, alarmas).
 - La representación del proceso se realizará preferentemente mediante sinópticos que se desarrollan de izquierda a derecha.
 - La información presentada aparecerá sobre el elemento gráfico que la genera o soporta, y las señales de control estarán agrupadas por funciones.
 - La clasificación por colores ayuda a la comprensión rápida de la información.

- Los colores deben usarse de forma consistente en toda la aplicación: si rojo significa peligro o alarma y verde indica normalidad, estos serán sus significados en cualquier parte de la aplicación.

- **Módulo de proceso:** ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. Sobre cada pantalla se pueden programar relaciones entre variables del ordenador o del autómatas que se ejecutan continuamente mientras esté activa. La programación se realiza por medio de bloques de programa en lenguaje de alto nivel (C, Basic, etc.). Es muy frecuente que el sistema SCADA confíe a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la planta, reservándose para sí las operaciones propias de la supervisión, como el control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos, etc. Las relaciones entre variables que constituyen el programa de mando que el SCADA ejecuta de forma automática pueden ser de varios tipos:
 - Acciones de mando automáticas preprogramadas que dependen de valores de señales de entrada, salida o combinaciones de éstas.
 - Maniobras o secuencias de acciones de mando.
 - Animación de figuras y dibujos, asociando su forma, color, tamaño, etc., al valor actual de las variables.
 - Gestión de recetas, que modifican los parámetros de producción (consignas de tiempo o de conteo, estados de variables, etc.) de forma preprogramada en el tiempo o dinámicamente según la evolución de la planta.

- **Gestión y archivo de datos:** se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, según formatos inteligibles para elementos periféricos de hardware (impresoras, registradores) o software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema, de forma que otra aplicación o dispositivo pueda tener acceso a ellos. Pueden seleccionarse datos de planta para ser capturados a intervalos periódicos y almacenados como un registro histórico de actividad, o para ser procesados inmediatamente por alguna aplicación de software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento. Esto último se consigue

con un intercambio de datos dinámico entre el SCADA y el resto de aplicaciones que corren bajo el mismo sistema operativo. Por ejemplo, el protocolo DDE de Windows permite el intercambio de datos en tiempo real. Para ello, el SCADA actúa como un servidor DDE que carga variables de planta y las deja en la memoria para su uso por otras aplicaciones Windows, o las lee en memoria para su propio uso después de haber sido escritas por otras aplicaciones. Una vez procesados, los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas, representación tridimensional, etc., que permiten analizar la evolución global del proceso.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA CONCEPTUAL Y BÁSICA

3.1. Descripción de la planta y requerimientos técnicos del proyecto.

El diseño de la automatización para la planta de tratamiento de agua potable debe contar con los siguientes requerimientos: medición y monitorización de caudal, medición de turbiedad, pH y control de la dosificación de químicos en la etapa de dosificación, control del proceso de retrolavado en la etapa de filtración, medición y monitorización de los parámetros de caudal turbiedad, pH y cloro residual en la etapa final de desinfección. Las etapas en las cuales se plantea intervenir son las de dosificación, filtración y desinfección, estableciendo los parámetros que intervienen en el proceso, además se deberá establecer los requerimientos técnicos de control en cada etapa del proceso de potabilización del agua.

A la planta de tratamiento de agua potable de Tulcán llegan aproximadamente 240 lt/s de agua para que sea tratada, después de pasar por el pre tratamiento (aireador), el agua es transportada hacia el vertedero que tiene unas dimensiones de 0.70 m de ancho y 0.40 m de alto, en el vertedero comienza la etapa de dosificación del agua, esta etapa requiere monitorear los parámetros de caudal, turbiedad y pH, las acciones de control que se deben realizar en esta etapa se centrarán en el pH y la turbiedad del agua puesto que estos parámetros son importantes para la dosificación de químicos que permitirán eliminar la turbiedad, la concentración de materias orgánicas y microorganismos, para ello nos basaremos en la información recolectada por la ingeniera química de la planta, quien es la encargada del control de calidad del tratamiento del agua.

Para las siguientes etapas de filtración y desinfección la planta de tratamiento se divide en dos partes, una parte sur y una parte norte, por tanto el caudal que sale del vertedero se divide en dos, para la etapa de filtración será necesario que se controle el paso del agua a través de la apertura o cierre de válvulas, además será necesario colocar sensores de nivel que indiquen cuando se ha sobrepasado el límite permitido de impurezas y cuando las estructuras necesitan ser limpiadas (retro lavado), es importante que el nivel pueda ser monitoreado en la interfaz de monitoreo, y

además existan alarmas sonoras y lumínicas que permitan a los operadores manejar las diferentes acciones de control. Para la etapa de desinfección será necesario visualizar la cantidad de cloro gaseoso que se añade al agua tratada.

Todas las etapas y variables deben ser monitoreadas y controladas de diferentes maneras desde un interfaz HMI, permitiendo a los operadores manejar el sistema de manera Local, Manual o Automática, ayudando a corregir cualquier tipo de error que pueda existir en el proceso.

3.2. Ingeniería Conceptual para el sistema de Instrumentación.

3.2.1. Requerimientos necesarios para el sistema de instrumentación

El presente sistema estará encargado de tomar las medidas de cada variable por tanto debe ser el más confiable, además que los datos sean adquiridos de manera ininterrumpida. Es requerimiento que todos los instrumentos posean sus respectivas normas de protección y seguridad, según sea necesario. Es importante que los sensores manejen un indicador local debido a que si los operadores realizan diferentes trabajos en la planta puedan visualizar directamente el valor de las variables en el proceso.

Los sensores deben contar con una variedad de posibilidades en cuanto a la señal de respuesta, ya sea una señal analógica en voltaje, corriente o mediante comunicación digital. Es necesario que el sistema de instrumentación cuente con la energía eléctrica para alimentación de los sensores y que estos puedan operar de manera correcta, por lo tanto, es necesario contar con tomas de voltaje de 12 V DC, 24 V DC y 120 V AC.

En caso de que los sensores tengan la capacidad de ser configurados o programados ayudaría de gran manera a que la adquisición de datos se realice de la manera más óptima, ajustando el rango de medida, cambiando la manera de respuesta a la necesaria, y configurando diferentes parámetros existentes en la medida de una señal. Otra consideración importante es que las señales de los sensores puedan ser leídas o sean compatibles con equipos como registradores, controladores o pantallas.

3.2.2. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de Instrumentación.

- **Viabilidad Técnica.**

El sistema de instrumentación es viable debido a que la complejidad para medir este tipo de magnitudes no es alta, además de que estas tecnologías de medición se las utiliza en la industria desde hace algunos años atrás, además varios fabricantes desarrollan productos que facilitan tanto la adquisición de los datos como la transmisión de los mismos.

Para el sistema es necesario conocer que cada instrumento sin importar su fabricante maneja señales de respuesta estándares y que pueden ser interpretadas por cualquier tipo de controlador.

En el sistema se establece que es necesario que los equipos posean normas de protección certificadas lo cual es viable en todos los fabricantes y la mayoría cumple con este requisito. Además, es necesario que los elementos sean precisos y su medida confiable, por tanto, se puede destacar que la gran mayoría de fabricantes han desarrollado instrumentos con esta capacidad.

Se puede encontrar algún grado de complejidad para la instalación de los sensores de pH y turbiedad debido a que es necesario que los operadores de la planta tengan conocimiento de cómo interpretar las variables que son medidas por los sensores para poder aplicar una correcta operación.

Para garantizar la transmisión del transductor es importante contar con cables que aseguren este proceso evitando cualquier caída de señal, lo cual es totalmente viable. Por lo tanto, se puede enfocar la viabilidad técnica en los siguientes puntos.

- Compatibilidad entre las marcas usadas, posibilidad de integración.
- Confiabilidad y precisión en los instrumentos.
- Normas y certificaciones de seguridad para los elementos.
- Conocimiento y capacidad del personal operador.

- **Disponibilidad Técnica.**

Se determinará que todos los instrumentos y elementos necesarios para este sistema de instrumentación están disponibles en el mercado ya sea a nivel nacional o internacional, existen varias marcas que cumplen con los puntos tratados en la viabilidad técnica, por lo tanto, la disponibilidad es relativamente alta en ese sentido.

Este sistema representa un alto costo, y se debe analizar que marca es más conveniente, o caso contrario analizar la posibilidad de importar los equipos del exterior sabiendo que resulta mejor que comprar localmente. Es importante que en el mercado existan equipos que pueden trabajar conjuntamente sin importar su fabricante ya que cada uno maneja señales estándares para instrumentación y lectura de las señales adquiridas.

3.2.3. Señales y variables a ser medidas en cada etapa del proceso

Las magnitudes físicas que el sistema de instrumentación estará encargado de medir son caudal, turbiedad, y alcalinidad o acidez (pH). A continuación, se describirá donde se debe tomar la medida y cuál va a ser su rango.

- Dosificación

Medida de caudal: es importante conocer el valor del caudal que está entrando al vertedero desde la etapa de pretratamiento, el dato que se tomó durante la visita técnica es que el caudal que ingresa es de 240 lt/s, este dato es medido de manera manual, por lo tanto, es necesario adquirir un instrumento capaz de evaluar esta magnitud de forma rápida y precisa. El rango que debe tener este instrumento será de 0 a 300 lt/s, y conocer esta medida será importante para la etapa de desinfección ya que según este valor se dosifica la cantidad de cloro que se añadirá al agua.

Medida de alcalinidad o acidez: para el análisis del tipo de agua que ingresa al vertedero y conocer cuanta cantidad de químico se necesita agregar al agua es necesario colocar un sensor de alcalinidad o acidez con un rango de medición de 6 a 14 pH.

Medida de Turbiedad: la medición continua de la turbiedad por la falta de transparencia del agua debido a la presencia de partículas extrañas debe realizarse por medio de analizadores de turbiedad, es necesario colocar el sensor al ingreso al vertedero para poder realizar el análisis de la cantidad de químico que se debe agregar al agua, por lo tanto, se necesita colocar un sensor de turbiedad con un rango de medición de 0 a 100 NTU (Unidad de medición actual de la turbiedad).

En la **Tabla 1** se observa las variables y rangos de los parámetros a medir que se presenta en la etapa de Dosificación del proceso.

Tabla 1

Muestra las variables y rangos de los parámetros a medir

Variable	Rango
Caudal	0 a 240 L/s
Alcalinidad o acidez	6 a 14 pH
Turbiedad	0 a 100 NTU

La planta de tratamiento a partir de las siguientes etapas del proceso se divide en dos secciones, una llamada “Norte” y otra “Sur”, estas dos secciones tienen las mismas características tanto en tamaño como en condiciones de funcionamiento por lo cual el sistema de instrumentación será el mismo para las dos secciones.

- **Filtración.**

Medida de Nivel: Las estructuras de sedimentación tienen dimensiones de 12 m de largo y una profundidad de 7 m aproximadamente ya que es a desnivel, es importante adquirir datos de esta magnitud continuamente y que posea un rango de medida de 0 a 7 m.

- **Desinfección.**

Medidor de Cloro: será importante colocar un medidor de cloro ubicado en la salida de la etapa de desinfección ya que este parámetro sirve para medir la cantidad de cloro que posee el agua tratada antes de que se dirija a los tanques de reserva.

3.2.4. Esquema de ubicación para cada elemento de medida

- Dosificación.

La **Figura 12** muestra la ubicación de los sensores necesarios para medir caudal, color y turbiedad en esta etapa del proceso de potabilización. Los instrumentos de pH y turbiedad estarán ubicados en la entrada al vertedero. Para la medición de caudal se colocará un sensor ubicado a la entrada del vertedero, lo ubicará en la línea de Rio Chico que va directamente al vertedero, este debe tener un diámetro de 12 pulgadas.

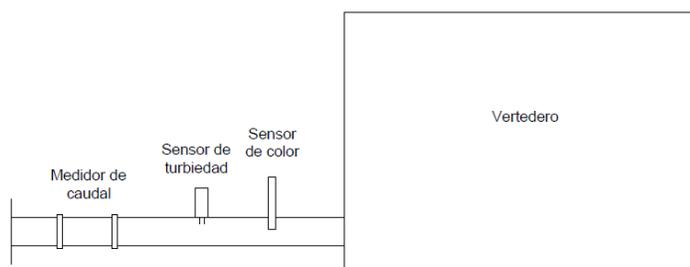


Figura 12. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Dosificación

- Filtración.

La **Figura 13** muestra la ubicación del sensor de nivel, debe contar con un medidor en la parte superior de la estructura de filtración, se ubicará a 0.5 m de la parte superior de la estructura y será capaz de captar toda la medida desde 0 hasta 5 metros.

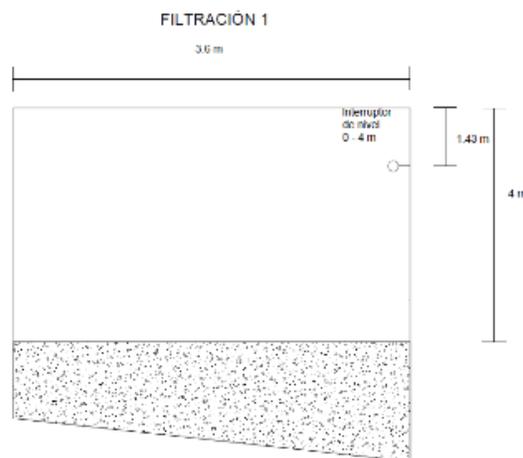


Figura 13. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Filtración

- Desinfección.

Se colocará un medidor de cloro ubicado en la salida de la etapa de desinfección ya que este parámetro sirve para medir la cantidad de cloro que posee el agua tratada antes de que se dirija a los tanques de reserva. Además se colocarán sensores de pH, caudal y turbiedad con el fin de medir los valores de salida de la planta y compararlo con los valores de entrada que llegan a la planta. La **Figura 14** muestra la ubicación de los sensores.

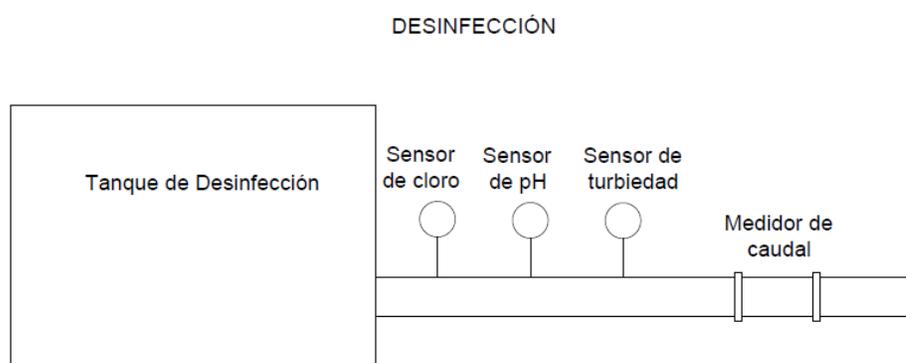


Figura 14. Esquema de ubicación de los sensores en la etapa de Desinfección

3.3. Ingeniería Conceptual para el sistema de Control.

3.3.1. Requerimientos necesarios para el sistema de control

El siguiente sistema será el encargado de operar y controlar de manera automática o manual todos los elementos y etapas del proceso de potabilización de la planta de tratamiento, por lo que debe ser capaz de monitorear el valor de los sensores de manera ininterrumpida y según su lectura realizar acciones de control establecidas, con el objetivo de optimizar el proceso de potabilización del agua.

Los controladores deben poseer recursos como capacidad de interpretar varios tipos de señales analógicas y discretas las cuales proviene del sistema de instrumentación, para lograr integrarse con instrumentos y equipos de diferentes fabricantes. Además de integrar todas las etapas del proceso existente en la planta de tratamiento.

El controlador debe manejar todo tipo de señal eléctrica tanto en corriente y voltaje para su respuesta con el objetivo de poder trabajar con actuadores de otros fabricantes y controlar el proceso. Por consiguiente el controlador debe tener su respectivo grado y normas de protección que aseguren la operación de estos en las condiciones normales de un sistema de tratamiento de agua potable. Dentro de este sistema se consideran actuadores a elementos como válvulas siendo éste el elemento final de control.

3.3.2. Análisis de elementos de control y actuadores existentes

- Dosificación.

A la entrada de la etapa de dosificación existe una válvula de mariposa la cual es usada para regular el caudal existente, el control de este elemento es manual y su montaje es en una tubería de 12 pulgadas de diámetro.

Se colocará un sensor de caudal en la tubería principal de entrada, además se colocará un sensor de pH al inicio de esta etapa para poder estabilizar la cantidad de pH que tiene el agua cruda mediante la dosificación de cal, posteriormente se colocará un sensor que mida la turbiedad del agua para poder dosificar la cantidad de sulfato de aluminio y polímero que necesita el agua para que comience la eliminación de materiales coloidales mediante el proceso de floculación.

Es necesario mencionar que los químicos: polímero, sulfato de aluminio y cal, serán mezclados previamente con agua limpia y cada solución se encontrará en unos tanques separados para que así pueda dosificarse según sea necesario.

- Filtración y retro lavado.

En la entrada de la etapa de filtración existen seis compuertas las cuales son usadas para regular el caudal que proviene de la etapa de sedimentación, el control de estos elementos es manual y se lo muestra en la **Figura 15**.



Figura 15. Fotografía de las compuertas en la etapa de Filtración

Se controlará la apertura y cierre de las válvulas que permiten la entrada y salida del agua en tratamiento a la etapa de filtración, este procedimiento será controlado mediante la señal del interruptor de nivel, esta señal transmitirá la orden al PLC para cerrar la válvula de entrada al filtro, de igual manera se procederá a cerrar la válvula de salida del filtro, a continuación se abrirá la válvula de retrolavado la cual dará paso al agua del tanque de retro lavado para que ingrese por la tubería mediante gravedad, después se abrirá la válvula de desfogue principal para que las impurezas y sedimentos salgan por el canal de desfogue de lodos, este proceso se realizará durante un tiempo establecido, este tiempo será determinado a través de pruebas en una futura etapa de implementación, ya que se necesita saber el tiempo de duración de lavado de cada uno de los seis filtros de esta etapa, una vez realizado este procedimiento se volverá a cerrar la válvula de desfogue principal además de la válvula de retrolavado y se abrirá la válvula de entrada y la válvula de salida dando paso al agua en tratamiento, de esta manera se procederá para cada uno de los seis filtros que posee la planta de tratamiento.

3.3.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de control

- Viabilidad Técnica.

El sistema de control de la planta de tratamiento de agua potable es viable, debido a que en su gran parte los controladores existentes en el mercado son capaces de interpretar cualquier tipo de señal eléctrica o en su caso de comunicación digital que proviene de un controlador o sensor. Además de poder controlar diferente número de variables usando el actuador adecuado ya que pueden manejar diversos lazos de control simultáneamente, los controladores en la actualidad poseen interfaces analógicas y digitales que permiten interactuar con elementos exteriores.

Es importante la capacidad de integración entre los controladores, ya que es necesaria para llevar a cabo la comunicación entre las etapas del proceso y mantener un control en todo el proceso de potabilización evitando errores humanos en la adición del químico y en la manipulación de la apertura o cierre de las compuertas o válvulas. Otro aspecto importante es la capacidad de comunicarse con varios programas para el monitoreo o supervisión de los procesos para desarrollar el interfaz humano – máquina, sin importar el fabricante.

El control de la adición del químico es viable mediante el uso de válvulas que permitan regular el flujo impulsado por las bombas como las válvulas mariposas, que pueden ser accionadas de manera manual, eléctrica o hidráulica. Por lo tanto se mide la viabilidad técnica para este sistema en los siguientes puntos.

- Compatibilidad entre sensores, actuadores y software de HMI de varias marcas.
- Control de caudal a través de válvulas diferentes.
- Comunicación mediante red Ethernet IP entre los controladores de las estaciones.
- Capacidad de manejar varios lazos de control y acciones de control.
- Confiabilidad y seguridad al momento de la operación.
- Las interfaces mediante señales analógicas y discretas.

- **Disponibilidad Técnica.**

Según lo presentado anteriormente mediante la viabilidad técnica, los equipos existentes en cada una de las etapas del proceso y que son necesarios para este sistema, tienen un grado relativo alto de disponibilidad en el mercado ya que se encuentran ofertados por varios fabricantes en el mercado nacional o internacional.

Los equipos que se ofrece en el mercado cumplen con todos los puntos tratados en la viabilidad y principalmente cumplen con la capacidad de integrarse con diferentes marcas tanto con el sistema de instrumentación como con el sistema de monitoreo o comunicación.

Por tanto, cada fabricante ofrece diversos beneficios o características que pueden mejorar el desempeño del sistema siempre manejando señales o comunicaciones estándares de la industria.

3.3.4. Variables a ser controladas en cada etapa del proceso.

- **Dosificación**

En esta etapa se controlará la adición del químico coagulante en el agua mediante la apertura o cierre de válvulas, como se ha explicado anteriormente existen tres tipos de compuestos que se añaden al agua para ser tratada, por lo tanto según los valores de la turbiedad y el pH del agua que esté ingresando al vertedero se abrirá o se cerrará las válvulas que dosifican la cantidad de polímero, se abrirá o cerrará la válvula que dosifica la cantidad de sulfato y se abrirá o cerrará la válvula que dosifica cal.

- **Retro lavado**

Control de nivel: Debido a que en esta etapa algunas partículas no deseadas para el proceso van quedando en los filtros de estas estructuras y se van acumulando en la superficie inferior de estas, por tanto es necesario que cuando esto ocurra se proceda a limpiar las estructuras de inmediato, por lo tanto se requiere que cuando se tenga un nivel superior a 4.5 m en cualquiera de las estructuras de filtración se proceda a cerrar su respectiva compuerta y se realice una limpieza.

3.3.5. Esquema de ubicación de cada elemento de control.

A continuación, se presentan la posición y ubicación estimada de los equipos de control y controladores dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento. En la **Figura 16** indica la ubicación de los elementos de control para la etapa de coagulación.

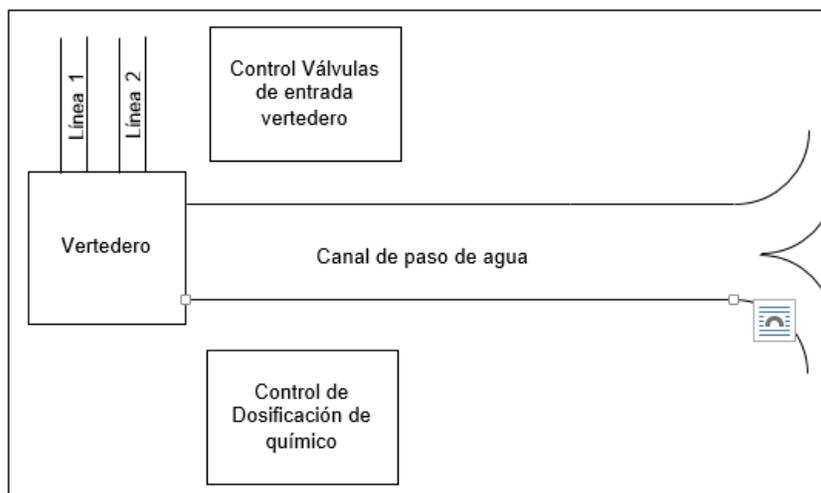


Figura 16. Esquema de ubicación de elementos de control para la etapa de Dosificación

En la **Figura 17** indica la ubicación de los elementos de control para la etapa de floculación, sedimentación, filtración.

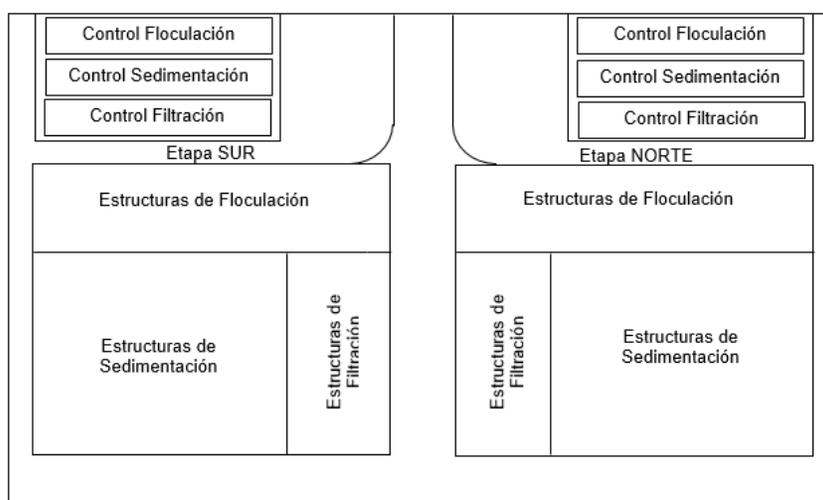


Figura 17. Esquema de ubicación de elementos de control para la etapa de Floculación, sedimentación y filtración.

En la **Figura 18** indica la ubicación de los elementos de control de la etapa de desinfección.

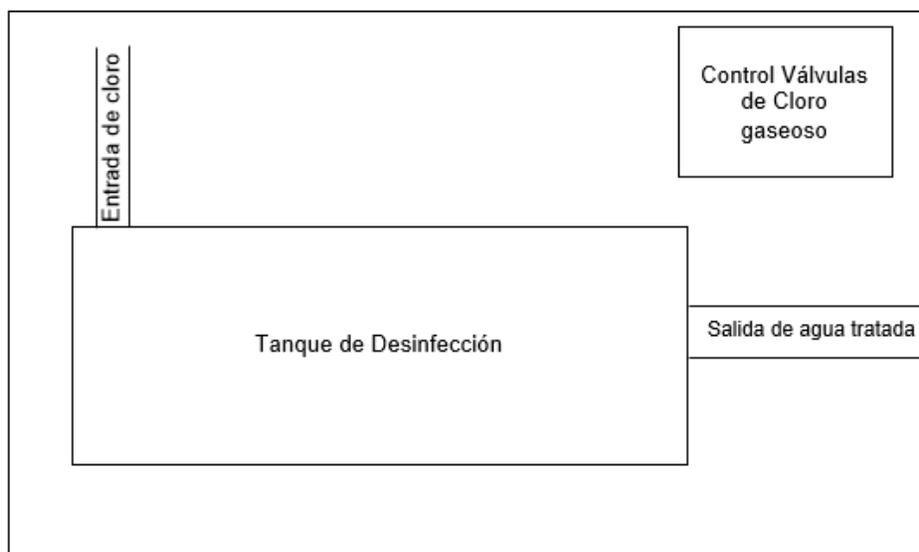


Figura 18. Esquema de ubicación de elementos de control para la etapa de Desinfección

3.4. Ingeniería Conceptual para el sistema de Comunicación.

3.4.1. Requerimientos necesarios dentro del sistema de comunicación.

En este apartado se trata el tema de los requerimientos que el proceso necesita para llevar a cabo los objetivos ya que es el encargado de transportar los datos que se adquieren en el sistema de instrumentación hacia las demás etapas del proceso o hacia un lugar central, además de transmitir las diferentes órdenes que se necesitan para generar las acciones de control, este sistema es el encargado de comunicar si es el caso los diferentes controladores de cada etapa del proceso, por lo tanto para que la automatización sea exitosa debe ser un sistema que no falle en la transmisión de los datos. El sistema si es necesario deberá contar con una red de respaldo con el fin de que el sistema de comunicaciones sea seguro y que la automatización y control del proceso no sea intermitente.

Esta red de comunicación para futuras aplicaciones al sistema podrá combinar tecnologías inalámbricas y cableadas, pero todas deben trabajar sobre una plataforma de comunicación

Ethernet TCP/IP usando el protocolo de comunicación que permita transportar los datos de cada controlador y además la integración de cada etapa del proceso se pueda realizar sin problemas. Es de suma importancia que los equipos de comunicación cuenten con energía eléctrica confiable para su alimentación. Los equipos de comunicación o enlace deben contar puertos para la interconexión de computadoras, controladores y medios de transmisión los cuales deben tener las respectivas normas de protección y seguridad.

3.4.2. Plataformas y tecnologías de comunicación existentes.

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Tulcán. (EPMAPA-T), al momento no posee un sistema de comunicación para la planta de tratamiento con el cual se pueda trabajar para ayudar a la implementación de la red de controladores, por lo cual el diseño de la red se la realizará desde el inicio.

A continuación, se realizará un corto análisis de las diferentes plataformas de comunicación que existen en el mercado por diferentes fabricantes de controladores que se utiliza en la industria de la automatización para diferentes procesos.

- Redes de comunicación industrial Ethernet (Rodríguez Penin, 2008) .

El éxito de las tecnologías basadas en Ethernet se debe, en parte, al estándar desarrollado conjuntamente por AT&T, Hewlett-Packard, IBM y otros miembros del comité de normalización IEEE 802.3. El éxito también puede ser debido a la capacidad de adaptación de la red, usando el mismo sistema de cableado, topología, formatos y controladores que las redes ya instaladas. Al utilizar tecnología ya existente se reducen los costes de instalación de forma drástica y se simplifica mucho la estructura de cableado. Los estándares para cableado estructurado, desarrollados por EIA/TIA (*Electronic Industries and Telecommunications Industries Association*) especifican las condiciones de montaje de este tipo de red.

Ethernet se ha convertido así en una red de comunicación ideal, fiable y de bajo coste, lo cual hace muy interesante a los ojos industriales:

- IEEE 802.3 normaliza las Capas físicas y de transporte, y está basada en la red Ethernet de Xerox, que se ha convertido en un estándar para la interconexión de ordenadores y equipos informáticos.
- Ethernet TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*)
- *Common Industrial Protocol* (CIP), es el protocolo que proporciona prestaciones de tiempo real e interoperabilidad de sistema.

Las redes Ethernet transmiten datos a velocidades que van desde 10 Megabit (10BASET) a 1 Gigabit (1000BASET) usando el cable UTP (*Unshielded Twisted Pair*) de categorías 5 y 6, ya existentes.

Para garantizar la compatibilidad de las diferentes soluciones que van apareciendo, relacionadas con Ethernet, aparece, en 1999, IAONA (*Industrial Automation Open Networking Alliance*). Es una asociación de más de 130 fabricantes y usuarios en todo el mundo. Su objetivo es establecer una serie de estándares de comunicación para los entornos industriales a nivel internacional. Se trata de establecer un sistema para comunicar todos los niveles de la empresa sin necesidad de interfaces. Como preámbulo, diremos que la nomenclatura que se aplica en Ethernet describe sus características más destacadas:

- El primer número indica la velocidad de transmisión, en Megabit por segundo.
- El texto central hace referencia al tipo de transmisión: Banda Base (BASE), o Banda Ancha (BROAD)
- El número de la derecha hace referencia a la longitud de cable máxima, en metros. Se multiplica por 100 (10BASE-5 hace referencia a segmentos de 500m).
- En los últimos estándares, se sustituye por letras, las cuales definen el tipo de cableado (100BASE-T es cable de par trenzado).

Con la irrupción en el entorno industrial, los productos Ethernet deben ser de diseño mucho más robusto que lo habitual, pues las condiciones difieren bastante del entorno de oficina. Los elementos suelen estar montados fuera de armarios, expuestos a temperaturas extremas, humedad, vibraciones, agentes corrosivos, o alimentaciones inestables, por poner algunos ejemplos.

Hay algunos inconvenientes en este tipo de aplicación que se han tenido que mejorar o modificar para su aplicación satisfactoria en entornos difíciles:

- Cableado con hardware complejo (hub, conmutador, switch, categoría 5 y 6 en cable)
- Las conexiones no están adaptadas al entorno industrial (el diseño clásico de RJ45 no es robusto) y necesitan adaptadores que le confieran resistencia mecánica.
- Sensible a interferencias electromagnéticas.
- No está asegurado el acceso a la red.
- Debe implementarse un algoritmo de sincronización
- La eficacia es baja (16 bit de datos necesitan 1000 bit de “acompañamiento”)

- **Redes de comunicación industrial Profibus (Rodríguez Penin, 2008).**

Profibus fue creado por un consorcio de cuatro empresas y siete universidades. En 19989 aparece Profibus FMS (Especificación de Mensaje de Bus de Campo, *Fieldbus Message Specification*).

FMS es un protocolo orientado al intercambio de grandes cantidades de datos entre autómatas. En este tipo de transmisión es más interesante la funcionalidad que la rapidez, con lo que los tiempos de reacción son más lentos. Generalmente, la transmisión de datos es de tipo acíclico (controlada por programa).

La especificación de Profibus-DP (Periferia Descentralizada), mucho más rápido, se completa en 1993 (aproximadamente el 90% de Esclavos Profibus son DP).

La idea era de desarrollar un sistema de bus de campo abierto y transparente a los fabricantes, que permitiese unir en una red de comunicación dispositivos de automatización del nivel de sensores y actuadores con el nivel de célula. Esta jerarquización se elaboró en la Norma Europea EN 50170, en 1996.

En la **Tabla 2** se observan las características más importantes para cada versión.

Tabla 2

Características importantes de las redes de comunicación industriales

	PROFIBUS – FMS	PROFIBUS – DP	PROFIBUS – PA
Aplicación	Nivel de campo y proceso	Nivel de E/S	Nivel de E/S
Estándar	EN 50 170/ IEC 61158	EN 50 170/ IEC 61158	IEC 1158-2
Dispositivos conectables	PLC, Dispositivos de campo	PG/PC, de Dispositivos de campo, OPs	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión
Tiempo de respuesta	< 60 ms	1 – 5 ms	< 60 ms
Tamaño de la red	<= 150 km	<= 150 km	Máx. 1.9 km
Velocidad	9.6 Kbit/s – 12 Mbit/s	9.6 Kbit/s – 12 Mbit/s	31.25 Kbit/s

- **Redes de comunicación industrial DeviceNet (Rodríguez Penin, 2008).**

Es una red digital de tipo abierto, muy flexible en su implementación y de bajo coste, que sirve de nexo de unión entre reguladores industriales y dispositivos de Entrada/Salida (sensores fotoeléctricos, sensores magnéticos, pulsadores, etc.), Cada dispositivo en un nodo de red.

Es una tecnología diseñada para satisfacer las exigencias de fiabilidad requeridas por los ambientes industriales. Utiliza CAN (*Controller Area Network*) para el enlace de datos, y CIP (Protocolo Común Industrial) para las capas superiores de red.

Con DeviceNet los dispositivos de vigilancia y control se pueden gestionar a distancia. También permite que un fabricante añada facultades exclusivas de sus productos además de las mínimas requeridas por el protocolo (evidentemente, los “extras” deben seguir las especificaciones de DeviceNet).

Se basa en el dialogo Productor-Consumidor y soporta múltiples jerarquías de comunicación y priorización de mensajes. Los sistemas basados en DeviceNet pueden configurarse para funcionar como Maestro-Esclavo o con enlaces punto a punto (peer to peer).

Un sistema DeviceNet ofrece un único punto de conexión para la configuración y el control, soportando Entradas-Salidas y mensajería. También ofrece la posibilidad de alimentar directamente del cable de red a los nodos con bajos consumo, simplificando así el cableado.

El certificado de conformidad con DeviceNet (*DeviceNet Conformance Tested*), emitido por ODVA, garantiza la compatibilidad de los dispositivos que superan las pruebas establecidas por la organización de normalización.

Las ventajas más destacadas de DeviceNet:

- Multiplicidad de fabricantes. Mientras los productos cumplan los perfiles reflejados en las normas, cualquier elemento DeviceNet puede ser sustituido por su equivalente de otro fabricante.
- El ser un estándar abierto proporciona a los usuarios finales multitud de soluciones técnicas.
- Menor tiempo de paro gracias a sus sistemas de diagnóstico y la posibilidad de aplicar mantenimiento predictivo.
- Reducción de cableado en las señales de Entrada-Salida.
- Posibilidad de eliminar o añadir nodos en marcha sin afectar al resto de elementos y sin necesidad de herramientas de programación (plug and play).

- Programación y configuración durante el funcionamiento.

Tabla 3

Características importantes de las redes de comunicación industrial DeviceNet

Denominación	DeviceNet, basado en CIP (Common Industrial Protocol).
Soporte	ODVA (Open DeviceNet Vendor Association)
Cuentas	3.5 millones de nodos (redes CIP)
Topología	Bus (trunkline/dropline)
Medio	Par trenzado para señal y potencia
Elementos	64 nodos
Distancia	500 m. máximo a 125 kb/s (variable)
Comunicación	Productor/Consumidor, punto a punto con multicast (uno a varios) y Maestro/Esclavo
Velocidad	500 kb/s, 250 kb/s o 125 kb/s
Datos/paquete	0 a 8 bytes, variable
Tiempo de ciclo	--

3.4.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de comunicación.

El sistema de comunicación se lo considerará viable ya que los equipos y tecnologías de comunicación existentes en la actualidad permiten transportar los tipos de datos necesarios para la integración de las etapas del proceso, además con las nuevas tecnologías son capaces de asegurar el flujo de información permitiendo que los datos no lleguen con errores y consigan ser interpretados por los controladores de cada etapa del proceso. Se mencionó anteriormente que existen varios protocolos y plataformas de comunicación industrial, por tanto con esta información se puede determinar que cada uno de ellos permite integrar los sistemas y etapas del proceso en sistema de potabilización, por lo tanto se considerara viable el sistema si este puede cumplir con los parámetros dados a continuación.

- Garantizar el flujo de la información.
- Asegurar que los datos lleguen sin errores

- Permitir una velocidad de transmisión confiable.
- Capacidad de transportar los tipos de datos necesarios para integrar las etapas del proceso.
- Capacidad de conexión entre los elementos necesarios para el sistema.

Una vez analizados los parámetros para la viabilidad técnica se considera que los elementos necesarios para el sistema de comunicación se encuentran disponibles dentro del mercado nacional o internacional, subrayando que cumplen con todo lo expuesto sin problemas.

3.4.4. Esquema y topología de red y arquitectura de comunicación.

En la **Figura 19** se muestra la topología de red, para la planta de tratamiento de agua potable se analizado utilizar una topología de red tipo bus, ya que este tipo de topología tiene algunas ventajas como que nos permitirán tener una comunicación confiable.

- Coste de instalación es bajo.
- Si existen un fallo de algún nodo este no afecta el funcionamiento de la red.
- Existe un control del flujo de la información sencillo.
- En el caso que se tenga algunos nodos, estos se pueden comunicar directamente entre sí.
- Se puede realizar fácilmente una ampliación de nuevas estaciones o nodos.

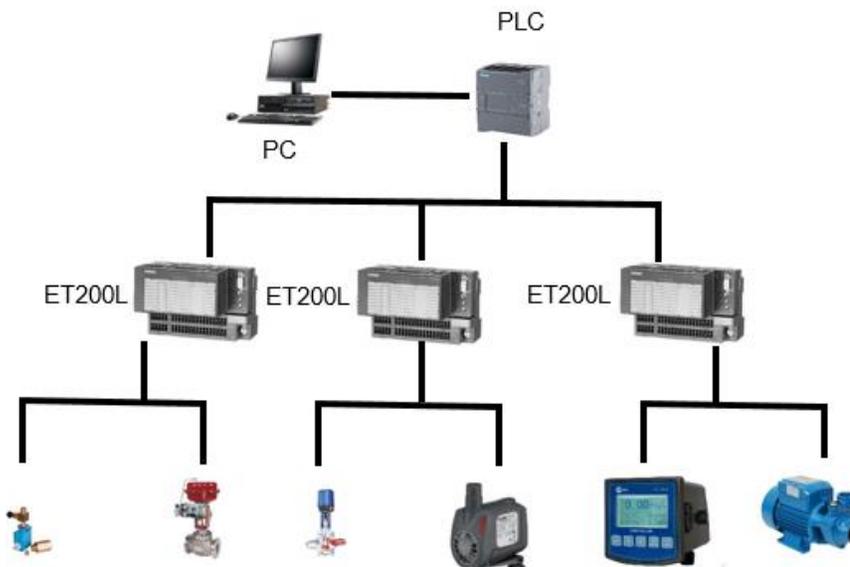


Figura 19. Topología de red para el sistema de comunicación de la planta de tratamiento de agua potable

3.5. Ingeniería Conceptual para el sistema de Supervisión y Monitoreo.

3.5.1. Requerimientos necesarios para el sistema de supervisión y monitoreo.

En esta parte el sistema de supervisión y monitoreo se ocupará de la presentación, operación y funcionamiento del proceso de potabilización, de esta forma los operadores lograrán comunicarse con el proceso e interpretarlo. Este sistema será el encargado de mostrar toda la información recibida a lo largo del proceso, además de realizar las respectivas acciones de control de manera manual o automática.

Los requerimientos son los siguientes: primeramente, el software encargado del manejo de las interfaces y monitoreo debe ser de tipo libre con el fin de poder operar diferentes equipos de varios fabricantes, facilitando de gran manera la integración de todo el proceso. Para el software en el que se desarrollarán las interfaces de monitoreo deberán ser capaces de operar con una base de datos donde se almacenará la información relevante del proceso de la planta, de esta manera el laboratorista de la planta junto con los operadores podrá inspeccionar el proceso. Es esencial que

el sistema proporcione reportes sobre fallas o errores que están ocurriendo en el proceso mostrando alarmas que ayuden a los operadores de la planta a corregir la o las fallas lo más pronto posible.

Es importante que las computadoras donde se ejecutará el software deben tener todas las características necesarias para la operación correcta del programa. Así mismo los monitores de visualización de cada una de las etapas del proceso deben tener la resolución y calidad de imagen adecuada para que los operadores y el laboratorista de la planta puedan interpretar correctamente de manera visual todo el proceso.

3.5.2. Análisis de elementos a monitorear y controlar.

Será necesario que a través de este sistema se pueda supervisar y monitorear, además de poner en marcha las acciones de control sobre los diferentes elementos de las etapas del proceso, es importante considerar cada uno de los rangos de magnitud de cada elemento que se trataron en el sistema de instrumentación.

- Dosificación

En esta etapa se monitorearán tres parámetros del proceso el caudal, la turbiedad y pH, se debe visualizar cada una de las variables, se debe visualizar cuanto caudal ingresa a esta etapa del proceso para que de esta manera se lleve un registro de ingreso del agua al proceso de tratamiento, además se tiene que visualizar los valores de la turbiedad y pH ya que estos valores son útiles para el registro del laboratorio de la planta, además sirve para realizar una correcta dosificación del químico que se agregará.

- Filtración y retro lavado

En esta etapa se monitoreará y se visualizará la apertura y cierre de las compuertas cuando sea el caso, se podrá abrir o cerrar las compuertas desde el HMI, en estas etapas del tratamiento lo importante para el sistema de monitoreo y supervisión será manejar alarmas que ayuden a corregir cualquier error o cuando se necesite mantenimiento en la planta.

- **Desinfección**

En la etapa de desinfección será importante monitorear y visualizar la cantidad de caudal que ingresa a los tanques de desinfección, además de visualizar la cantidad de cloro que se está añadiendo al agua tratada ya que se añade el cloro según la cantidad de agua que ingresa al tanque de desinfección, también se visualizará la cantidad de pH y turbiedad. Será importante monitorear estas variables para comparar los valores que se tiene al ingreso de la planta con los valores que salen de la planta con el objetivo de brindar soporte a la verificación de la calidad del agua.

3.5.3. Viabilidad y disponibilidad técnica para el sistema de supervisión y monitoreo.

El sistema de monitoreo y supervisión se considera viable cuando conjuntamente los sistemas de control e instrumentación entreguen datos de manera correcta para que puedan ser interpretados por el software de monitoreo, el sistema de monitoreo depende del sistema de comunicación. Por lo tanto, el sistema de monitoreo será viable cuando tenga la capacidad de integrar los demás sistemas, permitiendo al proceso ser operado de forma manual o automática.

Se considera que el sistema es viable puesto que en el mercado existe un software de monitoreo libre que permite comunicarse con diferentes fabricantes. Además, es una ventaja que en el entorno actual este tipo de sistemas se ha estado usando en las industrias y los diversos fabricantes ofrecen una diversa variedad de herramientas para ensamblar y desarrollar un sistema de monitoreo y supervisión.

Es importante que para facilitar el diseño del sistema de monitoreo y supervisión se considere un software con la capacidad de trabajar con algunos aspectos siguientes

- Capacidad de manejar base de datos
- Debe poder comunicarse mediante red Ethernet IP.
- Debe tener librerías con diversos gráficos y símbolos previamente diseñados que puedan ser entendidos por los operadores para el proceso.

- Es necesario que tenga la capacidad de integración con varias marcas de controladores que existen en el mercado.

Para ventaja del proyecto existen fabricantes de software que brindan todas las herramientas necesarias para que el sistema de monitoreo sea viable y pueda operar el proceso.

Considerando todos estos aspectos la disponibilidad técnica para este sistema es viable, ya que se tiene información necesaria en el mercado de la existencia de varios softwares con la capacidad de cumplir con todos los aspectos anteriormente mencionado. Al tratarse de un programa para computador es más sencillo ya que en la actualidad en el mercado cada desarrollador brinda diferentes facilidades con respecto a otras marcas por tanto será importante primero analizar las posibilidades económicas antes de escoger el software para el sistema.

3.5.4. Esquemas de arquitectura de control a ser desarrollada.

A continuación, se muestra en la **Figura 20** el esquema para la arquitectura de control para la planta de tratamiento de agua potable, en esta se puede ver las variables que serán monitoreadas, además de la topología de red de los sistemas y el control que se realizará en cada etapa, se utilizará Controladores Lógicos Programables para todo lo correspondiente a la adquisición de datos, control del proceso en cada etapa de la potabilización del agua y para la monitorización de todo el proceso.

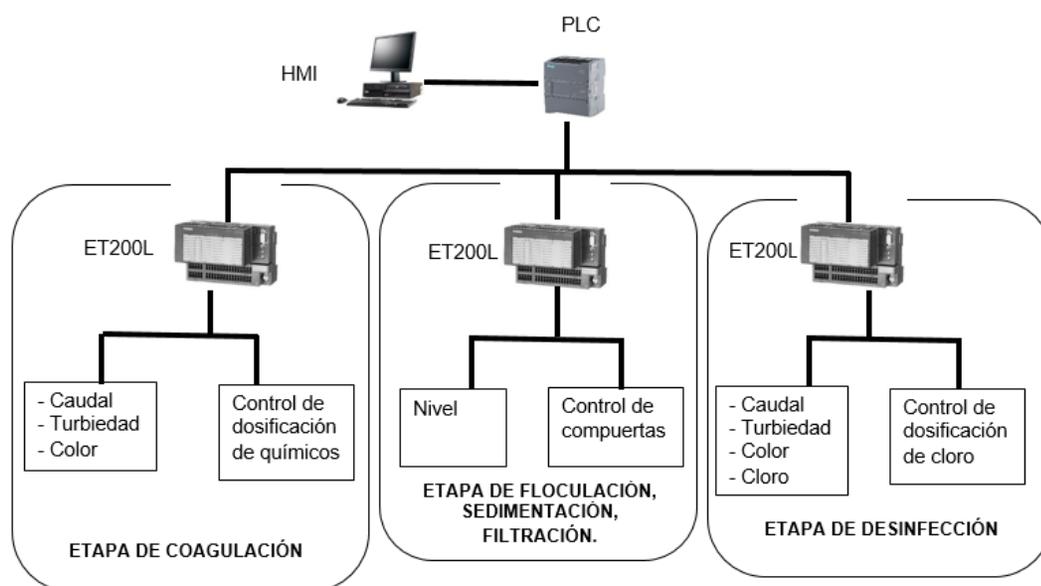


Figura 20. Arquitectura de control para el sistema de automatización de la planta de tratamiento de agua potable

3.6. Ingeniería Básica para el sistema de Instrumentación

3.6.1. Análisis y revisión de instrumentos necesarios y existentes

A continuación, se realizará una lista de instrumentos que debe tener el sistema de potabilización que según los requerimientos de la planta son necesarios, además se describirá las características básicas de los instrumentos.

- Dosificación

Medición de caudal: La medida de caudal en esta etapa se la realiza en una tubería de 10 pulgadas y en otra tubería de 12 pulgadas a la entrada al vertedero de la planta, estos sensores serán ubicados a continuación de una válvula de control, su rango de medida será de 0 a 240 lt/s y su respuesta será de 4 mA a 20 mA, es necesario que este medidor cuente con un indicador de caudal con el fin de conocer el valor de la variable de manera local.

Medición de turbiedad: Para la medición de la turbiedad en esta etapa será mediante un sensor de turbidez y sólidos en suspensión con tecnología infrarroja se lo puede ubicar en la tubería

o para inmersión en tanques abiertos, su rango de medida será de 0 a 100 NTU, su respuesta será de 4 mA a 20 mA y comunicación MODBUS RS232/RS485, PROFIBUS o HART.

Medición de alcalinidad o acidez: Para la medición de alcalinidad y acidez en esta etapa será mediante un sensor de pH se lo puede ubicar en la tubería o para inmersión, su rango de medida será de 0 a 14 unidades de pH, su respuesta será de 4 mA a 20 mA y comunicación MODBUS RTU estándar.

- **Retro lavado**

Medición de nivel: En esta etapa existen estructuras con cierto desnivel, pero con una profundidad aproximada de 5 m, es importante conocer cuando la cantidad de agua sobrepasa el límite establecido por los operadores por lo cual para medir este nivel de forma continua es necesario colocar un sensor de rango 0 a 5 m y este instrumento debe contar con una respuesta analógica de 4 mA a 20 mA.

- **Desinfección**

Medición de cloro: Para la medición de cloro en esta etapa será mediante un sensor de cloro se lo puede ubicar en la tubería o para inmersión a la salida de esta etapa, su rango de medida será de 0 a 2 mg/l, su respuesta será de 4 mA a 20 mA y comunicación MODBUS RTU estándar.

Medición de caudal: La medida de caudal en esta etapa se la realiza en una tubería de 10 pulgadas y en otra tubería de 12 pulgadas a la entrada al vertedero de la planta, estos sensores serán ubicados a continuación de una válvula de control, su rango de medida será de 0 a 240 lt/s y su respuesta será de 4 mA a 20 mA, es necesario que este medidor cuente con un indicador de caudal con el fin de conocer el valor de la variable de manera local.

Medición de turbiedad: Para la medición de la turbiedad en esta etapa será mediante un sensor de turbidez y sólidos en suspensión con tecnología infrarroja se lo puede ubicar en la tubería

o para inmersión en tanques abiertos, su rango de medida será de 0 a 100 NTU, su respuesta será de 4 mA a 20 mA y comunicación MODBUS RS232/RS485, PROFIBUS o HART.

Medición de alcalinidad o acidez: Para la medición de alcalinidad y acidez en esta etapa será mediante un sensor de pH se lo puede ubicar en la tubería o para inmersión, su rango de medida será de 0 a 14 unidades de pH, su respuesta será de 4 mA a 20 mA y comunicación MODBUS RTU estándar.

3.6.2. Elaboración de diagramas P&ID preliminares para cada etapa

A continuación, se presentan los diagramas P&ID que se desarrollaron para representar la instrumentación que se necesitará para el proceso de automatización en la planta de tratamiento de agua potable. Los instrumentos que se presentan en el diagrama son utilizados para medir las diferentes variables a tratar en el sistema como son caudal, turbidez, color, nivel. También se muestra la disposición de las válvulas en las etapas del proceso.

Etapa de coagulación, la **Figura 21** muestra el diagrama P&ID de la etapa.

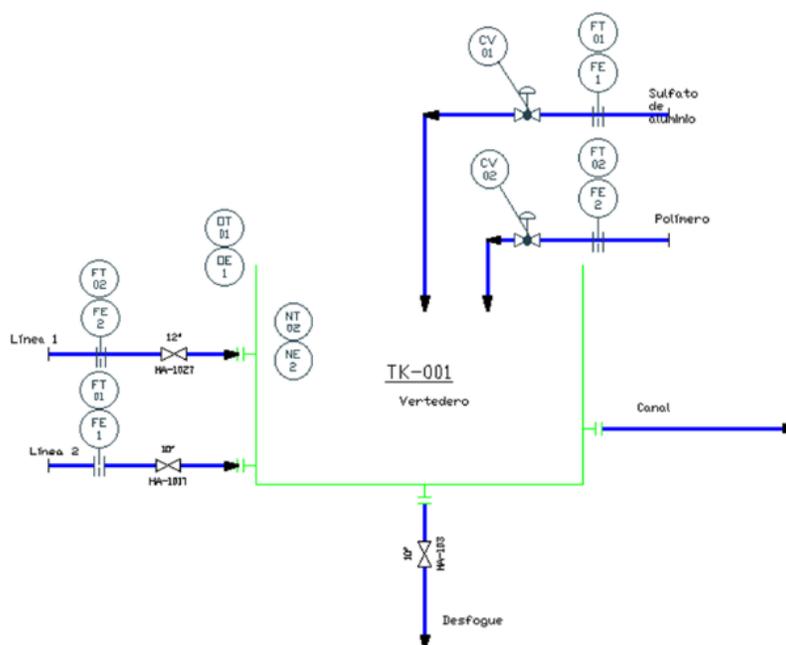


Figura 21. Diagrama preliminar P&ID de la etapa de Dosificación

Etapa de filtración, la **Figura 22** muestra el diagrama P&ID de la etapa.

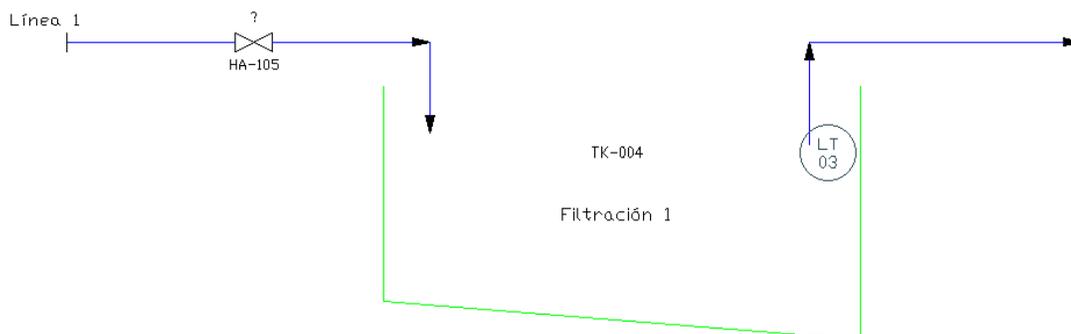


Figura 22. Diagrama preliminar P&ID de la etapa de Filtración

Etapa de desinfección, la **Figura 23** muestra el diagrama P&ID de la etapa.

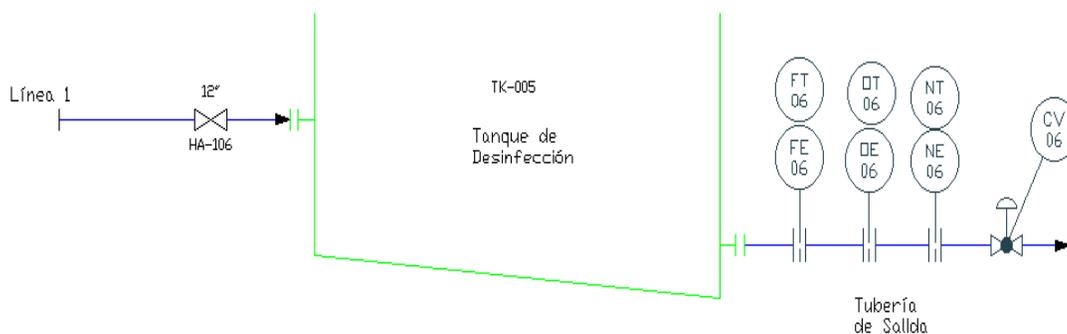


Figura 23. Diagrama preliminar de P&ID de la etapa de Desinfección

3.6.3. Análisis de instrumentos existentes en el mercado

- **Medida de caudal**

A continuación, se realiza la comparación entre los sensores de caudal en el mercado nacional y que cumplen con los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro del sistema de instrumentación, en la **Tabla 4** se muestra la comparación entre los medidores de caudal.

Tabla 4

Comparación entre sensores de caudal de los fabricantes Fuji y Siemens

Sensor	Fuji tipo FLY	Siemens F US SONO 3100
Rango de lectura	0 a 1000 lt/s en 200 mm	0 a 1400 LPS en 800 mm
Rango de velocidad	0 a 2 m/s. 0 a 32 m/s.	0 a 1 m/s. 0 a 10 m/s.
Respuesta	Analógica en corriente continua, 4 – 20 mA con una impedancia menor a 300 ohmios.	Analógica 0/4 – 20 mA. Frecuencia y pulso aislado, 0 – 10 KHz, constante de tiempo de 0.8 – 30 s. 15 V DC.
Protecciones y Normas	IP 67	IP 67, IEC 529.
Precio Internacional	120.00 \$	2250.00 \$

- **Medida de turbidez**

A continuación, se realiza la comparación entre los sensores de turbidez en el mercado nacional y que cumplen con los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro del sistema de instrumentación, en la **Tabla 5** se muestra la comparación entre los sensores de turbidez.

Tabla 5

Comparación entre sensores de turbidez de los fabricantes Rosemount ABB y HFscientific

Sensor	Rosemount Clarity II Turbidimeter serie T1056	Sistema de monitoreo de turbidez ABB sensor 7997 200	MicroTol+ Turbidímetro en línea
Rango de lectura	0 a 1 NTU ± 2% 0 a 20 NTU ± 2%	0 a 25 NTU 0 a 250 NTU	0 a 1000 NTU

CONTINUA



Temperatura de operación	0 °C a 50 °C.	0 °C a 50 °C.	1 °C a 50 °C.
Respuesta	4 – 20 mA o 0 – 20 mA, totalmente escalable con una impedancia menor a 550 ohmios	0 – 10 mA 0 – 20 mA 4 – 20 mA.	4 – 20 mA RS – 485 Seleccionable
Protecciones y Normas	IP65	ISO7027	USEPA, ISO 7027, CE Approved, ETL Listed to UL 3111-1 and ETL Certified to CSA 22.2 No. 1010-1-92
Precio Internacional	4542.71 \$	3896.75 \$	4036.00 \$

- **Medida de alcalinidad o acidez**

A continuación, se realiza la comparación entre los sensores de pH en el mercado nacional y que cumplen con los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro del sistema de instrumentación, en la **Tabla 6** se muestra la comparación entre los medidores de pH.

Tabla 6

Comparación entre sensores de pH de los fabricantes Rosemount y De Nora

Sensor	Rosemount combinado de pH/ORP serie 3900	Sensor De Nora Series MC2100 Probes
Rango de lectura de pH	0 a 14 unidades	0 a 14 unidades
Temperatura de operación	-10 °C a 100 °C	0 °C a 80 °C (en inmersión)
Protecciones y Normas	IEC60079-0, EN 60079-0	ISO 9001
Precio Internacional	368.40 \$	489.40 \$

- **Medida de nivel**

A continuación, se realiza la comparación entre los sensores de nivel por contacto en el mercado nacional y que cumplen con los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro del sistema de instrumentación, en la **Tabla 7** se muestra la comparación entre los medidores de caudal.

Tabla 7

Comparación entre sensores de nivel de los fabricantes FineTek y Sodial

Sensor	FineTek serie A/B/C Cup type	FAE SODIAL
Rango de lectura	0 a 5 metros	0 a 4 metros
Temperatura de operación	0 °C a 60 °C	0 °C a 80 °C
Voltaje de operación	10 A / 250 Vac	16 A / 250 Vac
Protecciones y Normas	IP 68	IP 68
Precio Internacional	20.0 \$	35 \$

- **Medida de cloro**

Se realiza la comparación entre los sensores de cloro en el mercado nacional y que cumplen con los requerimientos técnicos para poder ser usados dentro del sistema de instrumentación, en la **Tabla 8** se muestra la comparación entre los medidores de cloro.

Tabla 8

Comparación entre sensores de cloro de los fabricantes Signet y Jishe

Sensor	Transmisor y Sensor de Cloro de Signet serie 3-2630-3	Transmisor y Sensor de cloro Jishe serie CL-9650
Rango de lectura	0 a 20 ppm (mg/l)	0 a 20 ppm (mg/l)

CONTINUA



Temperatura de funcionamiento	-25 °C a 120 °C	0 °C a 60 °C
Respuesta	4 – 20 mA.	4 – 20 mA.
Protecciones y Normas	NEMA 4X, IP 65	IP 65
Precio Internacional	455.95 \$	566.00 \$

3.6.4. Selección y análisis de equipos de instrumentación según tecnología y prestaciones

Para seleccionar los instrumentos a utilizar en este sistema es necesario considerar lo determinado anteriormente por los requerimientos, viabilidad y disponibilidad técnica, además de las señales de respuestas y rangos de medidas que se utilizará para monitorear las variables, se realizará un análisis de los diferentes instrumentos necesarios para el sistema de automatización.

- **Medida de caudal**

Para la medición de caudal será necesario contar con un sensor en la entrada del proceso. El sensor a utilizar será de marca Fuji tipo FLY, su principio de medida es de ultrasonido, está diseñado para medir un volumen y rango de flujo usando unidades estándares de volumen, este instrumento tiene el rango de medida que se necesita el sistema ya que el sistema brinda un caudal pequeño, este instrumento cumple con las siguientes características necesarias para el sistema:

- **Voltaje de operación:** AC 100 a 240 V, DC 20 a 30 V
- **Repetibilidad:** 1% del rango desde 0.2 m/s
- **Rango de velocidad:** 0 – 2 m/s o 0 a 32 m/s
- **Señales de salida:**
 - i. Analógica en corriente continua, 4 – 20 mA con una impedancia menor a 300 ohmios.
 - ii. Frecuencia y pulso, 1000 P/s máx., ancho de pulso ajustable a 5, 10, 50, 100, 200, 500, 1000 ms
 - iii. Relé 30 V y 50 mA

- **Carcaza:** IP 67.
- **Temperatura de operación:** -20 °C a + 55 °C.
- **Cable coaxial para transmisión de la señal:** 150 m longitud máxima entre el sensor y el controlador.
- **Rango de medida:** Para tubería de 200 mm y velocidad de 0 a 32 m/s, el rango de medida es de 0 – 1000 L/s



Figura 24. Sensor Fuji Ultrasonic Flowmeter Detector

Fuente: (Fuji Electric Co., Ltd. 2012)

- **Medida de turbidez**

Para la medición de turbidez será necesario contar con un sensor que mida la turbidez en la entrada de la etapa de dosificación. El sensor a utilizar será de marca Rosemount Clarity II Turbidimeter serie T1056, se seleccionó este sensor por el rango de medida que posee ya que se necesita medir la turbiedad en rangos inferiores de NTU, será un sensor que se instalará en línea y viene con su respectivo transmisor, este instrumento tiene las siguientes características:

- **Voltaje de operación:** AC 85 a 265 V, DC 20 a 30 V
- **Señales de salida:** 4 – 20 mA o 0 – 20 mA, totalmente escalable con una impedancia menor a 550 ohmios.

- **Temperatura de operación:** 0 °C a 50 °C.
- **Rango de medida:** 0 - 1 NTU: $\pm 2\%$ de lectura o ± 0.015 NTU, el que sea mayor, 0 - 20 NTU: $\pm 2\%$ de la lectura.



Figura 25. Sensor y transmisor Clarity II Turbidimeter

Fuente: (Rosemount Analytical Inc. 2014)

- **Medida de alcalinidad o acidez**

Para la medición de la alcalinidad o acidez se medirá el parámetro de pH por tanto se utilizará un sensor que mida pH en el agua cruda, este también se ubicará en la parte inicial del proceso para poder medir el agua cruda que ingresa para el tratamiento a la planta, medir este parámetro permitirá estabilizar la cantidad de pH que posee el agua cruda mediante la dosificación de polímero. El sensor a utilizar será de la marca Rosemount Sensor combinado de pH/ORP serie 3900 que será utilizado con el mismo transmisor de turbiedad compatible con este sensor, este instrumento tiene las siguientes características:

- **Señales de salida:** 4 – 20 mA o 0 – 20 mA, compatible con SMART

- **Temperatura de operación:** -10 °C a 100 °C, con compensación automática de la temperatura.
- **Rango de medida:** pH: de 0 a 14, ORP: de -1500 a +1500 mV.
- **Porcentaje de linealidad en el rango de pH:**

Tabla 9

Porcentaje de linealidad de rango de pH del sensor Rosemount combinado de pH/ORP serie 3900 (Rosemount Analytical Inc. 2014)

RANGO pH	LINEALIDAD
0-7	97%
1-7	98%
4-7	98%
7-10	99%
7-12	97%
7-13	96%
7-14	95%



Figura 26. Sensor pH/ORP 3900

Fuente: (Rosemount Analytical Inc. 2014)

- **Medida de nivel**

Para la medición de nivel será necesario contar con un sensor en la etapa de filtración. Los sensores a utilizar serán un interruptor de nivel de flotación por contacto y serán de la marca FineTek serie FAE A/B/C Cup type, el funcionamiento de este interruptor de nivel de flotación está estructurado mediante el uso de micro interruptores de proximidad para controlar el contacto, los interruptores transmitirán una salida de señal de contacto encendido o apagado cuando el flotador se eleva y gira hacia arriba. El interruptor contiene una bola de metal que puede deslizarse cuando cambia la posición del flotador, este instrumento tiene las siguientes características:

- **Voltaje de operación:** 10A / 250 Vac.
- **Voltaje del cable:** 600 Vac.
- **Tipo de contacto:** Normalmente Abierto (N.O), Normalmente Cerrado (N.C)
- **Resistencia de aislamiento:** Min. 100 M Ohmios.
- **Resistencia de contacto:** Máx. 100 m Ohmios.
- **Temperatura de operación:** 0 °C a 60 °C.
- **Rango de medida:** 0 – 5 metros.



Figura 27. Interruptor flotador de nivel FineTek modelo FAE A/B/C CUUp Type

Fuente: (FineTEK. 2012)

- **Medida de cloro**

Para la medición de cloro será necesario contar con un sensor de cloro libre en la entrada del proceso. El sensor a utilizar será de marca GFSignet con módulo electrónico 3-2630-3, será un sensor que se instalará en línea y viene con su respectivo transmisor Signet 8630-3, este instrumento tiene las siguientes características:

- **Voltaje de operación:** 5A a 30 VCC, 5A a 250 VCA.
- **Señales de salida:** 4 – 20 mA, totalmente escalable con una impedancia menor a 600 ohmios a 24 V.
- **Temperatura de operación:** -25 °C a 120 °C.
- **Rango de medida:** 0 a 20 ppm (ml/g).



Figura 28. Sensor de cloro Signet con módulo electrónico serie 3-26-30 y transmisor Signet 8630-3

Fuente: (GFSignet. 2012)

3.7. Ingeniería Básica para el sistema de Control

3.7.1. Análisis y revisión de elementos de control necesarios y existentes

- **Controlador lógico programable.**

En este apartado se considerará un Controlador Lógico Programable, que permita integrar el sistema, monitorear las diferentes variables existentes en la planta de tratamiento con el fin de controlar de una manera eficiente la dosificación de los químicos, asimismo de poder controlar la apertura de las válvulas en el retrolavado de la etapa de filtración y realizar mediciones correctas de los diferentes parámetros del sistema, automatizando el proceso de la planta con el objetivo de optimizar el sistema de tratamiento de agua potable.

- Para la etapa de dosificación se ha determinado que se controlará la adición de los químicos y el monitoreo del proceso inicial.
- Para la etapa de filtración se ha establecido que se controlará el proceso de retrolavado de los filtros.
- Para la etapa de desinfección se controlará medición y adición del cloro gaseoso que ingresa a los tanques de desinfección.

Se utilizará solamente un controlador modular que será el encargado de automatizar el proceso de tratamiento de la planta de agua potable, además de monitorear las señales de caudal, turbidez, alcalinidad o pH, nivel y el nivel de cloro que se añadirá al agua para asegurar la correcta funcionalidad del proceso.

- **Actuadores eléctricos**

Para la etapa de filtración será necesario utilizar actuadores eléctricos que permitan la apertura y cierre de las compuertas que dan el paso de la etapa de sedimentación a la etapa de filtración, de igual manera se utilizará actuadores que para la apertura y cierre de las compuertas

que dan acceso de la etapa de filtración a la etapa de desinfección. Para estas compuertas se necesitará un actuador eléctrico multi vuelta de con un voltaje de alimentación de 110 o 220 VDC.

- **Bomba dosificadora.**

En la etapa de dosificación será necesario utilizar bombas dosificadoras las cuales permitirán dosificar con mayor precisión la cantidad de químicos que necesita el agua cruda en la planta, las bombas dosificadoras realizarán el control automático mediante pulsos. Las bombas dosificadoras funcionarán con voltajes universales de 100 a 240 VCA, tendrán entrada y salida analógica de 4 – 20 mA.

3.7.2. Elaboración de diagramas de control para cada uno de los elementos seleccionados

A continuación, se presentan diagramas que muestran como las diferentes etapas están conectadas para que el sistema de automatización cumpla con los requerimientos que se establecieron como son control de la activación de las bombas dosificadoras, monitoreo, control de las compuertas y control de las variables del proceso de tratamiento de agua.

La **Figura 29** muestra el diagrama de control para la etapa de dosificación donde resaltamos las señales de control, el proceso, la instrumentación y software junto con el HMI.

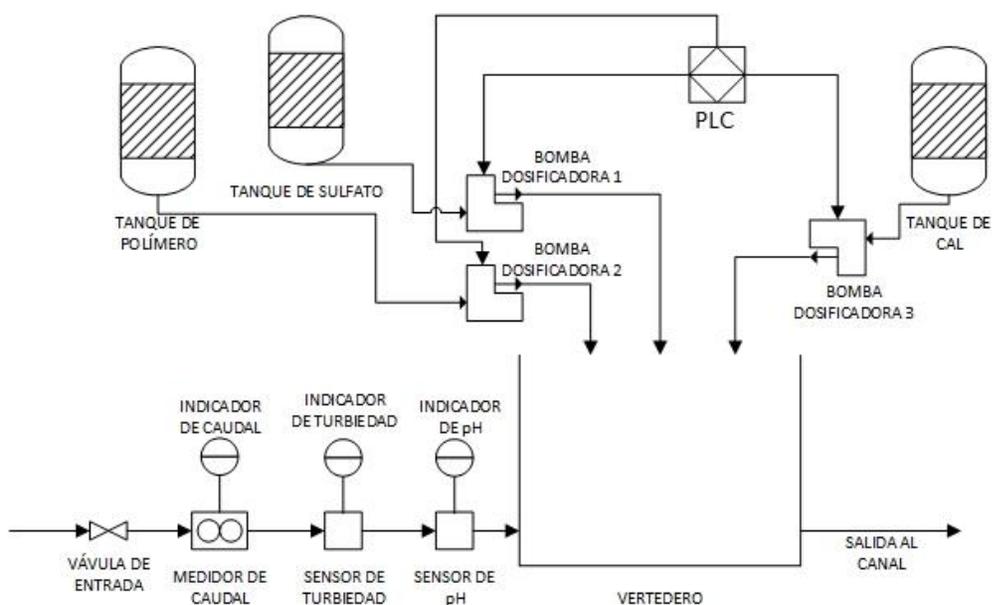


Figura 29. Diagrama de flujo de proceso para la automatización de la etapa de Dosificación

La **Figura 30** muestra el diagrama de control para la etapa de retrolavado donde resaltamos las señales de control, el proceso, la instrumentación y software junto con el HMI.

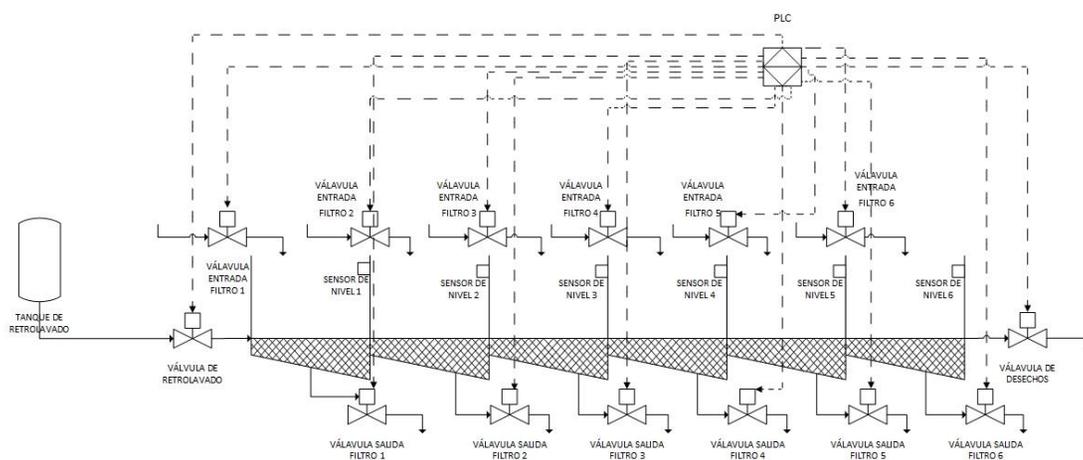


Figura 30. Diagrama de control para la automatización de la etapa de Retrolavado

3.7.3. Análisis de equipos de control disponibles en el mercado

- **Controlador lógico programable.**

Se realiza una comparación de dos controladores lógicos programables que cumplen con los requerimientos que se establecieron anteriormente, estos controladores son el PLC Allen Bradley Control Logix 1756 y Siemens S7-300

Tabla 10

Comparación entre controladores Siemens y Allen Bradley

PLC	SIEMENS S7-300	ALLEN CONTROL 1756	BRADLEY LOGIX
Fuente de poder	24 VDC	24 VDC/120V AC	
Entradas y salidas analógicas	64	128	
Entradas y salidas digitales	512	1000	
Memoria de usuario	3 MB	2 MB	
Precio Internacional	3200.00 \$	2520.00 \$	

- **Actuadores eléctricos.**

Se realiza una comparación de dos actuadores eléctricos que cumplen con los requerimientos que se establecieron anteriormente, estos actuadores eléctricos son el PLC Allen Bradley Control Logix 1756 y Siemens S7-300

Tabla 11

Comparación entre actuadores eléctricos Auma y Rotork

Actuador eléctrico	Auma	Rotork
Tipo de actuador	Multi vuelta	Multi vuelta
	CONTINUA	

Voltaje de operación	100 a 120 V CA	110/220 V CA
Grado de protección	IP 68	IP 67
Rango de par	250 a 500 Nm	10 a 12.000 Nm
Señal de comando	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Precio Internacional	740.75 \$	1050.00 \$

- **Bombas dosificadoras.**

Se realiza una comparación de dos bombas dosificadoras que cumplen con los requerimientos que se establecieron anteriormente, estas bombas son el PLC Allen Bradley Control Logix 1756 y Siemens S7-300

Tabla 12

Comparación entre bombas dosificadoras Iwaki y Ares

Bomba dosificadora	IWAKI EWN - Y	ARES DS6
Voltaje de alimentación	115 VAC, 50/60 Hz	110 VAC, 60 Hz
Control de pulsos	Si	Si
Entradas analógicas	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Salidas analógicas	4 – 20 mA	4 – 20 mA
Precio Internacional	2016.86 \$	2520.00 \$

3.7.4. Selección y análisis de equipos de control según tecnología y prestaciones

En este apartado para seleccionar los equipos de control a utilizar en el sistema es necesario considerar lo determinado anteriormente por los requerimientos, viabilidad y disponibilidad técnica, además de las prestaciones que presentan para realizar las acciones de control y los lazos de control, debe poseer capacidad de integrarse con diferentes marcas de sensores y software de monitoreo.

- **Controlador lógico programable.**

El controlador a seleccionar es el PLC de la marca Siemens S7- 300, este controlador cumple con los requerimientos, además de escalabilidad, viabilidad y disponibilidad, posee gran compatibilidad con sensores y software de monitoreo (Siemens AG, 2018) (AUMA Actuators, 2018).

Dentro de las especificaciones de este controlador se encuentran:

- **Puertos de comunicación:** 1 puerto de comunicación MPI y puerto de comunicación PROFIBUS DP.
- **Opciones de comunicación:** Ethernet, Profinet, Industrial Wireless Lan, Profibus, AS-Interface, Modbus RTU, Modbus TCP/IP.
- **Lenguaje de programación:** FUP, KOP, AWL, SCL, GRAPH
- **Memoria de usuario:** 3MB
- **Número máximo de I/O digitales:** 65536
- **Número máximo de I/O analógicas:** 4096
- **Fuente de poder:** 24 VDC, 110/220 VAC
- **Temperatura de operación:** -25 °C a 60 °C

A continuación, en la **Figura 31** se muestra el controlador seleccionado.



Figura 31. PLC Siemens S/-300

Fuente: (Siemens AG, 2018).

- **Actuadores eléctricos.**

Para el control de la apertura y cierre de las compuertas en la etapa de filtración en el proceso de retrolavado deben cumplir las mismas especificaciones técnicas ya que todas las compuertas que se manejarán son las mismas, los actuadores seleccionados son de la marca AUMA, a continuación se muestra las siguientes especificaciones (AUMA Actuators, 2018): (IWAKI America Inc., 2018)

- **Tipo de actuador eléctrico:** Actuador eléctrico multi vuelta.
- **Voltaje de alimentación:** 110 o 220 VAC.
- **Actuador con volante:** debe poseer un volante para operar en caso de falla.
- **Grado de Protección:** NEMA 4, IP 65.
- **Rango de pares:** 250 hasta 1.000 Nm.
- **Adaptable:** para válvulas de tipo compuerta, mariposa.
- **Temperatura de funcionamiento:** -25 °C a 60 °C
- **Señal de comando:** 4 – 20 mA.



Figura 32. Actuador eléctrico AUMA

Fuente:(AUMA, 2009).

- **Bomba dosificadora.**

Las bombas dosificadoras a seleccionar para esta etapa deben cumplir con las consideraciones de voltaje, control de pulsos, entradas y salidas analógicas 4 -20 mA, caudal de 240 L/s, las bombas dosificadoras seleccionadas son de la marca IWAKI America Inc. Serie EWN-Y, a continuación, se muestra las principales características:

- **Voltaje de alimentación:** 100-240 VAC 50/60 Hz.
- **Control de pulsos:** 0.01560 ml/PLS – 300 ml/PLS, 0.00625 ml/PLS – 120 ml/PLS
- **Entradas analógicas:** 4 – 20 mA.
- **Salidas analógicas:** 4 – 20 mA.
- **Caudal:** 300 LPH.



Figura 33. Bomba dosificadora IWAKI

Fuente: (IWAKI America Inc., 2018).

3.8. Ingeniería Básica para el sistema de Comunicación

3.8.1. Análisis y revisión de plataformas de comunicación existentes

La plataforma de comunicación que se utilizará para la red de comunicación industrial se determina según el controlador que será utilizado, además de la capacidad que esta cuenta para transmitir datos en tiempo real, también este protocolo de comunicación es compatible con varios fabricantes, por lo tanto se utilizará la plataforma de comunicación PROFIBUS DP para el controlador Siemens S7-300 (Siemens AG, 2018).

Se presenta a continuación algunas características y criterios de selección de Profibus DP orientado a sensores/actuadores enlazados a procesadores (PLC's) y terminales.

- **¿Por qué se usará esta plataforma de red?**

Para poder cubrir los niveles de campo dentro de jerarquía de los sistemas de automatización, se desarrolló el protocolo PROFIBUS-DP (periferia descentralizada). La característica fundamental de PROFIBUS-DP es que los datos útiles se representan en forma de una imagen de datos cíclica. El principio de la comunicación PROFIBUS-DP es un sistema maestro-esclavo. Este protocolo admite los siguientes usos:

- **Comunicación entre dispositivos:** posibilita configuraciones mono o multi-maestro, lo que implica un alto grado de flexibilidad a la hora de configurar el sistema. 126 dispositivos maestros y esclavos pueden ser comunicados en una sola red PROFIBUS DP
 - **Integración de sistemas:** Está diseñada especialmente para comunicación entre sistemas automáticos de control y E/S distribuidos a nivel de campo.
- **¿Qué dispositivos de Profibus serán conectados a la red?**
 - PLC Siemens S7-300
 - Sensor de turbidez, pH, cloro, nivel
 - Actuadores eléctricos
 - Bombas dosificadoras
 - Computadora personal para HMI SCADA
 - **Características de Profibus**
 - **Tecnología de transmisión:** RS-485, par trenzado, dos líneas de cable o fibra óptica.

- **Acceso al bus:** El procedimiento entre maestros se realiza mediante el paso del testigo y entre esclavos mediante la jerarquía maestro-esclavo, máximo de 126 estaciones en un bus (entre maestros y esclavos)
- **Comunicación:** par a par o multicast, transmisión cíclica de datos entre maestro-esclavos y transmisión acíclica entre maestros.
- **Velocidad:** se necesita solo 1 mseg. Para transmitir 512 bits de datos de entrada y 512 bits de datos de salida distribuidos en 32 estaciones a una velocidad de 12 Mbit/seg.
- **Sincronización:** los comandos de control permiten la sincronización en entradas y salidas.
- **Funcionalidad:** transmisión de datos de usuario cíclica entre el maestro y los esclavos. (Emerson, 2018)

3.8.2. Elaboración de diagramas de arquitectura de comunicación.

Profibus – DP emplea las capas o niveles 1 y 2, además de la interface de usuario. Los niveles del 3 al 7, ambos inclusive, no están definidos. La optimización de esta arquitectura asegura una transmisión de datos rápida y eficiente. La **Figura 34** muestra la arquitectura de comunicación para el sistema de la planta de tratamiento de agua potable.

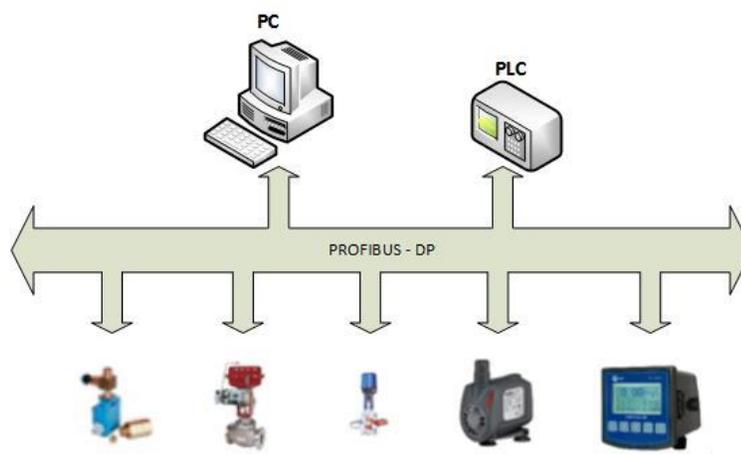


Figura 34. Esquema de arquitectura de comunicación para la planta de tratamiento de agua potable

3.9. Ingeniería Básica para el sistema de Supervisión y Monitoreo.

3.9.1. Análisis y revisión de elementos de supervisión y monitoreo necesarios

Para este apartado será necesario monitorear los datos que leen los sensores al inicio del proceso para ello se utilizará un transmisor que registra los datos de turbidez y alcalinidad, las características del transmisor se detallan a continuación:

- **Transmisor Rosemount 1056 Dual-Input Intelligent Analyzer**

El analizador de doble entrada 1056 ofrece una entrada de sensor simple o doble con una opción ilimitada de mediciones duales. Este instrumento multiparamétrico ofrece una amplia gama de opciones de medición compatibles con la mayoría de las aplicaciones industriales, comerciales y municipales. El diseño modular permite que las placas de entrada de señal se reemplacen en el campo, lo que facilita los cambios de configuración. Este equipo posee las siguientes características (Emerson, 2018):

- Comunicación HART y Profibus DP digital
- Entrada y salida para dos sensores, estándar 0/4 – 20 mA
- Menú de pantallas para calibrar y programar.
- Las indicaciones y las pantallas de ayuda en lenguaje sencillo guían al usuario a través de estos procedimientos.
- Configuración de idiomas para siete idiomas locales: inglés, francés, alemán, italiano, español, portugués y chino.



Figura 35. Transmisor de turbidez y pH

(Fuente: Rosemount 2017)

3.9.2. Análisis de equipos y software de monitoreo disponible en el mercado

- **Transmisor Rosemount 1056 Dual-Input Intelligent Analyzer**

En la siguiente tabla se muestra las diferencias entre el transmisor Rosemount de Emerson y el transmisor 1720E sc100 de Hach (Emerson, 2018).

Tabla 13

Diferencias entre transmisor Rosemount y transmisor 1720E de Hatch

Transmisor	Rosemount 1056	1720E sc100
Comunicación	115 VAC, 50/60 Hz	110 VAC, 60 Hz
Entrada y salida dual de sensores	Si	Si
Salidas análogas	0 - 20 mA 4 - 20 mA	0 - 20 mA 4 - 20 mA
Precio Internacional	3016.86 \$	3520.00 \$

- **Software de HMI**

SIMATIC WinCC es un sistema de visualización de procesos escalable y dotado de potentes funciones para la supervisión de procesos automatizados. WinCC aporta funcionalidad SCADA completa en Windows para todos los sectores, desde sistemas monopuesto hasta sistemas multipuesto distribuidos con servidores redundantes y soluciones para todos los lugares de instalación con clientes web (Siemens AG, 2018).

El software del sistema WinCC está disponible en dos variantes básicas:

- WinCC paquete completo (RC: licencia para runtime y configuración)
- WinCC paquete Runtime (RT: licencia para runtime) Ambos están escalonados con 128, 512, 2k, 8k, 64k, 100k, 150k ó 256k PowerTags.

Sólo se consideran PowerTags las variables del proceso que están conectadas con el controlador u otras fuentes de datos a través de un canal de comunicación WinCC. En este contexto, de una variable de proceso pueden deducirse hasta 32 avisos y 256 alarmas analógicas libremente definibles. Una prestación gratuita y adicional del sistema es la disponibilidad de variables internas no conectadas al proceso (Siemens AG, 2018).

Funciones HMI aptas para la industria forman parte de la dotación básica del sistema:

- Visualización totalmente gráfica de las secuencias y el estado de los procesos
- Manejo de la máquina o instalación desde una interfaz de usuario que se puede personalizar, con menús y barras de herramientas propios
- Señalización y confirmación de eventos
- Archivo de valores medidos y avisos en una base de datos del proceso
- Protocolización de los datos actuales del proceso y de datos de archivo registrados
- Administración de usuarios y sus permisos de acceso Las operaciones y eventos relevantes para la calidad son registrados constantemente, lo que permite comprobarlos en todo momento sin que haya omisiones. (Siemens AG, 2018)

3.9.3. Selección y análisis de equipos de monitoreo

Un equipo de monitoreo que se considerará para monitorear es una computadora que tendrá instalado el software de monitoreo, en la computadora se ejecutará el software de monitoreo, también se implementaran las pantallas HMI. La computadora deberá tener las siguientes especificaciones:

- Windows XP, Windows 7, Windows Server 2008 de 64 bits
- Memoria RAM de 4 GB
- Disco duro de 500 GB
- Procesador Intel Dual Core o Intel i3

- Monitor de mínimo de 21 pulgadas.
- Funciones de red Ethernet.

3.9.4. Selección y análisis de software de monitoreo

El software que se utilizará para el sistema de monitoreo será Wonderware InTouch, este software cumple con todas las características y requerimientos presentados en la viabilidad y disponibilidad técnica, para poder seleccionar este software se tomó en cuenta las siguientes especificaciones:

- **Programación:** InTouch dispone de un lenguaje de programación sencillo y extenso para la realización de cálculos en segundo plano, simulaciones, etc. Su programación está estructurada en grupos y eventos. Los programas condicionales se pueden asociar a resultados (verdadero, falso, mientras sea verdadero o falso) o botones (al pulsar, al mantener o al soltar). Los programas de pantallas se invocan al abrir, cerrar o mientras la pantalla esté visible. Los programas por cambio de valores se activan al cambio de valores de tags, por acciones del operador (como la selección de objetos), o como resultado de eventos o condiciones de alarmas (Spain, 2018).

El editor de programas muestra todas las funciones disponibles en pulsadores y dispone de utilidades de búsqueda y reemplazo, conversión y hasta 256 caracteres en expresiones para programas condicionales. Su lenguaje de programación soporta expresiones matemáticas y lógicas. Los usuarios pueden visualizar números decimales de precisión sencilla mientras se calculan con doble precisión. Se han añadido nuevas funciones de manipulación de cadenas de texto, matemáticas, entrada/salida de ficheros, recursos del sistema, representaciones hexadecimales y científicas de valores, etc (Spain, 2018).

- **Seguridad:** InTouch ofrece hasta 10000 niveles de acceso a los que puede asignarse una clave, asegurando que las entradas a áreas no permitidas y operaciones condicionales de una aplicación se realicen correctamente.

- **Actualización de lecturas/escrituras optimizada:** El uso de InTouch de técnicas de excepción en lecturas/escrituras de variables enlazadas a segundas aplicaciones facilita la transferencia de datos de la forma más rápida. Sólo se actualizan continuamente los puntos de comunicación de objetos visibles o los utilizados en alarmas, históricos o en programas de usuario; debido a que InTouch mantiene un registro de los puntos utilizados, eliminando el uso de tablas complejas.
- Wonderware creó el protocolo FastDDE para conseguir actualizaciones de variables a altas velocidades.
- **Generación de informes Personalizados y documentación:** La creación de Informes en aplicaciones industriales se realiza de forma simple formateando pantallas imprimibles automáticamente a través de eventos. InTouch facilita Wizards específicos como el envío de informes por correo electrónico y dispone de potentes opciones para la generación de documentación de una aplicación.
- **Integración con base de datos:** InTouch posee la capacidad de integrarse con diferentes motores de base de datos como SQL SERVER, en donde se puede almacenar diferentes datos adquiridos en cada uno de los procesos con el objetivo de tener un registro de estos y poderlos consultar al momento que sea necesario.
- **Aplicaciones en Red:** Las Referencias Dinámicas permiten al usuario la modificación de las propiedades de enlace de sus variables en tiempo de ejecución, como direcciones del PLC, celdas de hojas de cálculo u otras referencias DDE. De esta forma se puede visualizar cualquier celda de una hoja de cálculo utilizando un único tag (Spain, 2018).

Las Alarmas Distribuidas soportan múltiples servidores o proveedores de alarmas simultáneamente, facilitando al operador la posibilidad de monitorizar la información de alarmas de múltiples localizaciones a la vez. Las nuevas funciones de alarmas distribuidas permiten implementar reconocimiento, barras de desplazamiento y otras operaciones para el uso en una red.

De la misma forma, el nuevo sistema de Gráficos Históricos Distribuidos permite la especificación de diferentes ficheros históricos de datos para cada una de las 8 plumas posibles de un gráfico (Spain, 2018).

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1. Ingeniería de Detalle para el sistema de Instrumentación.

4.1.1. Levantamiento de los diagramas eléctricos y conexiones de montaje.

En el siguiente apartado se presenta los planos eléctricos multifilares que se necesitarán para el montaje de cada uno de los sensores que fueron seleccionados en el sistema de instrumentación para la automatización de la planta de agua potable, se detallará las conexiones de alimentación, conexión de los equipos, conexión con el controlador, etc.

- **Diagramas eléctricos para los instrumentos de la etapa de dosificación**

Esta etapa contará con instrumentos que medirán caudal, turbidez, alcalinidad o pH, cada una de estas señales de respuesta de los instrumentos serán leídas por el controlador S7 – 300 de Siemens, el controlador cuenta con un módulo de entradas analógicas integrado de cinco entradas analógicas para voltaje o corriente y dos salidas analógicas para voltaje o corriente, en los diagramas eléctricos se detallan las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos:

- Sensor de caudal Fuji Ultrasonic Flowmeter Detector
- Sensor de turbiedad Clarity II Turbidimeter
- Sensor de pH/ORP 3900
- Fuente de energía PS 307 5A 120/230 VAC:24VDC/5A
- Módulo de entradas y salidas analógicas 6ES7 332-7ND02-0AB0

Los planos desarrollados se encuentran en la **Figura 36**.

 <p>EPMAPA - T</p>	
<p>PROYECTO</p> <p>AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TIUCÁN</p>	
<p>GERENTE DE EPMAPA - T</p>	
<p>ING. NORCIBERBANS</p>	
<p>ELABORADO POR:</p> <p>JOEL GABRIEL INYING</p>	
<p>APROBADO POR:</p> <p>ING. RUGO ORIZ</p>	
<p>CONTENIDO:</p> <p>DIAGRAMA MULTILÍNEA</p> <p>SENSORES DISTRIBUCIÓN Y DIRECCIÓN</p>	
<p>HOJA:</p> <p>1</p>	<p>DE:</p> <p>2</p>

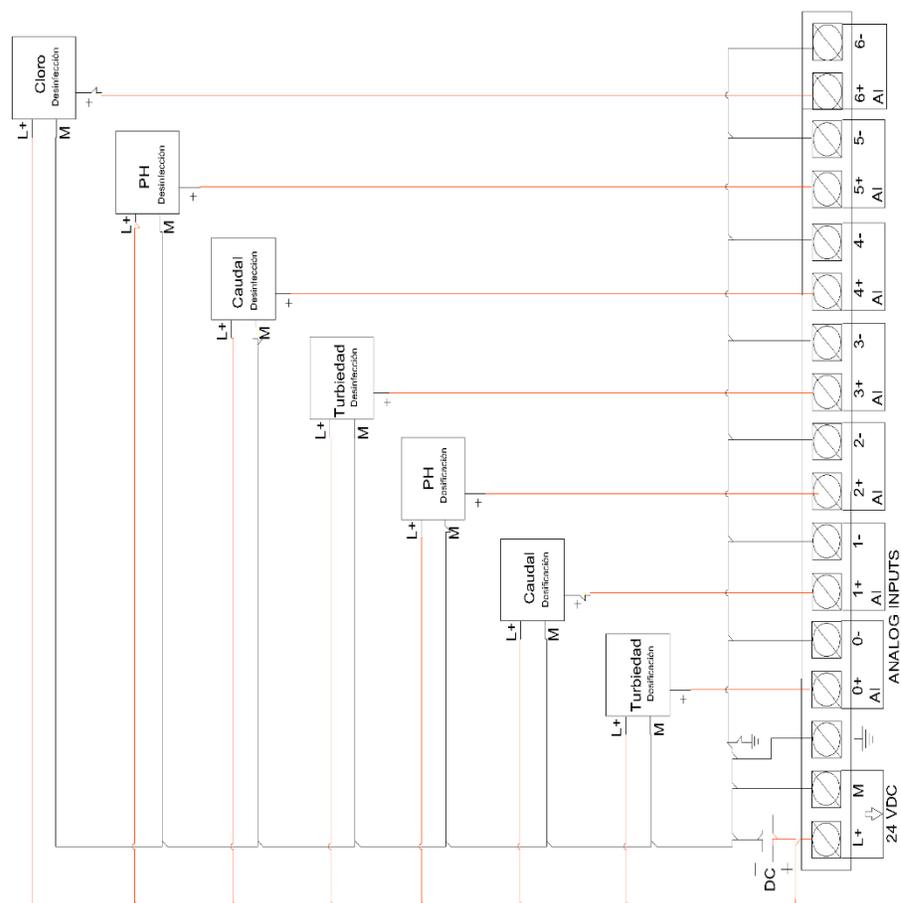


Figura 36. Diagrama eléctrico de conexión de sensores

- **Diagramas eléctricos para los instrumentos de la etapa de Retrolavado**

Esta etapa contará con el instrumento de medición de nivel, el instrumento transmitirá una señal al controlador S7 – 300 de Siemens, en los diagramas eléctricos se detallan las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos:

- Interruptor de nivel
- Fuente de energía PS 307 5A 120/230 VAC:24VDC/5A
- Módulo de entradas y salidas analógicas 6ES7 332-7ND02-0AB0

Los planos desarrollados se encuentran en la **Figura 37**.

- **Diagramas eléctricos para los instrumentos de la etapa de Desinfección**

Esta etapa contará con el instrumento que medirá la cantidad de cloro en el agua que está saliendo como producto final la señal de respuesta del instrumento será leída por el controlador S7 – 300 de Siemens, en los diagramas eléctricos se detallan las conexiones de alimentación, respuesta y lectura de las señales para los siguientes elementos:

- Sensor de cloro 2630-X Signet
- Fuente de energía PS 307 5A 120/230 VAC:24VDC/5A
- Módulo de entradas y salidas analógicas 6ES7 332-7ND02-0AB0

Los planos desarrollados se encuentran en la **Figura 36**.

4.1.2. Elaboración de planos P&ID definitivos para el sistema.

- **Diagramas P&ID para el proceso de la etapa de Dosificación.**

El siguiente diagrama P&ID elaborado muestra los elementos necesarios para el sistema de automatización de la etapa de dosificación, ubicando cada instrumento, controlador, junto con los diferentes elementos como tanques y bombas dosificadoras. El diagrama se presenta en **Figura 38**, y la descripción de cada elemento presente se detalla en la **Tabla 14**.

	
<p>EPMAPA - T</p>	
<p>PROYECTO</p> <p>AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TUIJCÁN</p>	
<p>GERENTE DE EPMAPA - T</p>	
<p>ING. NORBERTO BARRAHONA</p>	
<p>ELABORADO POR:</p> <p>JOSÉ L. CABEZAS BARRAHONA</p>	
<p>APROBADO POR:</p> <p>ING. RIGOBERTO</p>	
<p>CONTENIDO:</p> <p>DIAGRAMA MULTILINEAR SENDORES RETENIDORES</p>	
<p>FECHA:</p> <p>11/07/2018</p>	<p>LAMINA</p> <p>2</p>
<p>ESCALA:</p> <p>1:1</p>	<p>DE:</p> <p>2</p>

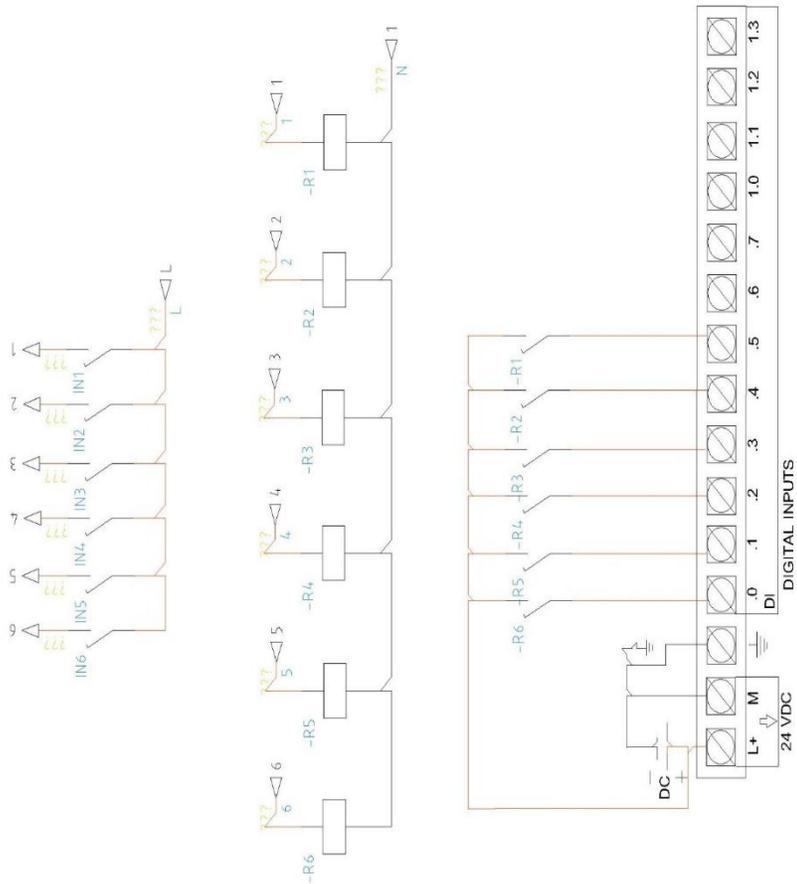


Figura 37. Diagrama eléctrico conexiones interruptores de nivel

	
<p>EPMAPA - T</p>	
<p>PROYECTO</p> <p>AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE TULCÁN</p>	
<p>GERENTE DE EPMAPA - T</p>	
<p>ING. NORTON BARRANO</p>	
<p>ELABORADO POR:</p> <p>JOE CABEZAS BIVINO</p>	
<p>APROBADO POR:</p> <p>ING. HUGO ORTIZ</p>	
<p>CONTENIDO:</p> <p>DIAGRAMA P&ID</p> <p>EMPA DE DOSIFICACION</p>	
<p>FECHA: 08/NOV/2008</p> <p>ESCALA:</p> <p>COORDINADOR:</p>	<p>1</p> <p>LAMINA</p> <p>DE: 2</p>

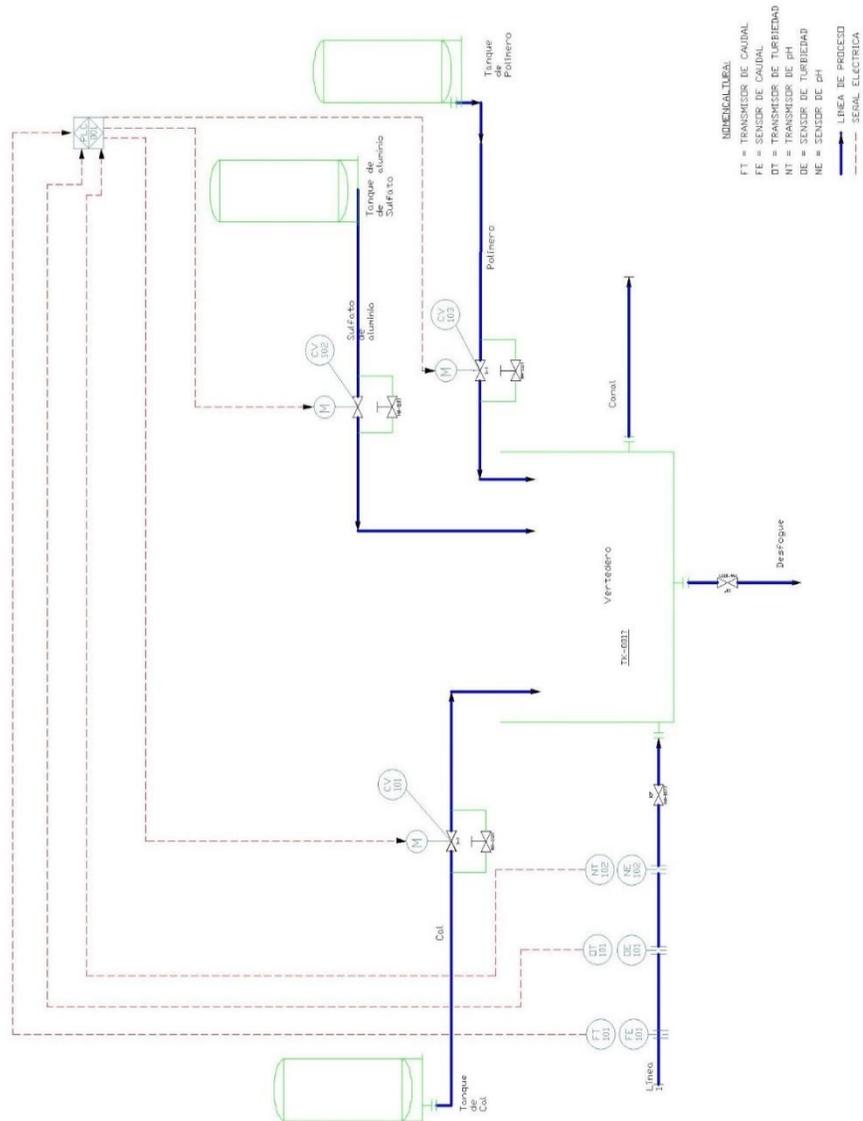


Figura 38. P&ID Etapa de Dosificación

Tabla 14

Descripción de los elementos en el diagrama P&ID de dosificación

Nomenclatura	Descripción
HA-101, HA-102	Válvulas de compuerta
P001, P002	Bombas dosificadoras
FT02	Transmisor de caudal
FE02	Elemento medidor de caudal tipo ultrasónico
OT01	Transmisor de turbiedad
OD01	Elemento medidor de turbiedad tipo electrodo
NT01	Transmisor de pH
NT01	Elemento medidor de alcalinidad o pH tipo electrodo

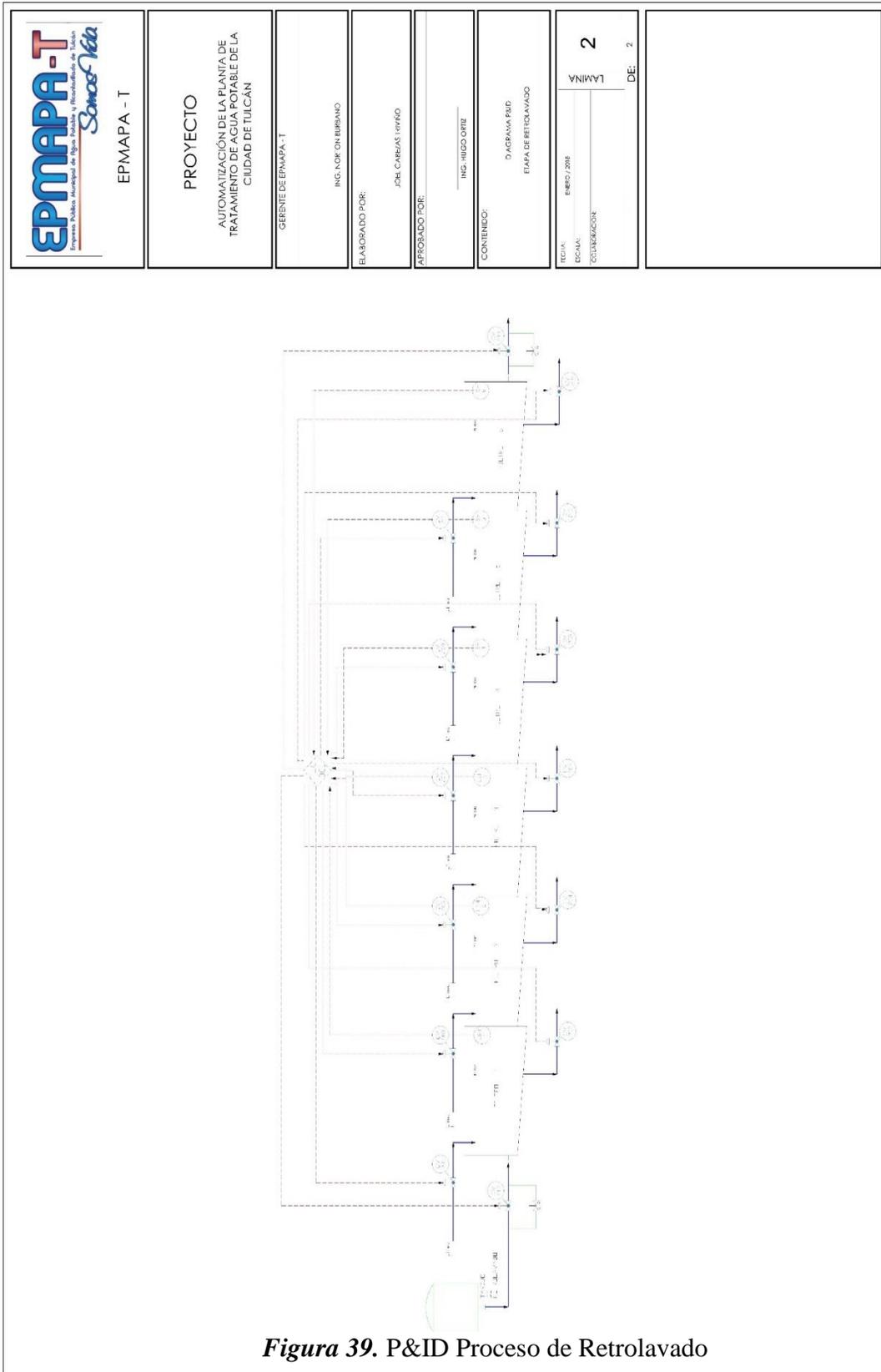
- **Diagramas P&ID para el proceso de la etapa de Retrolavado.**

El siguiente diagrama P&ID elaborado muestra los elementos necesarios para el sistema de automatización de la etapa de dosificación, ubicando cada instrumento, controlador, junto con los diferentes elementos como tanques y válvulas de control. El diagrama se presenta en la **Figura 39**, y la descripción de cada elemento presente se detalla en la **Tabla 15**.

Tabla 15

Descripción de los elementos en el diagrama P&ID de retrolavado

Nomenclatura	Descripción
HA-111, HA-112, HA-113, HA-114, HA-115	Válvulas tipo compuerta etapa de sedimentación.
Ha-116, Ha-117, Ha-118, Ha-119, Ha-120, Ha-121,	Válvulas tipo compuerta etapa de desinfección.
LE001, LE002, LE003, LE004, LE005, LE006,	Elemento medidor de nivel.
CV- 011	Válvula de compuerta de retrolavado.
CV- 012	Válvula de mariposa de desechos.



4.1.3. Diseño de sistema para adquisición de datos

- **Direccionamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Dosificación.**

En la automatización de la etapa de dosificación la lectura de las señales de caudal, turbidez y pH que son enviadas por los sensores, manejan una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída por el controlador Siemens S7 – 300, el direccionamiento de cada uno de los datos se muestra en la **Tabla 16**.

Tabla 16

Direccionamiento de las entradas analógicas en la etapa de Dosificación

Señal	Dirección	Tag
Caudal, 4 a 20 mA	IW756	in_an_caudal
Turbidez, 4 a 20 mA	IW752	in_an_turbiedad
pH, 4 a 20 mA	IW754	in_an_pH

- **Direccionamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Retrolavado.**

En la automatización de la etapa de retrolavado la lectura de la señal de nivel es enviada al interruptor de nivel, esta señal es leída por el controlador Siemens S7 – 300 con módulo de entradas analógicas incorporadas que posee cinco entradas analógicas para corriente y voltaje, el direccionamiento de los datos se muestra en la **Tabla 17**.

Tabla 17

Direccionamiento de las entradas analógicas en la etapa de retrolavado

Señal	Dirección	Tag
Nivel, 4 a 20 mA	I0.1	sensor_nivel

- **Direccionamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Desinfección.**

En la automatización de la etapa de desinfección la lectura de la señal de cloro es enviada al sensor de cloro, maneja una respuesta de 4 a 20 mA siendo leída esta señal por el controlador

Siemens S7 – 300 con módulo de entradas analógicas incorporadas que posee cinco entradas analógicas para corriente y voltaje, el direccionamiento de los datos se muestra en la **Tabla 18**.

Tabla 18

Direccionamiento de las entradas analógicas en la etapa de Desinfección

Señal	Dirección	Tag
Cloro, 4 a 20 mA	IW758	sensor_cloro

- **Escalamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Dosificación.**

Mediante el programa TIA PORTAL v13 dentro de un proyecto para el controlador S7 – 300 con un CPU 6ES7 314-6CH04-0AB0, se configura con los parámetros que se presentan en la **Figura 40**.

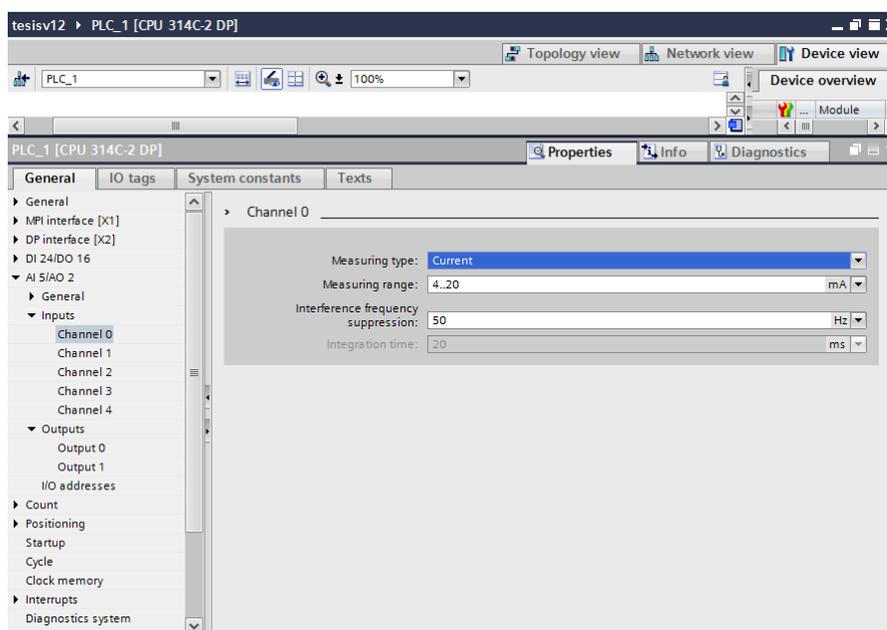


Figura 40. Configuración del módulo de entradas analógicas

- **Escalamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Retrolavado.**

Mediante el programa TIA PORTAL v13 dentro de un proyecto para el controlador S7 – 300 con un CPU 6ES7 314-6CH04-0AB0, se configura con los siguientes parámetros que se presentan en la **Figura 41**.

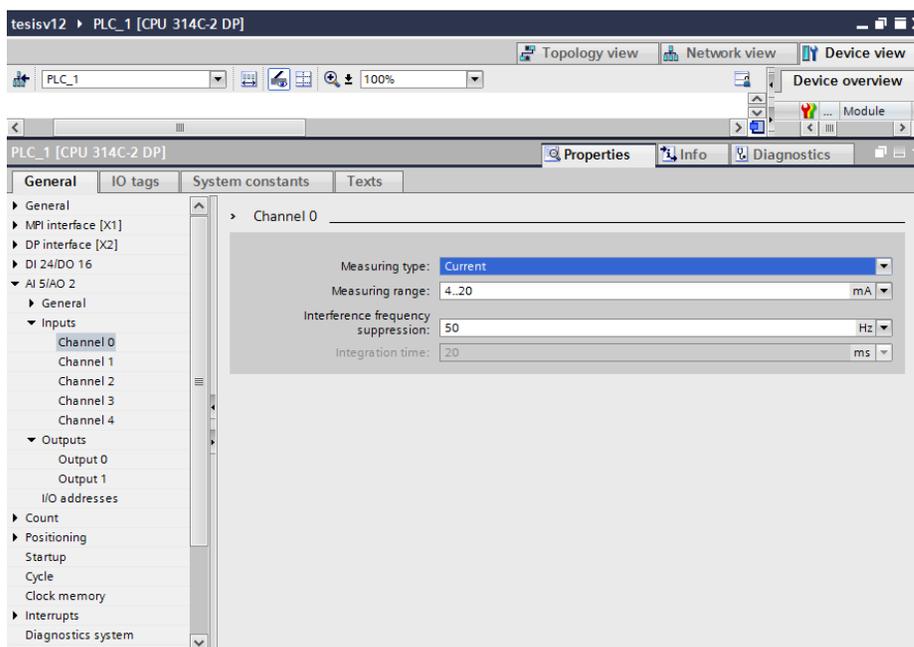


Figura 41. Configuración del módulo de entradas analógicas

- **Escalamiento de señales de los instrumentos para la etapa de Desinfección.**

Mediante el programa TIA PORTAL v13 dentro de un proyecto para el controlador S7 – 300 con un CPU 6ES7 314-6CH04-0AB0, se configura con los siguientes parámetros que se presentan en la **Figura 42**.

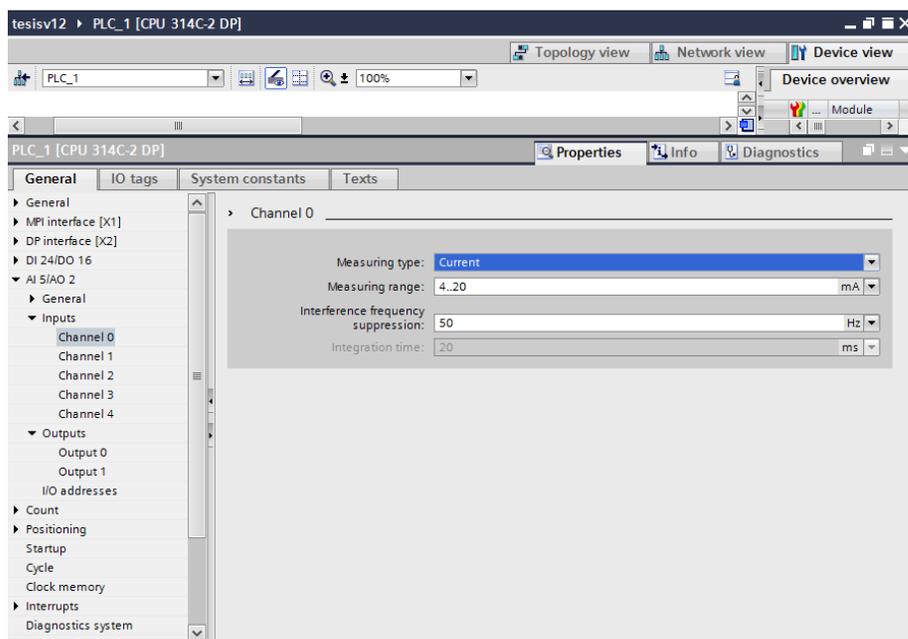


Figura 42. Configuración del módulo de entradas analógicas

4.2. Ingeniería de Detalle para el sistema de Control.

4.2.1. Levantamiento de diagramas eléctricos y conexiones de montaje

- **Diagramas eléctricos para la conexión de tableros de control para la etapa de Dosificación.**

Se realizó el plano para la conexión del tablero de control los cuales son detallados a continuación: el diagrama cuenta con 10 borneras de conexión para 110 VAC, a este punto se debe conectar los elementos de maniobra como selector de modo manual/automático, interruptores para el arranque o paro de las bombas y conexiones a contactos de relés, cuenta con las conexiones de borneras para Neutro, donde se conectará los neutros de luces pilotos, bobinas de relés, etc. Además, muestra las conexiones de 24 VDC y tierra para diferentes dispositivos como los sensores de turbidez y pH. A continuación, se muestra la lista de componentes presentes que son parte del diagrama eléctrico para el tablero de control de la etapa de dosificación, el diagrama eléctrico multifilar se encuentra en la **Figura 43** y el diagrama eléctrico se encuentra en la sección Anexos Tablero de Control.

- 6 borneras de conexión a 110 VAC
- 6 Borneras de conexión a Neutro
- 3 Switch selector de los posiciones normalmente abierto
- 3 Switch normalmente abierto
- 3 Contactos normalmente abiertos de relé
- 3 contactos normalmente cerrados de relé
- 6 relés y sus bobinas a 110 VAC
- 3 luces pilotos verdes
- 6 borneras para conexión de tierra o GND

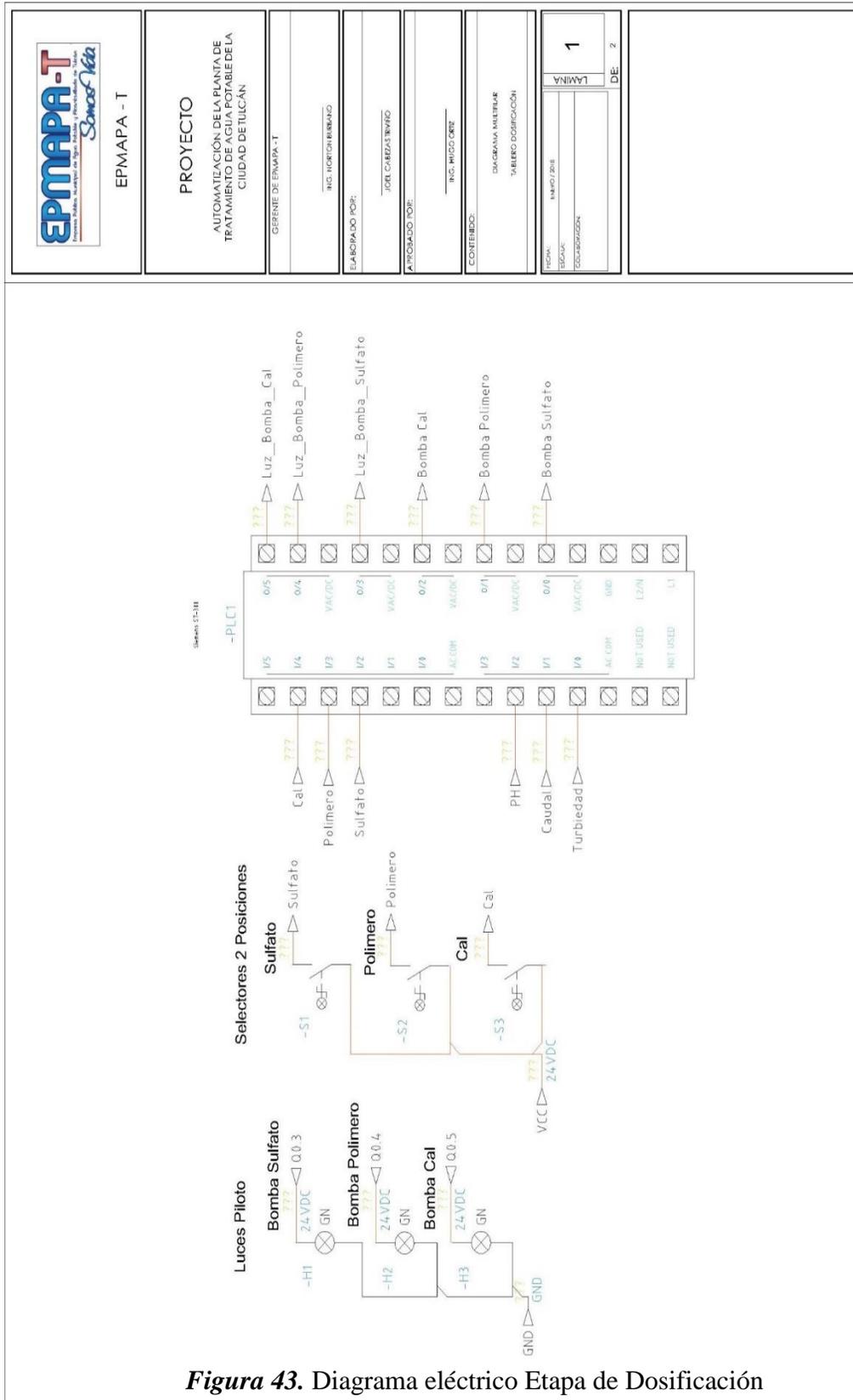


Figura 43. Diagrama eléctrico Etapa de Dosificación



EPMAPA - T

PROYECTO
AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA
CIUDAD DE TURBAYÁN

GERENTE DE EPMAPA-T

ING. HORTON BERNARD

ELABORADO POR:

JOSÉ CARLOS TORO

APROBADO POR:

ING. HUGO CERE

CONTENIDO:

DIAGRAMA ELÉCTRICO
VALVULO DOSEIFICACIÓN

HONDA:	1
ESCALA:	
COLABORACIÓN:	
LÁMINA	DE 2

- **Diagramas eléctricos para la conexión de tableros de control para la etapa de Retrolavado.**

Se realizó el plano para la conexión del tablero de control los cuales son detallados a continuación: el diagrama cuenta con 20 borneras de conexión para 110 VAC, a este punto se debe conectar los elementos de maniobra como selector de modo manual/automático, interruptores para el arranque o paro de las bombas y conexiones a contactos de relés, cuenta con las conexiones de borneras para Neutro, donde se conectará los neutros de luces pilotos, bobinas de relés, etc. Además muestra las conexiones de 24 VDC. A continuación, se muestra la lista de componentes presentes que son parte del diagrama eléctrico para el tablero de control el proceso de retrolavado, el diagrama eléctrico multifilar se encuentra en la **Figura 44** y el diagrama de conexiones del tablero de control se encuentra en la sección Anexos Tablero de Control.

- 20 borneras de conexión a 110 VAC
- 20 Borneras de conexión a Neutro
- 1 Switch selector de los posiciones normalmente abierto
- 14 Switch normalmente abierto
- 14 contactos normalmente abiertos de relé
- 14 contactos normalmente cerrados de relé
- 14 relés y sus bobinas a 110 VAC
- 14 luces pilotos verdes
- 3 luces pilotos rojas
- 20 borneras para conexión de tierra o GND

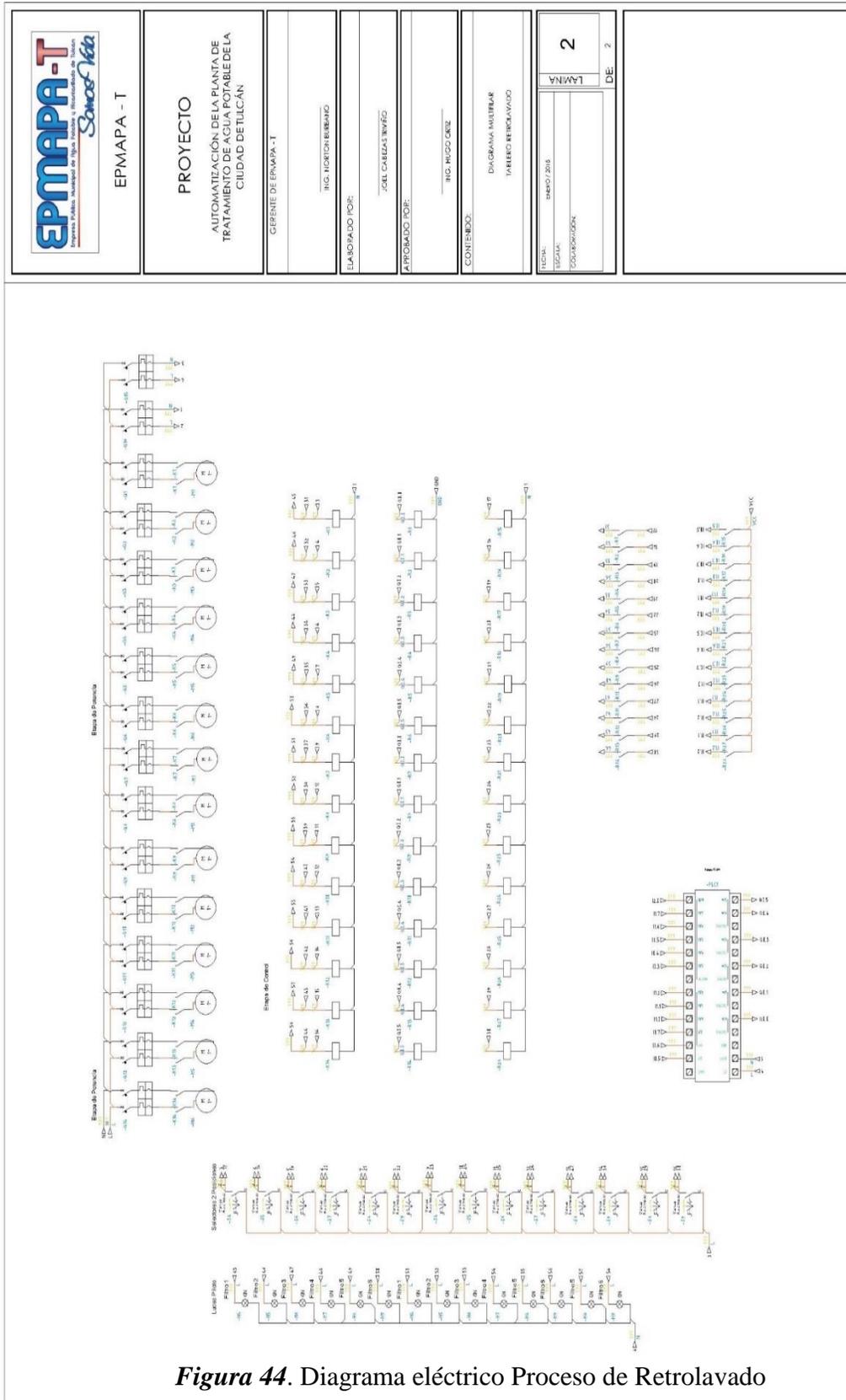


Figura 44. Diagrama eléctrico Proceso de Retrolavado

4.2.2. Dimensionamiento y selección de conductores, elementos de protección, dispositivos de maniobra y relés

- **Dimensionamiento de conductores eléctricos.**

Los conductores eléctricos para conexión de luces pilotos, bobinas y contactos de relés e interruptores, se seleccionan según las normas AWG (ANEXO TABLA AWG y Cálculos), y se realiza el dimensionamiento para los siguientes elementos:

- Luz piloto CAMSCO, AD16-22D/S: tipo LED, con reducción de voltaje 110 V AC/100mA/60 Hz, redonda plana de 44 mm de diámetro, será utilizada como indicador de alarmas y estado de máquinas.

$$V = 110 \text{ VAC}$$

$$\text{Temperatura máxima de servicio} = 50^\circ \text{ C}$$

$$I \text{ nominal} = 100 \text{ mA}$$

El calibre de cable seleccionado según los datos de operación para la luz piloto es AWG 22, con una corriente máxima de 3 A, el conductor deber ser de cobre y tipo flexible.

- Interruptores de selección, CAMSCO, A225, 22 mm diámetro, dos posiciones mantenidas, contactos NO y NC, 110 V AC.

$$V = 110 \text{ VAC}$$

$$\text{Temperatura máxima de servicio} = 50^\circ \text{ C}$$

Por los interruptores solo circulará la corriente necesaria para las entradas de los módulos analógicos, por lo tanto la corriente es muy baja y el calibre 24 AWG es suficiente para la lectura de entradas discretas. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- Interruptor de emergencia tipo hongo CAMSCO P175, 60 mm diámetro, contacto NC, 110 V AC, con característica de presión para bloquear y giro para reiniciar.

V = 110 VAC

Temperatura máxima de servicio = 50° C

Por los interruptores de paro de emergencia circulará la corriente necesaria para las entradas de los módulos analógicos, por lo tanto la corriente es muy baja y el calibre 24 AWG es suficiente para la lectura de entradas discretas. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- Bobina relé, OMRON POWER RELAY MM y G2A, 110 V AC, 60 Hz, 20 mA, 2200Ω.

V = 110 VAC

Temperatura máxima de servicio = 50° C

I nominal = 20 mA

Según los datos de operación para la bobina del relé, el calibre de cable escogido es AWG 22, con una corriente máxima de 3 A. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- Contacto de relé NO y NC, 110 V AC / 7.5 A, carga inductiva MM.

Los contactos de este relé son usados para activar el actuador de las válvulas de entrada y salida de cada filtro de la etapa de filtración, sus características de operación son:

V = 110 VAC

Temperatura máxima de servicio = 50° C

I nominal = 1.1 A

Según las características de este actuador con tensión monofásica y la corriente soportada por el contacto del relé en una carga inductiva, el calibre escogido es AWG 14. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

- Actuador eléctrico para apertura y cierre de válvula de retrolavado y de desechos.

Se ha seleccionado un actuador eléctrico AUMA el cual tiene aplicaciones para válvulas tipo compuerta, globo u otros equipos. La salida de estos actuadores es de múltiples vueltas, pudiendo llegar a torques de hasta 30000 Nm. El actuador seleccionado es un actuador eléctrico de la marca AUMA modelo R6-RS5890 ON-OFF, el cual posee las siguientes características:

$V = 110 \text{ V} / 60 \text{ Hz}$

Torque máximo = 1000 Nm

Diámetro de Eje = 54 mm

Tiempo de operación = 28 s,

Potencia = 0.12 KW

Corriente de operación = 1.1 A

Corriente de bloqueo = 2.66 A

Según las características de este actuador se calcula el conductor para este actuador tomando en cuenta la corriente de bloqueo del actuador y la multiplicamos por 1.5 valor recomendado por el fabricante, esto da como resulta una corriente de 4.5 A que debe soportar el conductor, el calibre escogido es AWG 14 que soporta una corriente de 6 A. El conductor debe ser de cobre y tipo flexible.

En la **Tabla 19** se muestra un resumen de los conductores eléctricos de elementos de protección

Tabla 19

Tabla resumen de conductores eléctricos de los elementos de protección.

	Voltaje [VAC]	Temperatura máxima de servicio [°C]	Corriente nominal [mA]	Tipo de cable AWG
Luz piloto	110	50	100	22
Interruptores de selección	110	50	50	24
Interruptor de emergencia tipo hongo	110	50	50	24
Bobina relé	110	50	20	22
Contacto relé	110	50	1.1	14
Actuador eléctrico	110	50	6	14

- **Dimensionamiento de elementos de protección.**

Se necesita seleccionar fusibles para protección de sobre corrientes y cortocircuitos. Como se muestra en los planos eléctricos, los fusibles son ubicados en cada tablero de control para las etapas del proceso de la planta.

- Fusibles para tablero de control en cada etapa del proceso.

Las corrientes que circulan por el tablero de control corresponden a:

Para fuente DC = 1 A.

Para actuador = 2.66 A.

Corriente total en luces piloto + bobinas de relé 1+ alimentación de PLC + alimentación de sensores = 2 A.

La selección de fusibles será de 1 A y 600 V para fuente de voltaje DC, 5 A y 600 V para actuador de válvulas y al ingreso del tablero un fusible de 8 A.

- Protecciones para la conexión del PLC.

Se utilizará protección en el PLC para cuando en el sistema exista sobre tensión y sobre corrientes en el servicio eléctrico para ello se realiza el cálculo de la protección tomando en cuenta la sobre tensión.

$$\text{Sobre tensión} = V * \sqrt{2} = 110 * \sqrt{2} = 155.56 \text{ V (Mier Mier, 2010)}$$

$$\text{Sobre corriente} = I * 1.5 = 1.5 \text{ A}$$

Se selecciona un disyuntor diferencial de un polo a 16 A modelo NB7LE marca CHINT.

4.2.3. Diseño del software y lógica de control del sistema de control.

- **Diseño del software de control para la etapa de dosificación.**

Para la automatización de la etapa de dosificación se utilizará el controlador Siemens S7 – 300 con CPU 314 – DP serie 6ES7 314-6CH04-0AB0 el controlador será ubicado en un rack con los siguientes módulos:

- Módulo de salidas analógicas 4x16BIT serie 6ES7 332-7ND02-0AB0
- Fuente de energía PS 307 5A serie 6ES7 307-1EA00-0AA0
- Módulo de comunicación CP 343-1 Advanced-IT serie 6GK7 343-1GX30-0XE0
- Módulo de salidas digitales AO 4x16BIT serie 6ES7 332-7ND02-0AB0

En la etapa de dosificación el controlador se encargará de supervisar y controlar la cantidad de los químicos, además del monitoreo de las señales de entrada, para lo cual se establece las

variables tanto para entradas como para las salidas que se involucran en el proceso de dosificación de la planta que se indican a continuación en la **Tabla 20** y la **Tabla 21**.

Tabla 20

Descripción de entradas y nombres de los tags para el controlador en la etapa de Dosificación

Entradas del controlador en la etapa de Dosificación		
Entradas	Nombre del tag	Descripción
IW752	in_an_turbiedad	Entrada analógica de sensor de turbiedad
IW754	in_an_pH	Entrada analógica de sensor de pH
IW756	in_an_caudal	Entrada analógica de sensor de caudal
I0.2	auto_polimero	Selector 1, activación modo automático
I0.3	auto_sulfato	Selector 2, activación modo automático
I0.4	auto_cal	Selector 3, activación modo automático

Tabla 21

Descripción de las salidas y nombres de los tags para el controlador en la etapa de Dosificación

Salidas del controlador en la etapa de Dosificación		
Entradas	Nombre del tag	Descripción
QW752	salida_polimero	Activación bobina de relé arranque de bomba polímero.
QW754	salida_sulfato	Activación bobina de relé arranque de bomba sulfato.
QW256	salida_cal	Activación bobina de relé arranque de bomba cal.
Q0.0	Luz_bomba_polimero	Activación luz piloto bomba polímero
Q0.1	Luz_bomba_sulfato	Activación luz piloto bomba sulfato
Q0.2	Luz_bomba_cal	Activación luz piloto bomba cal

La programación del PLC que estará encargado de la automatización de la etapa de dosificación se desarrolló en dos lenguajes de programación diferentes, los cuales están encargados

de la adquisición de las señales de analógicas de los sensores, y el control de operación del proceso de dosificación, la programación fue desarrollada en lenguaje SCL (Lenguaje estructurado basado en texto), y lenguaje LADDER (Diagrama de contactos o Diagrama en escalera), la programación del controlador es presentada en la sección de Anexos en con el nombre de PROGRAMA ETAPA DE DOSIFICACIÓN.

- **Diseño de la lógica de control para la etapa de dosificación.**

Para el diseño de la lógica de control se desarrolló un diagrama de flujos de la lógica de programación que presenta el proceso de control y el algoritmo que se realiza para dosificar las cantidades de sulfato, polímero y cal al agua cruda que ingresa al sistema, el tipo de control que se realizará es ON – OFF y se lo relacionará con cada valor de dosificación que se necesitará para

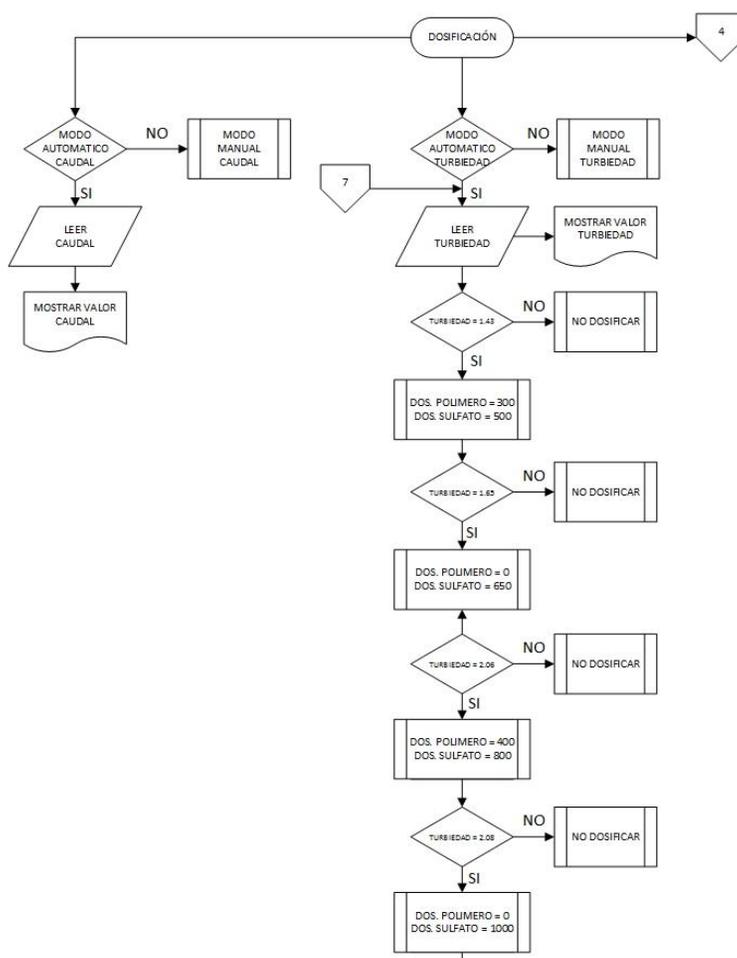


Figura 45. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación

cada químico, el diagrama de flujo muestra las cantidades de dosificación y las acciones que realizan los actuadores para que se cumplan los requerimientos de dosificación que se manejan en la planta de tratamiento. La **Figura 45**, **Figura 46**, **Figura 47**, **Figura 48**, **Figura 49** muestra el diagrama de flujo de la etapa de dosificación.

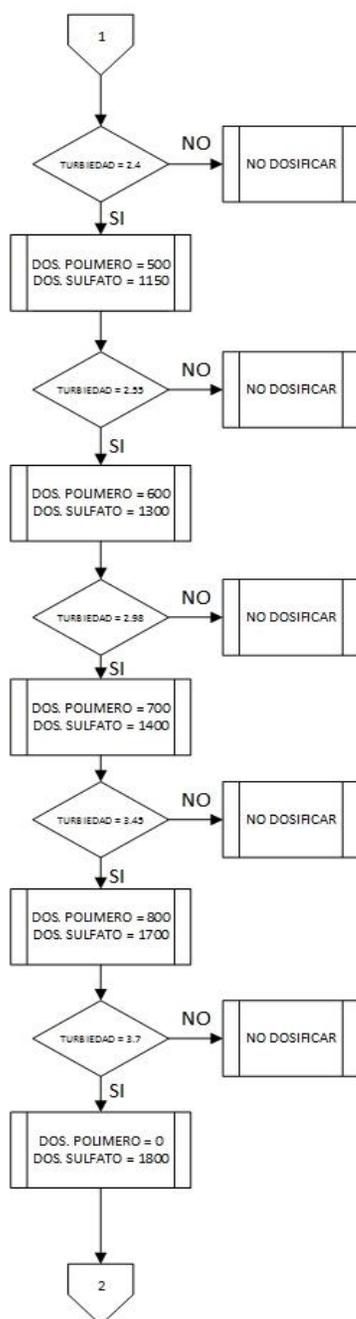


Figura 46. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación



Figura 47. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación

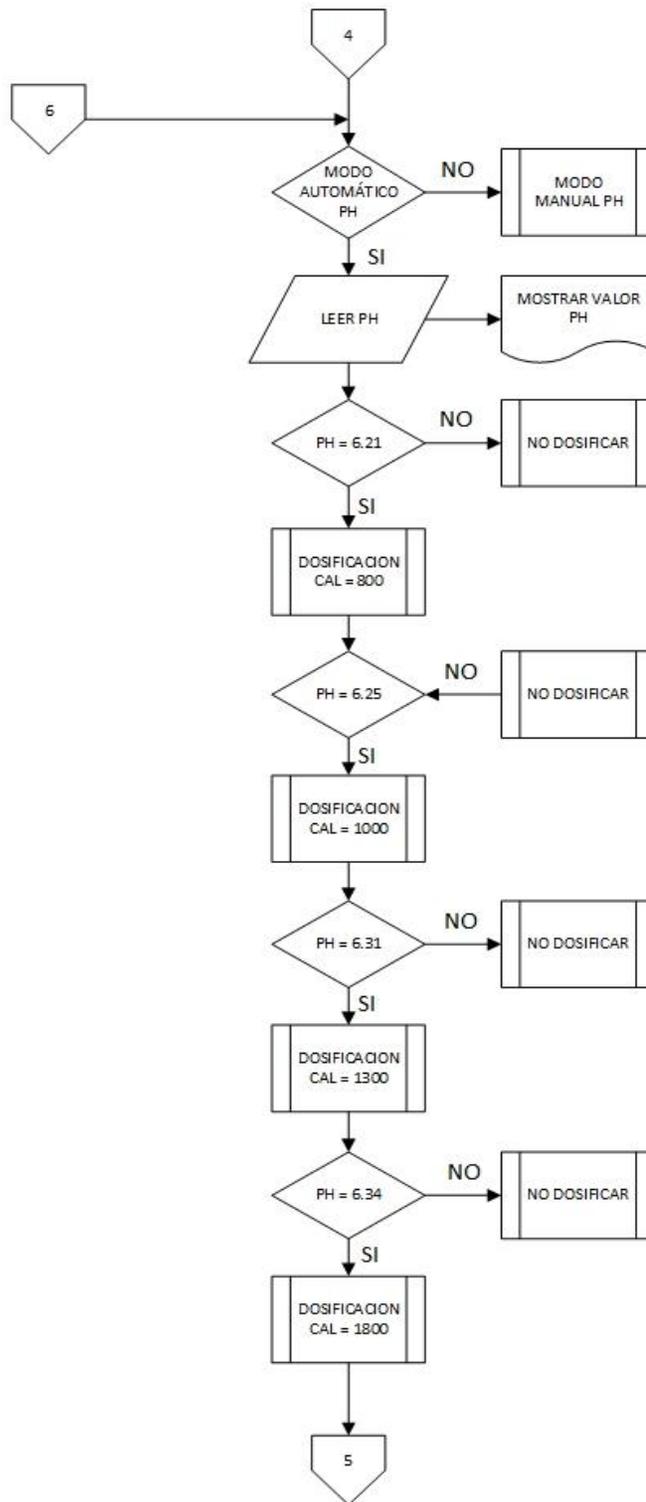


Figura 48. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación

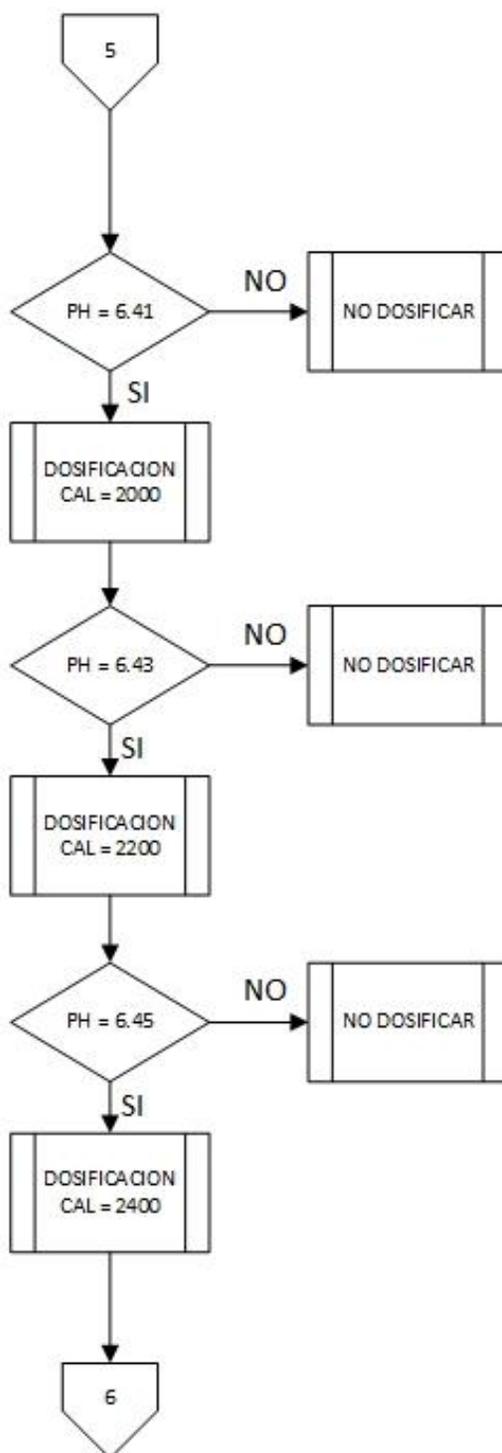


Figura 49. Diagrama de Flujo Etapa de Dosificación

- **Diseño de software para el control de dosificación de sulfato, polímero y cal en el proceso de dosificación**

Para el control de la cantidad de la solución de sulfato, polímero y cal en los tanques de almacenamiento se desarrolla una lógica que permite visualizar en el HMI el nivel mínimo para el funcionamiento de las bombas dosificadoras y evitar que trabajen en seco. Los datos de la cantidad de solución existente en cada tanque de almacenamiento durante el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua permiten informar al operador que se requiere llenar y realizar la solución de agua con sulfato, polímero y cal los tanques de almacenamiento.

El nivel de cada tanque de almacenamiento durante el proceso de tratamiento de agua se obtendrá de la diferencia entre el nivel del tanque lleno y la disminución durante cada dosificación, si el nivel de los tanques es menor a 30 litros se activará la alarma para informar al operador que el nivel de solución en los tanques es bajo y requieren ser llenados. Para lo cual el operador debe de abrir la válvula de acceso de agua a los tres tanques y en cada uno colocar la cantidad de sulfato, polímero y cal que requiere la solución.

La lógica de control del PLC permitirá la ejecución y detección del nivel de solución en cada tanque durante el proceso de dosificación, el código embebido en el PLC se presentará en la sección anexos con el título de control del nivel mínimo requerido por las bombas dosificadoras durante el proceso de dosificación. La **Figura 50** presenta información de las variables establecidas para el control mínimo requerido por las bombas durante el proceso de dosificación.

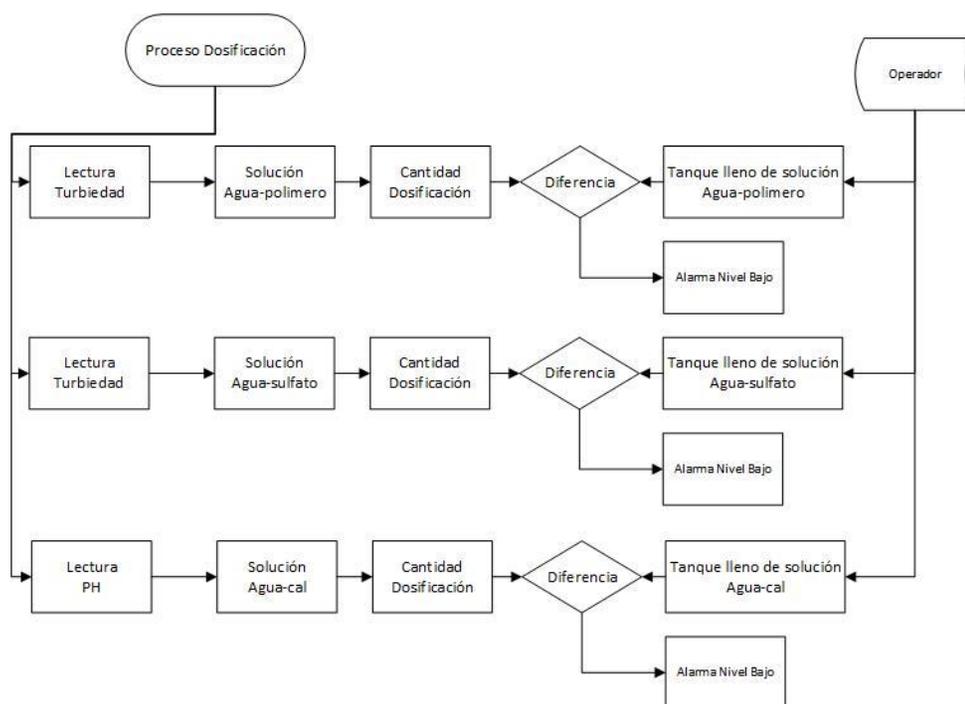


Figura 50. Información de las variables establecidas para el control mínimo requerido por las bombas durante el proceso de dosificación

- **Diseño del software de control para la etapa de Retrolavado.**

Para la automatización de la etapa de retrolavado se utilizará el mismo controlador Siemens S7 – 300 con CPU 314 – DP serie 6ES7 314-6CH04-0AB0.

En la etapa de retrolavado el controlador se encargará de supervisar y controlar la limpieza de los filtros, además del monitoreo de las señales de entrada, para lo cual se establece las variables tanto para entradas como para las salidas que se involucran en el proceso de retrolavado de la planta que se indican a continuación en la **Tabla 22** y la **Tabla 23**.

Tabla 22

Descripción de entradas y nombres de los tags para el controlador en la etapa de Retrolavado

Entradas del controlador en la etapa de Dosificación		
Entradas	Nombre del tag	Descripción
I124.0	sensor_nivel1	Activación Entrada de sensor de nivel del primer filtro.
I124.1	sensor_nivel2	Entrada de sensor de nivel del segundo filtro.
I124.2	sensor_nivel3	Entrada de sensor de nivel del tercer filtro.
I124.3	sensor_nivel4	Entrada de sensor de nivel del cuarto filtro.
I124.4	sensor_nivel5	Entrada de sensor de nivel del quinto filtro.
I124.5	sensor_nivel6	Entrada de sensor de nivel del sexto filtro.
I0.5	auto_fil1	Selector 1, activación modo automático filtro 1
I0.6	auto_fil2	Selector 2, activación modo automático filtro 2
I0.7	auto_fil3	Selector 3, activación modo automático filtro 3
I1.0	auto_fil4	Selector 4, activación modo automático filtro 4
I1.1	auto_fil5	Selector 5, activación modo automático filtro 5
I1.2	auto_fil6	Selector 6, activación modo automático filtro 6

Tabla 23

Descripción de las salidas y nombres de los tags para controlador en la etapa de retrolavado

Salidas del controlador en la etapa de Dosificación		
Entradas	Nombre del tag	Descripción
Q124.0	val_entrada_fil1	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q124.1	val_salida_fil1	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q124.2	val_retrolavado	Interruptor activación actuador válvula de retrolavado

CONTINUA 

Q124.3	val_desechos	Interruptor activación actuador válvula de desechos
Q124.4	val_entrada_fil2	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q124.5	val_salida_fil2	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q124.6	val_entrada_fil3	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q124.7	val_salida_fil3	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q125.0	val_entrada_fil4	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q125.1	val_salida_fil4	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q125.2	val_entrada_fil5	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q125.3	val_salida_fil5	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q125.4	val_entrada_fil6	Interruptor activación actuador válvula de entrada filtro 1
Q125.5	val_salida_fil6	Interruptor activación actuador válvula de salida filtro 1
Q0.6	Luz_piloto_filtro1	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 2
Q0.7	Luz_piloto_filtro2	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 3

CONTINUA



Q1.0	Luz_piloto_filtro3	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 4
Q1.1	Luz_piloto_filtro4	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 5
Q1.2	Luz_piloto_filtro5	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 6
Q1.3	Luz_piloto_filtro6	Activación luz piloto de funcionamiento del filtro 2

De igual manera la programación del PLC para la automatización de la etapa de retrolavado se desarrolló en el lenguaje de programación LADDER (Diagrama de contactos o Diagrama en escalera), el cual estará encargado de la adquisición de las señales de los sensores de nivel, y el control de operación del proceso de retrolavado, la programación del controlador es presentada en la sección de anexos en con el nombre de PROGRAMA ETAPA DE RETROLAVADO.

- **Diseño de la lógica de control para la etapa de retrolavado.**

Para el diseño de la lógica de control se desarrolló un diagrama de flujos de la lógica de programación que presenta el algoritmo y el proceso de control ON – OFF del retrolavado en la etapa de filtración de la planta, se muestra el cierre y apertura de las válvulas según el set point o nivel de agua, además se considera alternativas a fallos de las válvulas al momento de su accionamiento, brindando seguridad y confiabilidad al proceso de retrolavado. La **Figura 51** y **Figura 52** muestran el diagrama de flujo del proceso de retrolavado considerando que solo se muestra el diagrama de flujo para el Filtro 1, para el resto de filtros será la misma lógica de programación.

- **Diseño de software para el control de descarga de agua en el proceso de retrolavado.**

Para el control de la descarga de agua que se realiza por el ducto de salida de agua filtrada y por el ducto de agua de desecho se implementa un interruptor de nivel en alto-alto en cada piscina de filtración para evitar que el agua que ingresa por el ducto de entrada de agua aumente el nivel existente en la piscina. Los datos del nivel alto-alto transmitidos al PLC permiten detectar que la válvula de la compuerta de entrada de agua no se cierra por completo e informar al operario que debe detener el proceso para realizar mantenimiento.

Si se detecta que el nivel del agua llega al interruptor de nivel en alto el software considera que el filtro posee impurezas y se ejecuta el proceso de retrolavado, pero si el nivel de agua llega al interruptor de nivel en alto-alto se activa la alarma para informar al operador que la compuerta de entrada de agua no está completamente cerrada provocando un fallo en el proceso de retrolavado, para lo cual el operador debe de cerrar la válvula de compuerta manualmente para que el sistema complete el proceso de retrolavado en las seis piscinas.

El software de control del PLC permitirá la ejecución y detección de fallas en el proceso de retrolavado, el código embebido en el PLC se presentará en la sección anexos con el título de control de fallos en accionamiento de válvulas de compuerta en el proceso de retrolavado. La **Figura 53** presenta información de las variables establecidas para el control de fallos en el proceso de retrolavado.

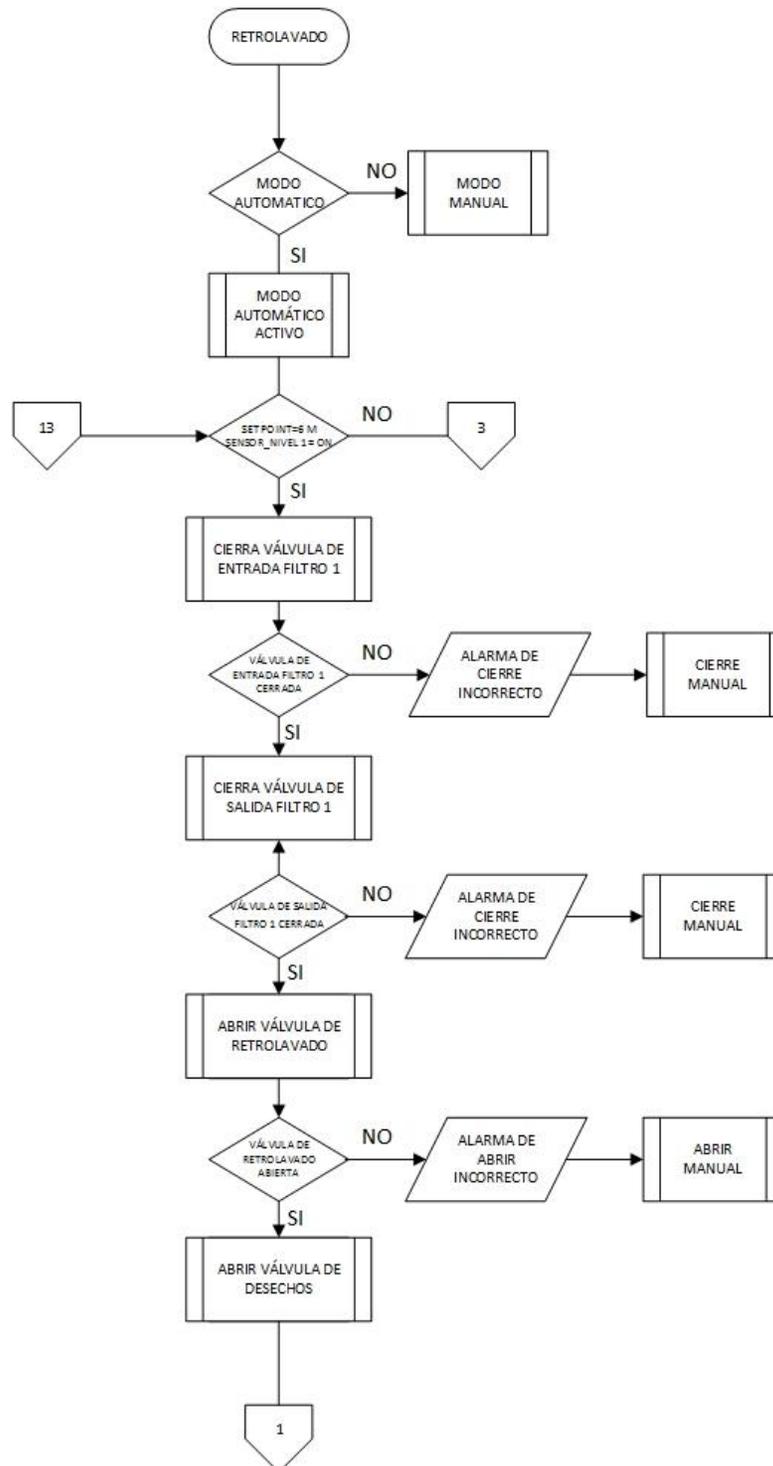


Figura 51. Diagrama de Flujo Proceso de Retrolavado

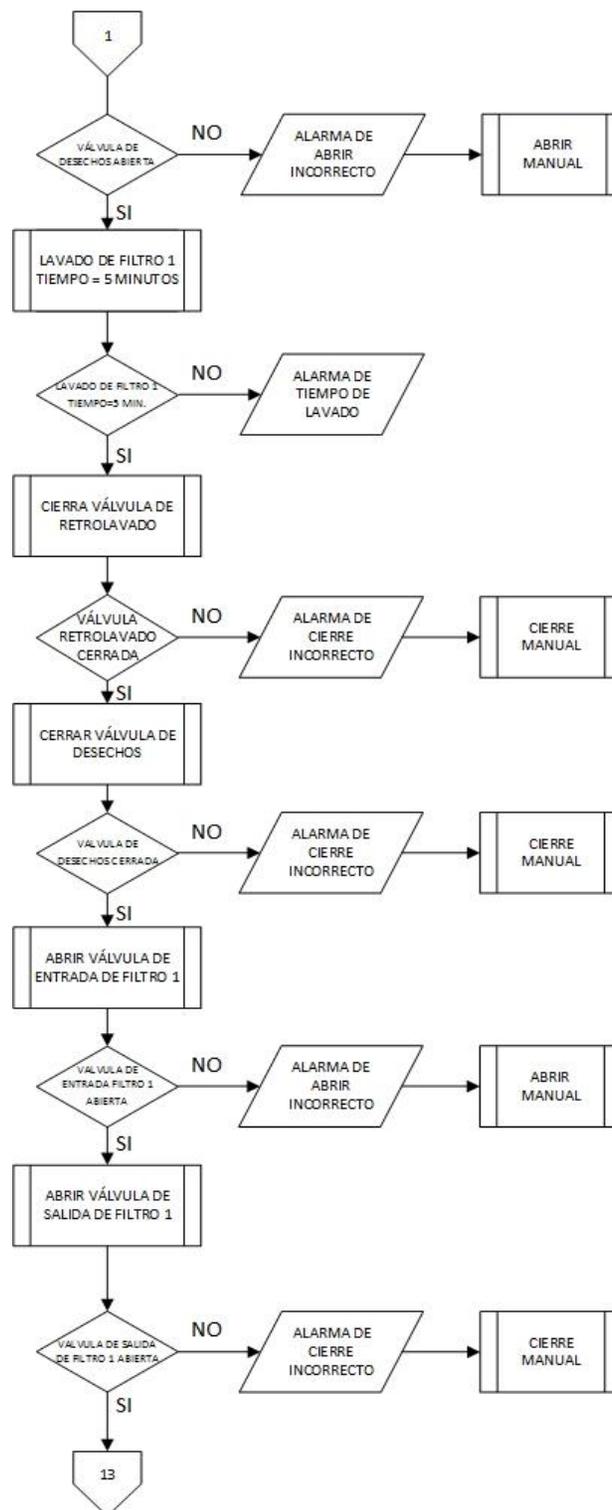


Figura 52. Diagrama de Flujo Proceso de Retrolavado

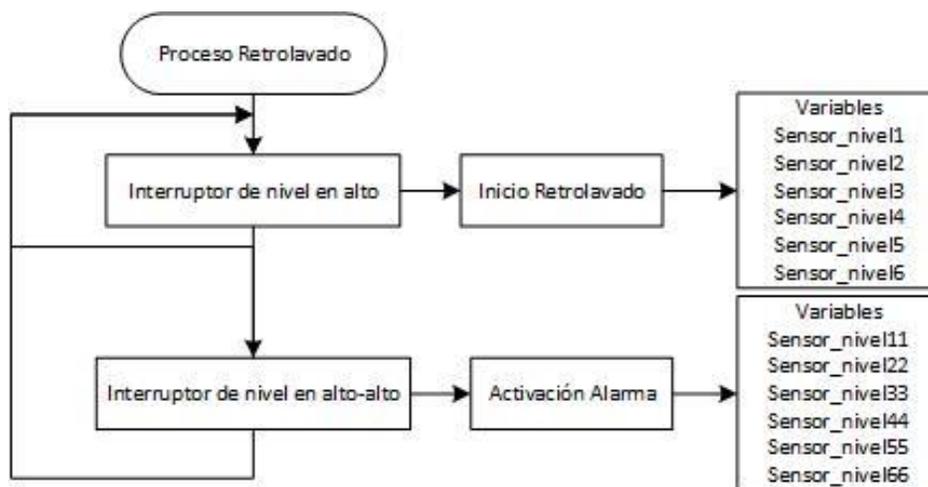


Figura 53. Información de las variables establecidas para el control de fallos en el proceso de retrolavado

4.3. Ingeniería de Detalle para el sistema de Supervisión y Monitoreo.

4.3.1. Requerimientos de interfaz HMI.

Para el diseño de la Interface Humano-Máquina (HMI) se realizó el estudio de la guía GEDIS y la norma ISA SP101 con el fin de determinar una estrategia de diseño para las interfaces gráficas que cumplan con los requerimientos tanto de la guía como de la norma mencionadas.

- **Propuesta de diseño**

La realización de la Interface Humano-Máquina en el proyecto tiene el objetivo de permitir que el usuario o el operador del sistema, interactúe con las diferentes etapas del proceso de la planta de tratamiento de agua potable. El usuario podrá ser capaz de navegar por los diferentes entornos de una manera fácil e intuitiva donde no existan confusiones que afecten la percepción o control de la planta.

Además, esta interfaz se debe adaptar a los requisitos del sistema y capacidades del operador, con el fin de que no existan errores a la hora de interactuar con la máquina. El uso de

indicadores y alarmas permitirá conocer el estado actual de la planta, y en caso de que sea necesario poder actuar con el fin de corregir fallas que afecten a la producción.

- **Criterios de diseño**

Para el criterio de diseño del interfaz humano máquina se ha tomado en cuenta diferentes parámetros como la simetría y el equilibrio con el objetivo de facilitar al operador la visualización de los datos y establecer diferencias entre ellos. Además, el HMI debe ser capaz de detectar diferentes fallas o errores en el sistema. Por tanto, se tomó en cuenta los siguientes puntos:

- *Visibilidad:* la información en la pantalla debe permitir la identificación de elementos gráficos tanto como el texto, con un tamaño adecuado para que el operario no confunda información.
- *Perceptibilidad:* La identificación del estado del proceso debe ser fácil de identificar para que el operario tome acciones.
- *Información:* La pantalla tiene elementos que permiten dar información clara e intuitiva sobre el estado del sistema.
- *Interactividad:* La interfaz facilita accionar comandos al operario.
- *Color:* Contribuye a dar significado y relevancia a los procesos que se quieran destacar.

- **Estrategias de diseño**

En cuanto a las estrategias de diseño se tomó en cuenta diferentes parámetros que permitan describir y organizar de manera correcta la interfaz, estos parámetros o estrategias son:

- Dividir el proceso en etapas que simplifiquen la abstracción mental del usuario, mediante la utilización de la menor cantidad de recursos por ventana evitando la sobre carga visual.

- Utilizar un patrón de diseño proporcionando similares características a cada una de las ventanas el cual permita la búsqueda de soluciones a problemas comunes en el desarrollo del proceso.
 - Proporcionar al usuario información clara sobre el desarrollo del proceso evitando la memorización de comandos de navegación o principios de funcionamiento de las diferentes máquinas y sensores.
 - Emplear metáforas de orientación para obtener facilidad de movimiento y para una navegación flexible entre ventanas.
 - Realizar cada interfaz a prueba de fallas de tal manera que le permita al operario explorar sin que exista algún tipo de anomalía en el desarrollo normal del proceso, así como una correcta monitorización del proceso como tal.
 - Realizar una interfaz intuitiva y amigable con el usuario determinando alarmas tanto sonoras como visuales que alerten en el caso de la existencia de algún tipo de error, así como proporcionar al usuario información clara sobre el desarrollo del proceso evitando la memorización de comandos de navegación o principios de funcionamiento de las diferentes componentes y sensores.
 - Realizar una interfaz que facilite al usuario el manejo de información ya que permite hacerle un seguimiento total al desarrollo y rendimiento en cualquier momento (Ponsa, Diaz, & Catalá, 2010).
- **Norma ISA-SP 101 (Álvarez Luna & Robles Reyes, 2016).**

En Estados Unidos, la organización ISA ya publica en 1985 el informe RP60.3, Human Engineering of Control Centres, que englobaba ideas de diseño adaptadas a las capacidades físicas y psíquicas del ser humano. Ante la falta de estándares claros en torno al mundo de la interface hombre máquina se crea, en Julio de 2005, el comité ISA-SP101 con el objetivo de establecer

estándares, prácticas recomendadas y apoyo técnico, que permitan normalizar el campo de las interfaces hombre-máquina en los procesos productivos.

El ámbito de actuación de este comité incluye los elementos relacionados con interfaces como: menús, convenciones de diseño de pantallas, utilización de colores, etiquetas, animaciones, gestión de alarmas, archivado, redes, etc. Los principales objetivos son:

- Disminuir la tasa de errores de los operarios gracias a unas representaciones claras e intuitivas de las interfaces de control.
- Reducir los tiempos de aprendizaje de los nuevos operadores y conseguir que los tiempos de formación sean acumulativos, permitiendo el cambio de un sistema a otro con el mínimo entrenamiento gracias a la estandarización de la interface de control.
- Reducir costes de rediseño al estandarizar procedimientos.

El ámbito de actuación de este comité incluye todos aquellos elementos relacionados con este tipo de interfaces: menús, convenciones de diseño de pantallas, utilización de colores, etiquetas, animaciones, gestión de alarmas, archivado, redes, etc.

Los beneficios de la norma ISA 101 son:

- Consistencia de la ejecución
- Menos tiempo de entrenamiento a los usuarios
- Menos errores del operador
- Mayor facilidad para moverse entre plataformas

4.3.2. Diseño de pantallas de HMI

- **Arquitectura de pantallas HMI para la planta de tratamiento de agua potable.**

A continuación, se detalla las pantallas que se diseñaron, sus funciones y la navegación entre cada una de ellas. La **Figura 54** ejemplifica las pantallas ubicadas en dos niveles de operación

diferentes, además detalla al operador como sería la navegación entre cada una de ellas y los pasos a dar para llegar a cualquiera de las pantallas del sistema.

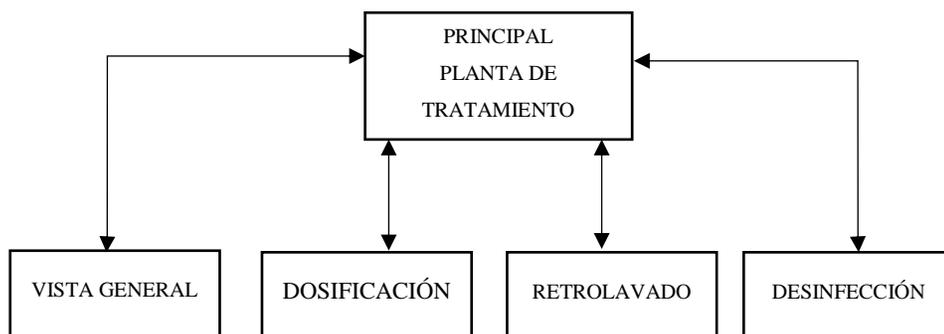


Figura 54. Arquitectura de pantallas de supervisión para la planta de tratamiento

- Pantalla Principal: En esta pantalla se presenta al inicio fotografías de la Empresa de Agua Potable de Tulcán, el lugar donde está ubicada, su logotipo y parte de la imagen que proyecta la empresa. Cuenta con botón de ingreso de usuarios para que se pueda ingresar dos tipos de usuarios, el uno es el operario y el otro es el ingeniero, cada uno con su respectiva contraseña.
- Pantalla Vista General: En esta pantalla se podrá visualizar todo el proceso de la planta de manera general, además de que se tendrá información resumida de cada uno de los procesos de la planta, en esta pantalla se podrá navegar por cada de las pantallas que contienen un proceso de la planta de tratamiento y también tendrá la opción de regresar a la pantalla principal.
- Pantalla Dosificación: La pantalla de dosificación tendrá la opción de navegar por todas las pantallas y mostrará, la función de operar las bombas de dosificación de forma manual o automática, además se podrá monitorear el caudal, la turbiedad y pH que son los parámetros de entrada para esta etapa, se presentará la cantidad de dosificación que se está brindando al caudal de ingreso de la planta para continuar

el proceso, por último se presentará indicadores de estado de los sensores, las bombas de dosificación y un panel de alarmas.

- Pantalla Retrolavado: Esta pantalla tendrá la opción de navegar por todas las pantallas y mostrará el proceso de retrolavado de la etapa de filtración que tiene la planta, en esta pantalla se visualizará la activación de los sensores de nivel y del accionamiento de las válvulas de compuerta, además de las válvulas de retrolavado y de desechos, esta pantalla se presentará indicadores de funcionamiento de los sensores, además se podrá accionar la forma manual o automática de este proceso también contará con un panel de alarmas.

- Pantalla Desinfección: La pantalla de desinfección monitoreará los parámetros de salida de caudal, turbiedad, cloro residual y pH, los cuales se visualizarán permitiendo comparar resultados con los datos de entrada a la planta que se visualizan en la pantalla de dosificación. Además, en esta pantalla también se podrá navegar por las otras pantallas.

- **Plantillas para las pantallas HMI, Principal, Vista General, Dosificación, Retrolavado, Desinfección.**

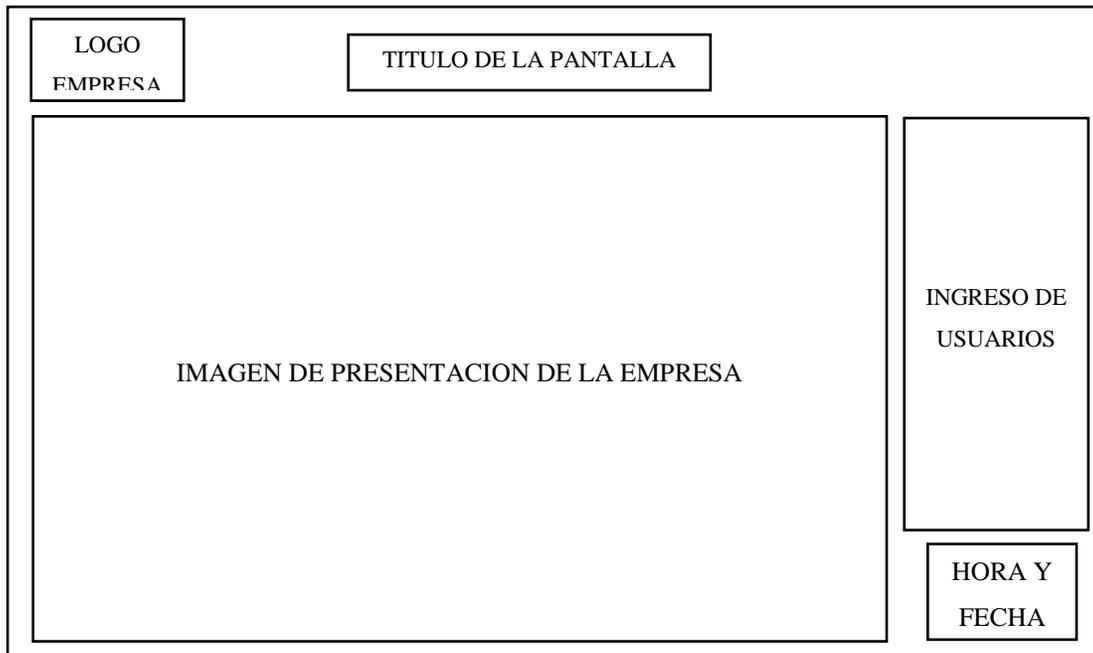


Figura 55. Plantilla de interfaz para la pantalla principal

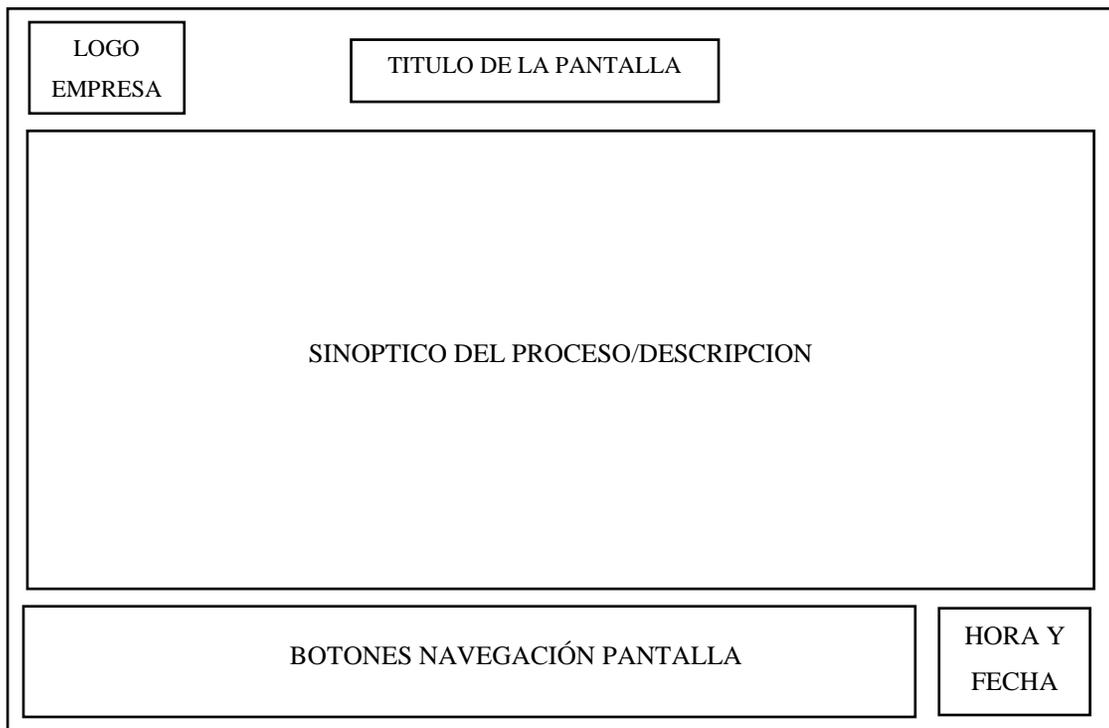


Figura 56. Plantilla de interfaz para la pantalla de Vista General

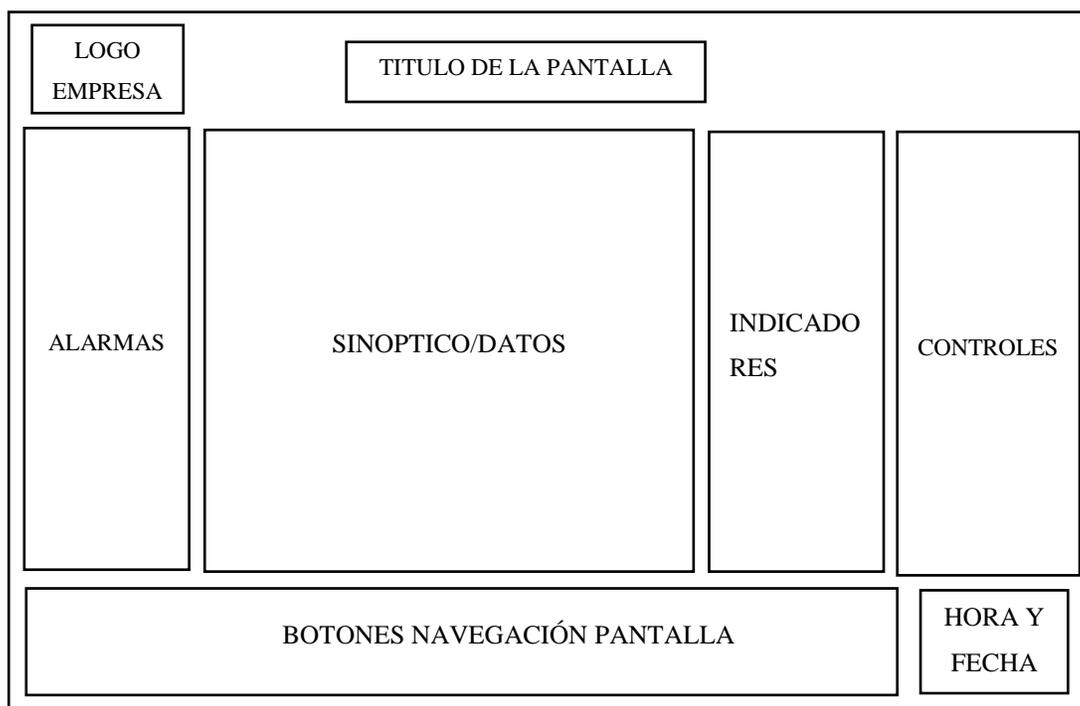


Figura 57. Plantilla de interfaz para la pantalla de Dosificación

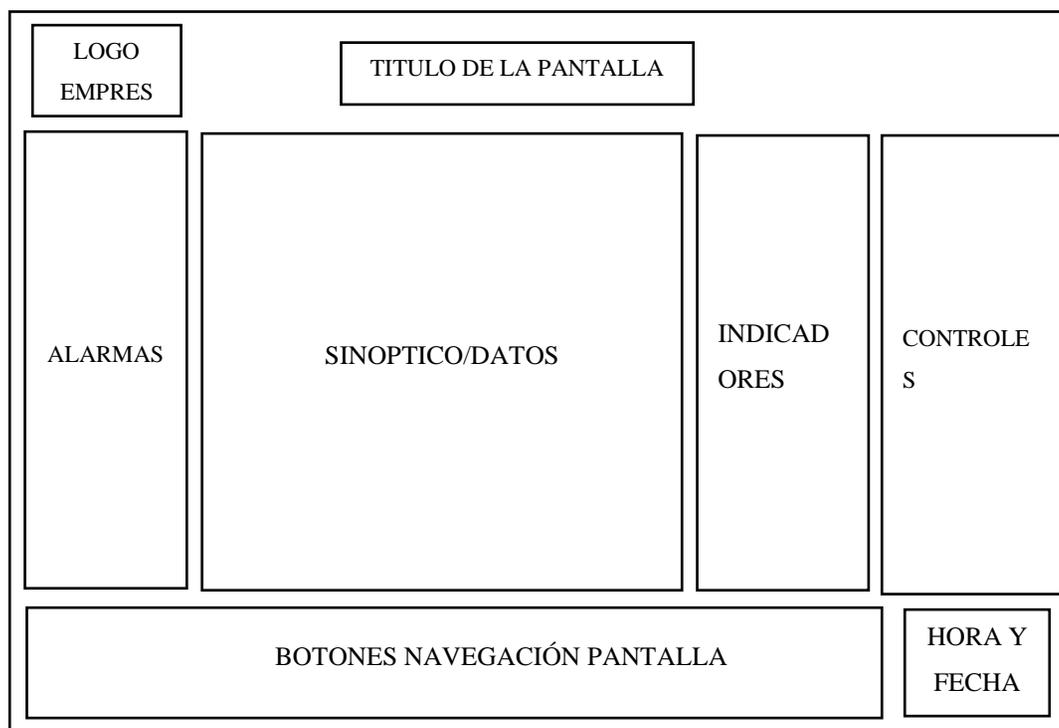


Figura 58. Plantilla de interfaz para la pantalla de Retrolavado

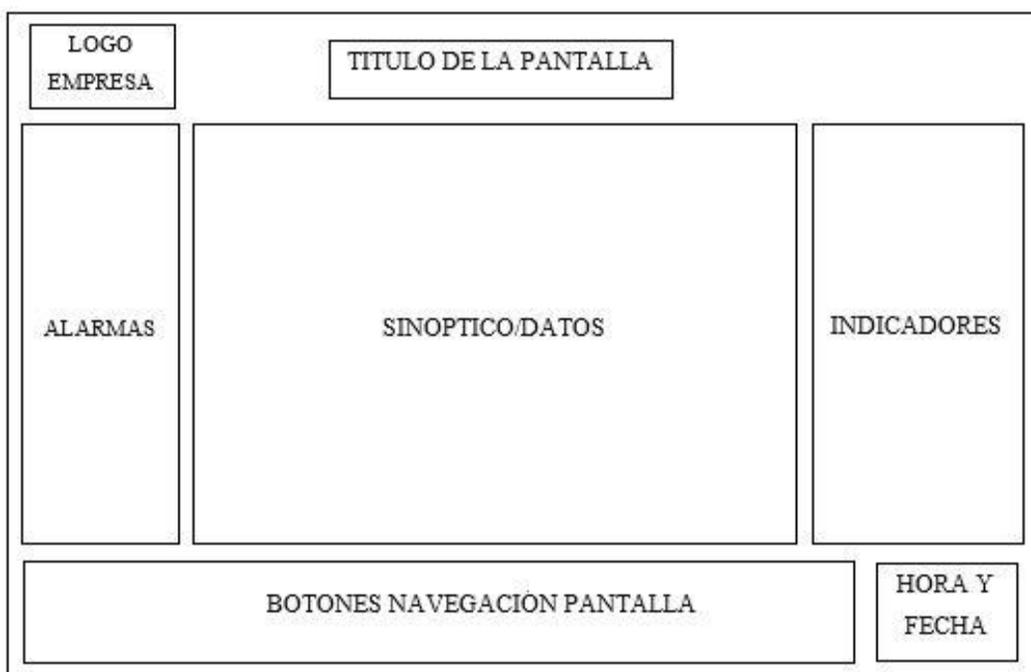


Figura 59. Plantilla de interfaz para la pantalla de Desinfección

4.4. Desarrollo de la lógica de control e interfaces HMI.

El sistema de automatización del proceso de potabilización del agua en la ciudad de Tulcán estará encargado de los siguientes procesos.

- Monitoreo y supervisión de los parámetros y etapas del proceso mediante interfaces HMI.
- Control y operación de la etapa de dosificación del proceso de tratamiento de agua potable junto con la visualización de los parámetros de dosificación de cada caso.
- Control y operación del proceso de retrolavado de los filtros de la planta de tratamiento junto con la visualización de su correcto funcionamiento.

A continuación, se interpreta el sistema completo mediante un diagrama de bloques donde se incluye los procesos involucrados en la automatización del proceso de potabilización, el diagrama se muestra en la **Figura 60**, donde se presenta las etapas y el proceso de tratamiento del agua.

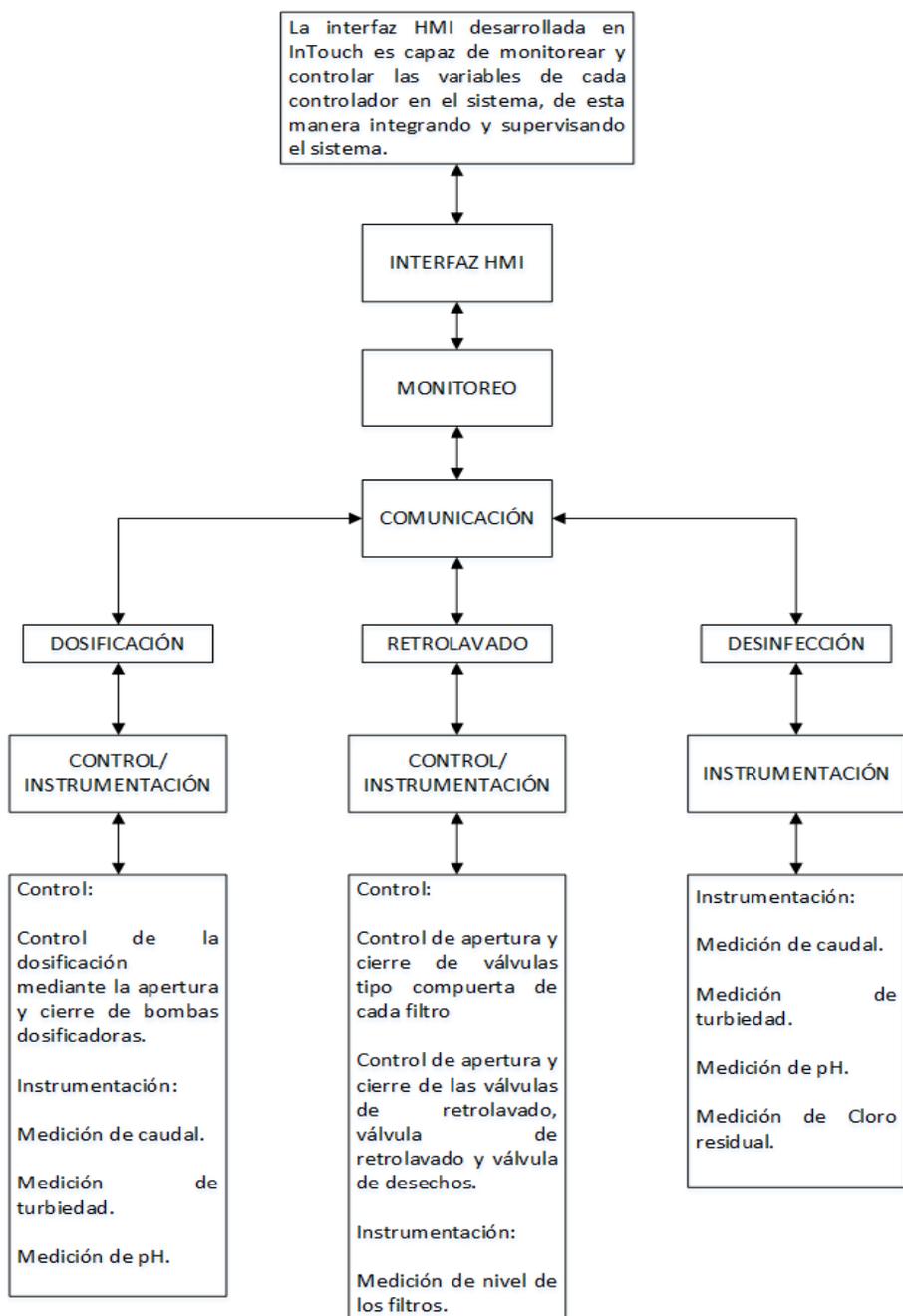


Figura 60. Diagrama de bloques de la planta de tratamiento de agua potable

4.4.1. Particularidades del sistema de automatización para la planta de tratamiento de agua potable.

El diseño propuesto debe poseer características que se han desarrollado con el fin de informar las funciones o propiedades del sistema.

- **Interfaces de Usuario.**

Periféricos de computadora como ratón o teclado, para poder ingresar datos o activar botones.

- **Pantallas gráficas.**

- El sistema de la planta de tratamiento de agua potable cuenta con cuatro pantallas en la interfaz.
- La resolución de las pantallas es de 1280 x 1024.

- **Interfaz de PLC.**

- Los protocolos de comunicación deben estar contenidos.
- Drivers OPC/DDE deben ser manejados.

- **Escalabilidad.**

Capacidad de añadir equipos adicionales para el sistema de monitoreo sin necesidad de modificar los equipos existentes.

- **Acceso a los datos.**

- Acceso directo y en tiempo real a los datos manipulados por la interfaz.
- Compatibilidad DDE para lectura y escritura de variables I/O.

- **Red de comunicación.**

- La red debe poder ser manejada por el sistema operativo Windows.
- Trabaja mediante protocolo TCP/IP.

4.5. Configuración driver OPC DDE para comunicación entre Intouch y TIA PORTAL (Ponsa, Diaz, & Catalá, 2010)

Para que la interfaz pueda estar en la computadora se debe contar con los tags del PLC en un punto o servidor, los tags de cada interfaz y su relación con el PLC fueron presentados anteriormente.

Se necesitará contar con el software KEPServerEX, el cual es una plataforma de conectividad que permite a los usuarios conectar, administrar, monitorear y controlar diversos dispositivos de automatización, este software aprovecha los protocolos de comunicación OPC (el estándar de interoperabilidad de la industria de automatización).

Para crear una comunicación entre TIA PORTAL e InTouch se deberá seguir los siguientes pasos:

- En el programa KEPServer crear un canal de comunicación con las características de nuestro controlador. Se muestra en la **Figura 61** y **Figura 62**.

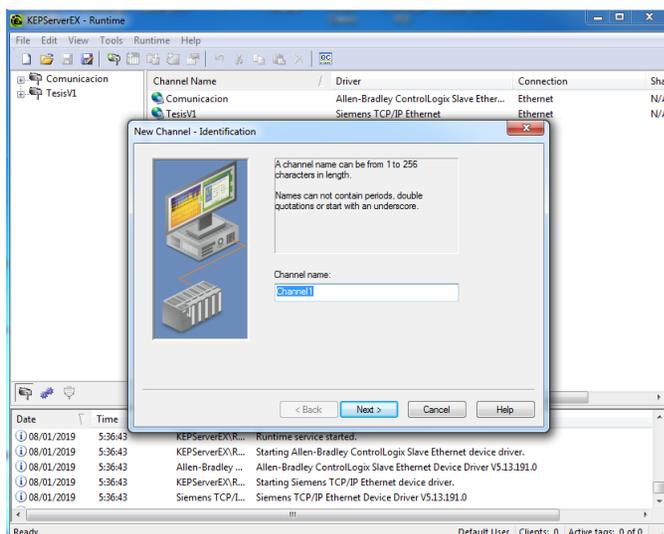


Figura 61. Creación del canal de comunicación en KEPServer

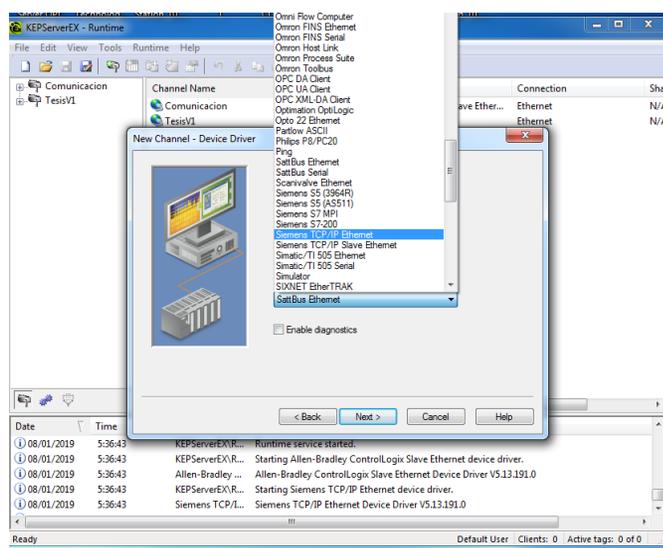


Figura 62. Creación del canal de comunicación en KEPServer con las características del controlador a utilizar

- Una vez creado el canal de comunicación en KEPServer procedemos a crear los mismos tags que tenemos en nuestras tablas del programa en TIA PORTAL

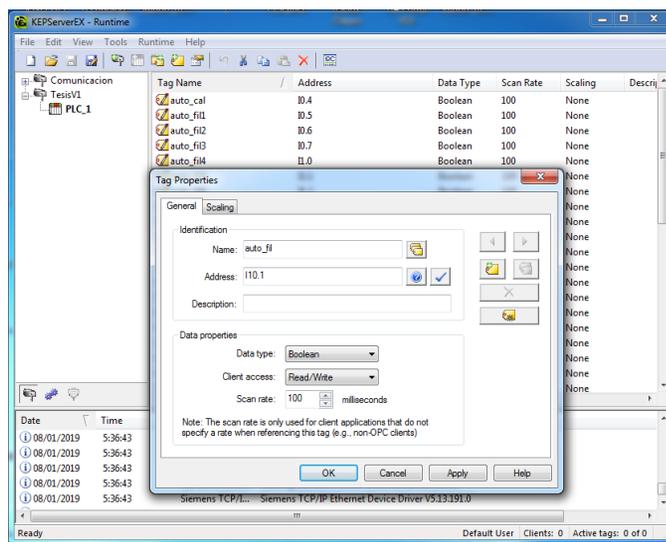


Figura 63. Creación de los tags en KEPServer

- En la plataforma InTouch para poder comunicarse con los tags creados, los cuales pueden ser Real, Integer o Discrete de I/O, seleccionamos uno de nuestros elementos de la pantalla, en este caso accionaremos un indicador como se muestra en la **Figura 64**.

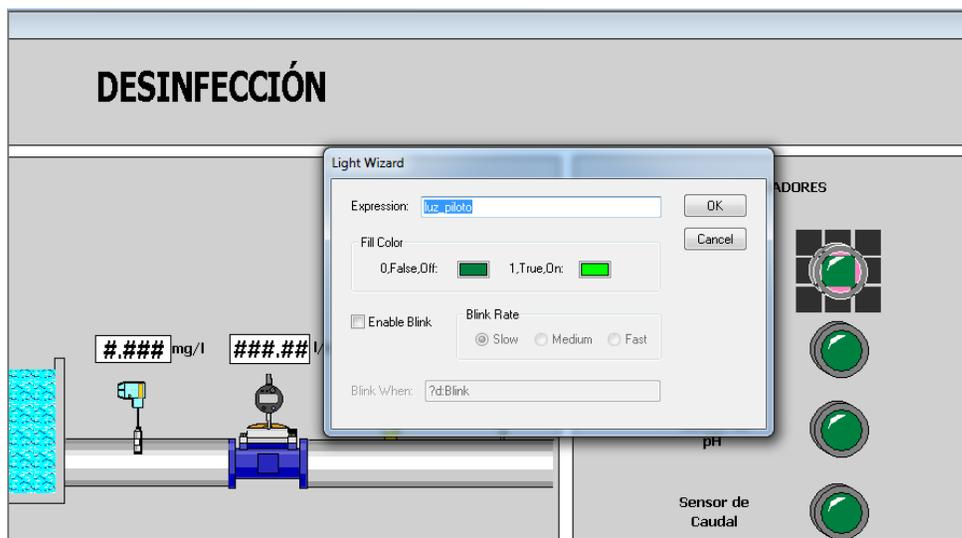


Figura 64. Creación del tag de un indicador en InTouch

- Para configuración de este tag se muestra la **Figura 65** donde se puede ver el dato, el Access Name para la comunicación OPC/DDE y el ítem relacionado con el PLC.

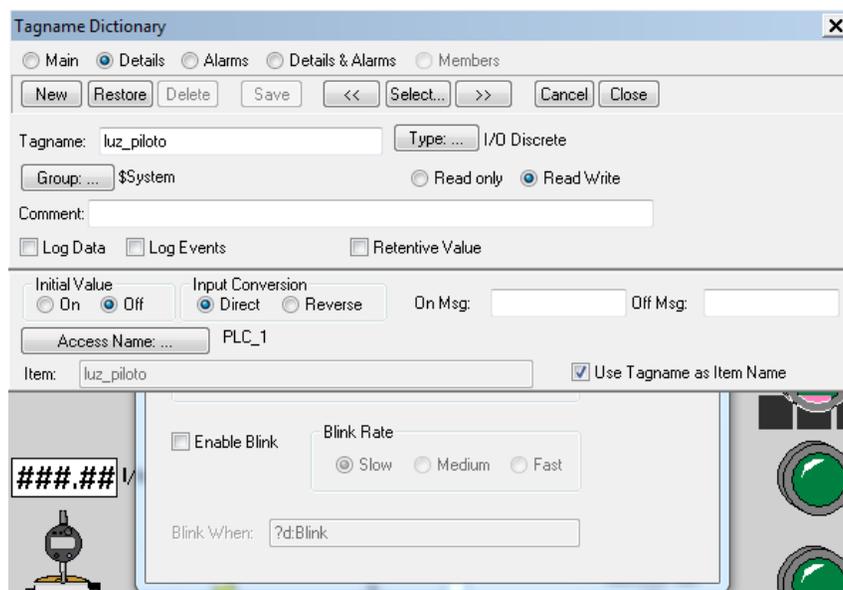


Figura 65. Configuración del tag de indicador para comunicarse mediante OPC/DDE y relacionarlo con el PLC

- La configuración del Access Name se muestra en pestaña que posee este nombre y se ingresa los siguientes parámetros como en la **Figura 66** se presenta.

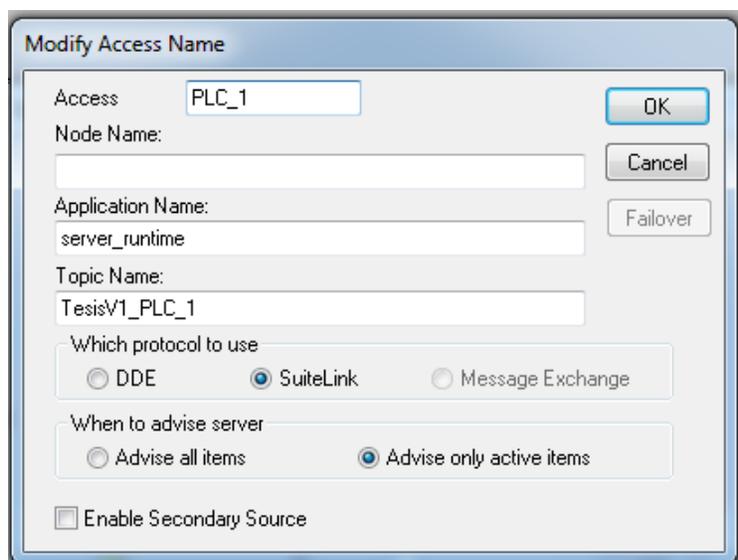


Figura 66. Configuración de Access Name para OPC/DDE con Tia Portal

Después de seguir estos pasos se puede relacionar todos los tags de la interfaz con los tags de nuestro programa del PLC para que de esta manera la operación del proceso sea correcta.

CAPÍTULO V

SIMULACIÓN

5.1. Simulación de la lógica de control.

La simulación de la lógica de control desarrollada en el capítulo de Ingeniería de Detalle para el sistema de control muestra las gestiones que realizará el controlador en cada etapa del proceso, la siguiente simulación es elaborada para comprobar la factibilidad y viabilidad del sistema de control realizado para cada uno de las etapas:

- Lógica de control de la etapa de dosificación.
- Lógica de control de la etapa de retrolavado.

Las simulaciones se han desarrollado en el software de simulación de PLC Siemens S7 - PLCSIM versión 13, este software permite presentar las entradas y salidas físicas del PLC, además de simular el funcionamiento de las entradas analógicas y digitales del controlador, de esta manera se podrá observar el desarrollo de los siguientes parámetros:

- Lectura de variables analógicas que representan los diferentes sensores en cada etapa del proceso.
- Lectura de variables booleanas que representan los instrumentos de maniobra como son pulsadores, interruptores en las interfaces o en el tablero de control.

Se presenta las interfaces de simulación de cada una de las etapas del proceso que se desarrollaron.

- **Simulación la lógica de control de la etapa de Dosificación.**

La siguiente simulación muestra el funcionamiento del modo automático de la etapa de dosificación donde se puede visualizar en ingreso de los valores escalados de cada uno de los sensores que intervienen en la etapa, la lógica de control muestra que el sensor de turbiedad es el

encargado de controlar la dosificación del polímero y del sulfato de aluminio, mientras que el sensor de pH estará encargado de la dosificación de la cal, la **Figura 67** muestra en el software S7 – PLCSIM la simulación de esta etapa con valores reales que pueden detectar los sensores.

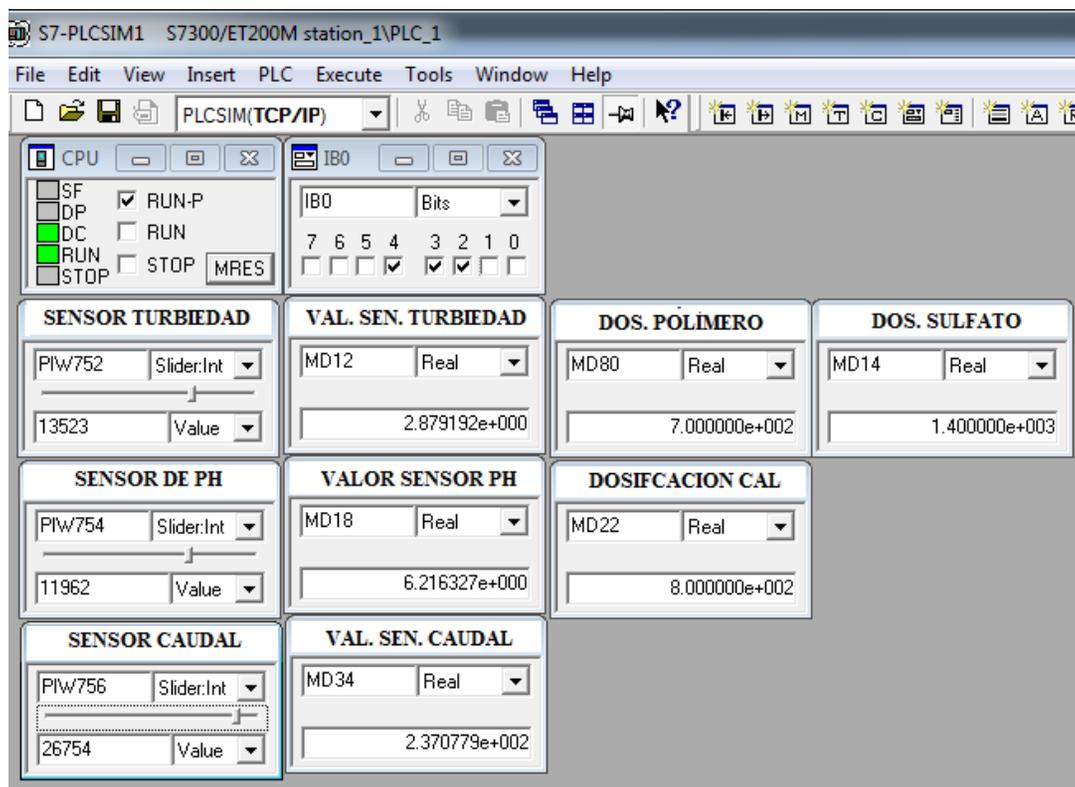


Figura 67. Simulación de la etapa de Dosificación en el simulador S7 – PLCSIM

- **Simulación la lógica de control de la etapa de Retrolavado.**

La siguiente simulación muestra el funcionamiento del modo automático de la etapa de retrolavado donde se puede visualizar la activación del sensor interruptor de nivel de cada uno de los seis filtros de retrolavado, además de la activación automática de cada una de las válvulas de control, la lógica de control estará basada en el tiempo de lavado de cada filtro y la activación de los interruptores de nivel, la **Figura 68** muestra en el software S7 – PLCSIM la simulación de esta etapa la activación de cada una de las salidas y entradas discretas del PLC. El código de programación del PLC se encuentra en la sección de Anexos Código de Programación.



Figura 68. Simulación de la etapa de Retrolavado en el simulador S7 – PLCSIM

5.2. Simulación de pantallas HMI desarrolladas.

A través de la simulación de las pantallas HMI se pretende mostrar la lógica de navegación explicada en el capítulo 4, también se puede apreciar el funcionamiento de cada pantalla, sus botones, indicadores y valores que ingresan al sistema de monitoreo y supervisión.

- **Simulación de pantallas para el sistema de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán.**

Se ha comprobado el funcionamiento de las interfaces y el desarrollo de su lógica de navegación de las pantallas, la **Figura 69** muestra físicamente la planta de tratamiento de agua potable, la **Figura 70** muestra la pantalla principal del sistema de la planta de tratamiento, la **Figura 71** muestra la presentación de una vista general de todo el proceso de la planta, la **Figura 72** muestra la simulación de la etapa de Dosificación, la **Figura 73** muestra en su pantalla la simulación del proceso de Retrolavado, la

Figura 74 muestra la simulación de la etapa de Desinfección, y finalmente la **Figura 75** muestra la simulación de los Históricos del proceso.



Figura 69. Planta de tratamiento de agua potable física de la ciudad de Tulcán

PRINCIPAL



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA - TULCÁN



Si Podemos

EPMAPA-T

Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarado de Tulcán

Somos Vida

Avancemos ...!

Ingresar

23:11:50
19/01/2019

Figura 70. Simulación de pantalla principal de la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Tulcán

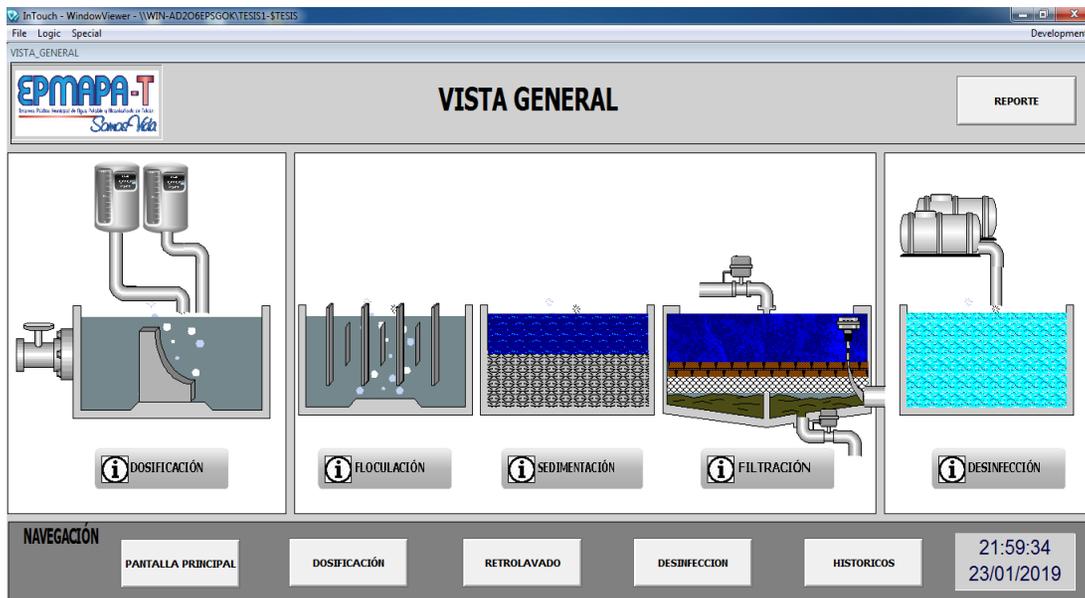


Figura 71. Simulación de pantalla Vista General

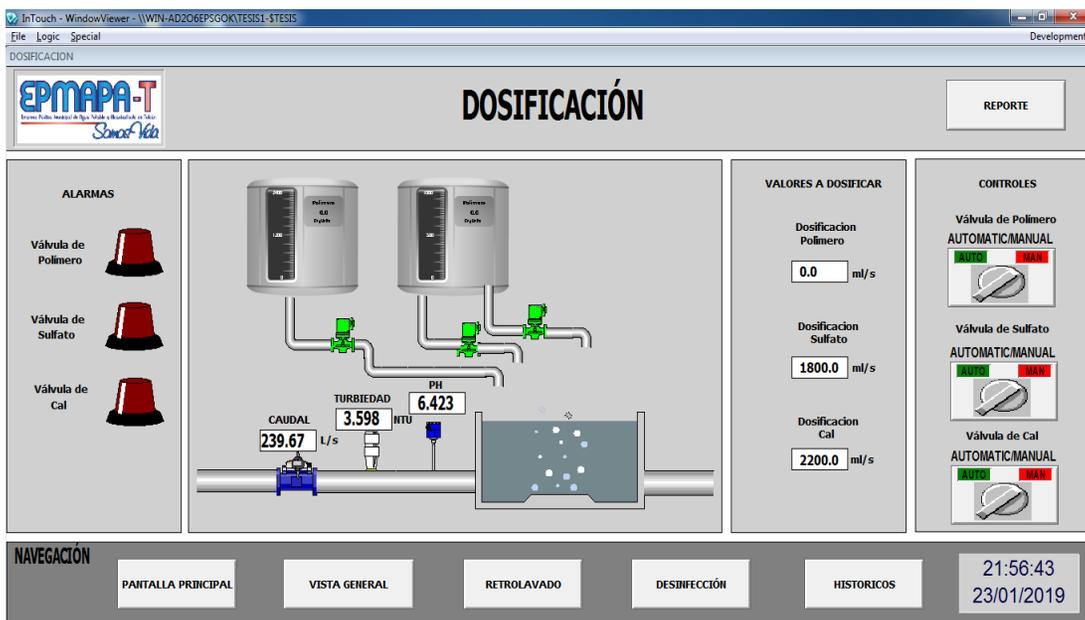


Figura 72. Simulación de pantalla de la etapa de Dosificación

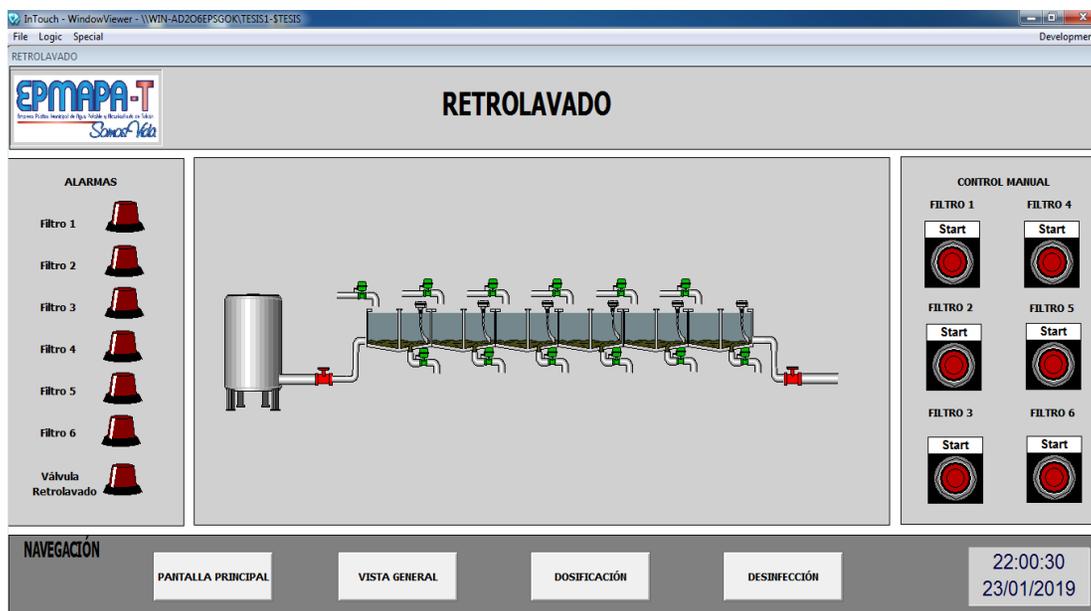


Figura 73. Simulación de pantalla de la etapa de Retrolavado

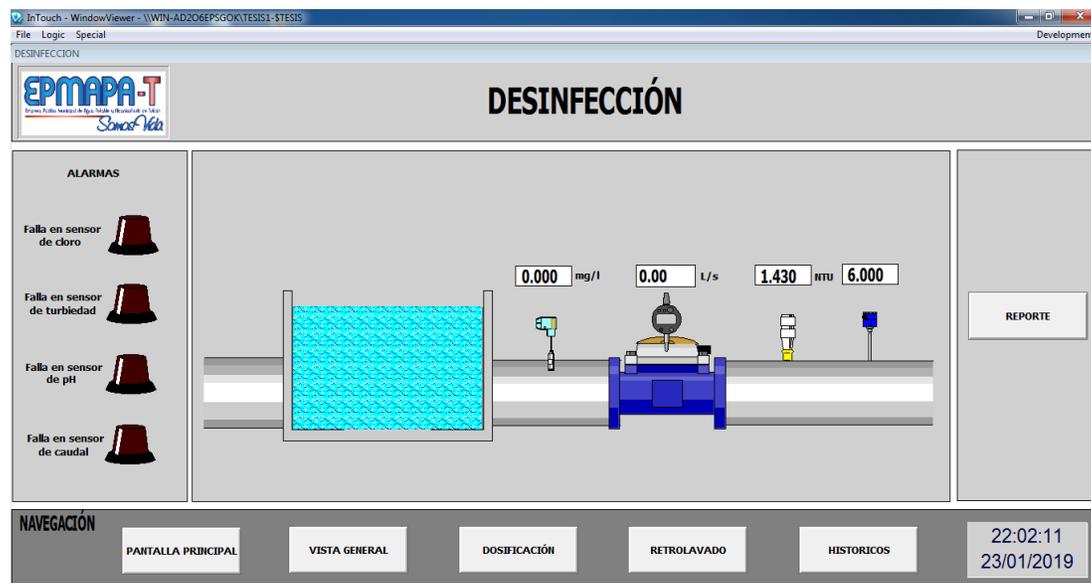


Figura 74. Simulación de pantalla de Desinfección



Figura 75. Simulación de pantalla de Históricos

CAPÍTULO VI

PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1. Pruebas.

En este capítulo se desarrollará escenarios de pruebas orientadas al sistema de monitorización y supervisión del proceso de tratamiento de agua potable de la planta de la ciudad de Tulcán, no se realizarán pruebas de implementación ya que este proyecto está enfocado al diseño, las pruebas de los diferentes escenarios se presentarán en las etapas de dosificación y retrolavado del proceso.

- **Dosificación de polímero, sulfato y cal.**

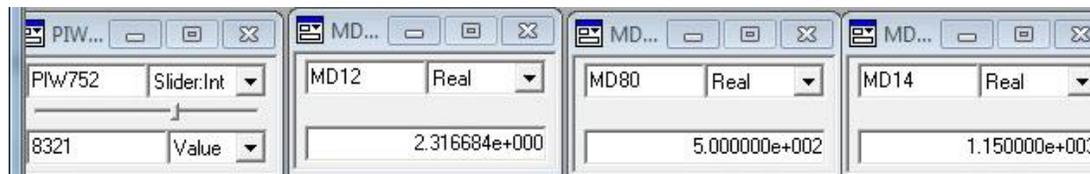
Para comprobar el funcionamiento se realizó pruebas para analizar la respuesta del algoritmo que permite la dosificación de polímero, sulfato y cal según los rangos de turbiedad y pH establecidos por el área de control de calidad. Para ello se modificó dos veces el valor de la entrada del sensor de turbiedad y se verificó la cantidad de dosificación de polímero y sulfato que requiere el agua cruda que ingresa al proceso de potabilización.

De igual manera se modificó dos veces el valor de la entrada del sensor de pH y se verificó la cantidad de cal que requiere el agua cruda que ingresa al proceso de potabilización.

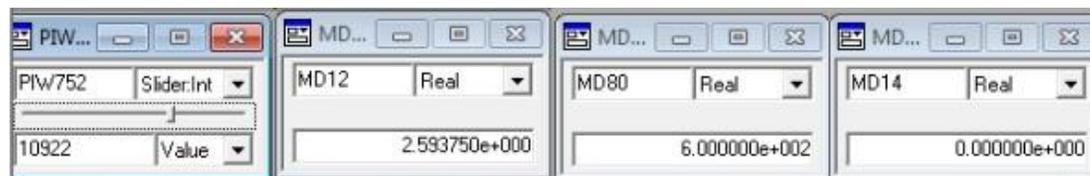
- **Prueba de la lógica de control de la dosificación de polímero y sulfato**

Los valores de turbiedad se modificaron mediante la variación de los datos del registro de la entrada analógica del PLC para la posterior visualización de la cantidad de ml/s de polímero y sulfato que requiere el agua cruda. Por consiguiente, se varió el valor de turbiedad de la entrada analógica PIW 752 de 2.317 NTU a 2.594 NTU como se observa en la **Figura 76**, **Figura 77** y la **Figura 78**.

En la **Figura 76** se observa el cambio en el registro de PIW 752.

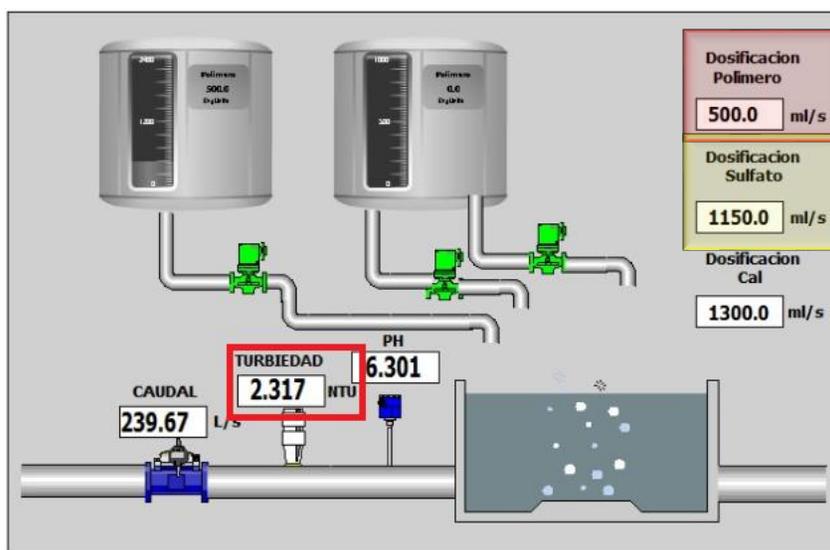


a)



b)

Figura 76. a) Valor de la turbiedad de 2.31 b) Valor de la turbiedad de 2.59

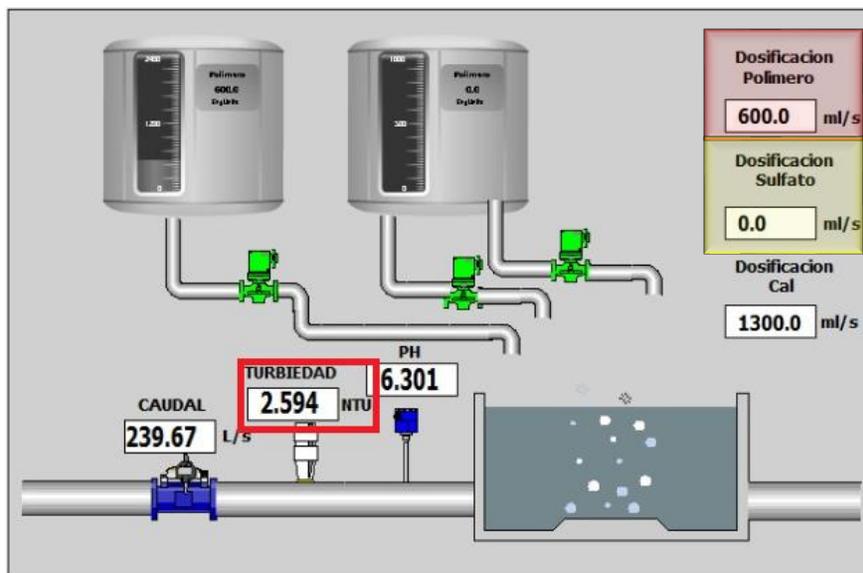


a)

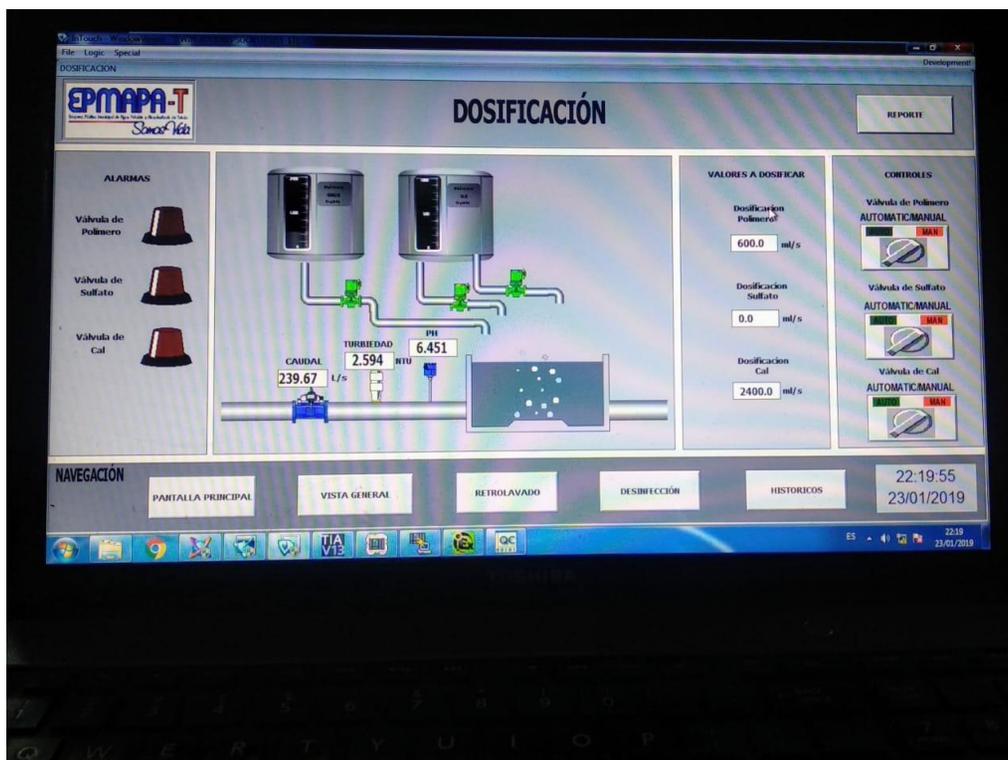


b)

Figura 77. a) Valor de la turbiedad inicial b) Valor de la turbiedad inicial en PC



a)



b)

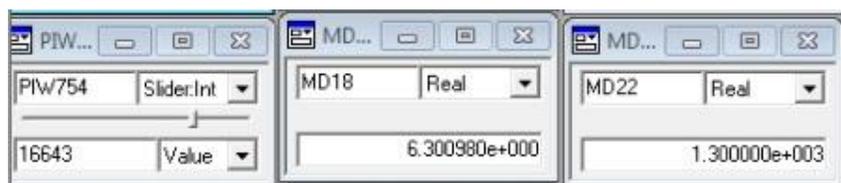
Figura 78. a) Valor de turbiedad modificada b) Valor de turbiedad modificada en PC

Se observa que la dosificación con 2.317 NTU de turbiedad es de 500 ml/s de polímero y 1150 ml/s de sulfato por otra parte cuando se varía el valor de la turbiedad a 2.594 NTU la dosificación de polímero es de 500 ml/s y no se dosifica sulfato.

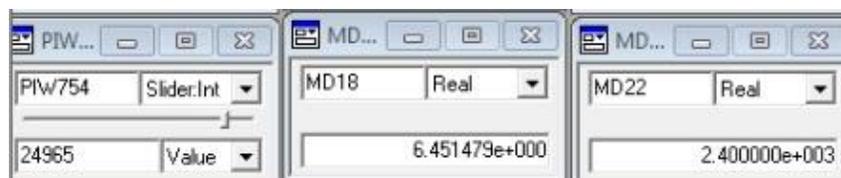
- Prueba de la lógica de control de la dosificación de cal

Los valores de turbiedad se modificaron mediante la variación de los datos del registro de la entrada analógica del PLC para la posterior visualización de la cantidad de ml/s de cal que requiere el agua cruda. Por consiguiente, se varió el valor del pH de la entrada analógica PIW 754 de 6.30 a 6.45 como se observa en la **Figura 79**, **Figura 80** y la **Figura 81**.

En la **Figura 79** se observa el cambio en el registro de PIW 754.

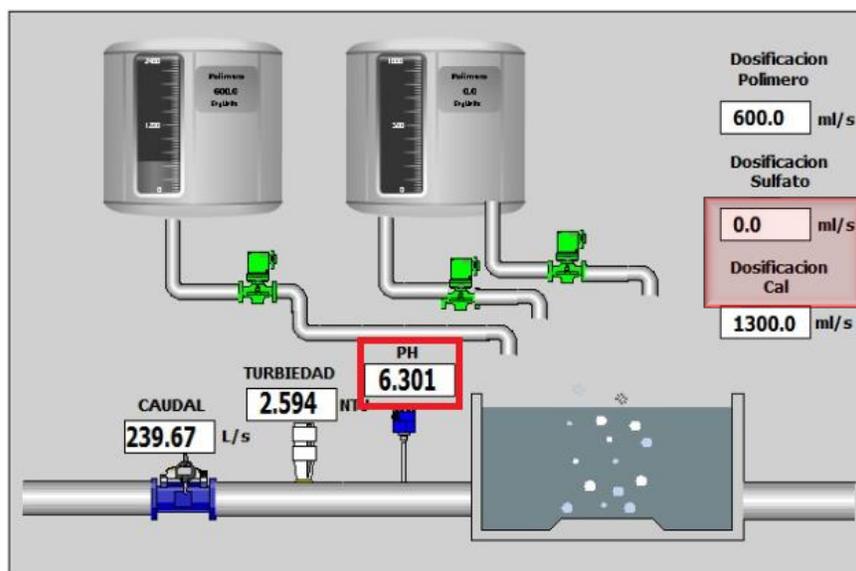


a)



b)

Figura 79. a) Valor de la turbiedad de 6.30 b) Valor de la turbiedad de 6.45

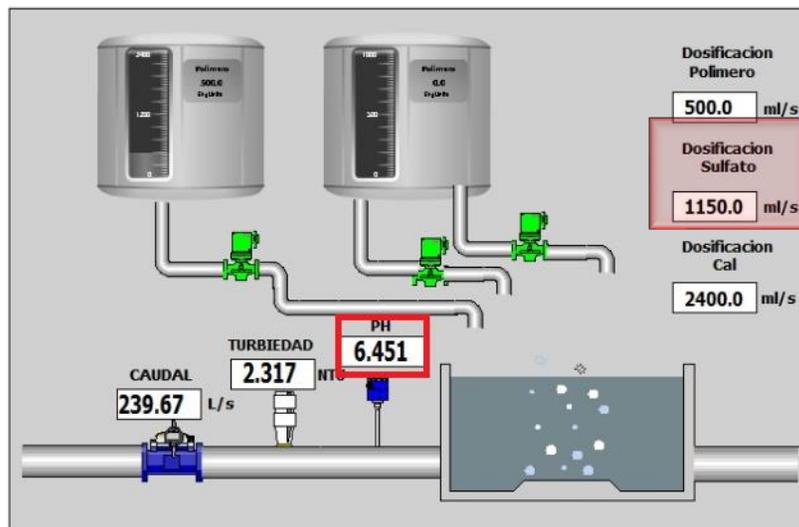


a)

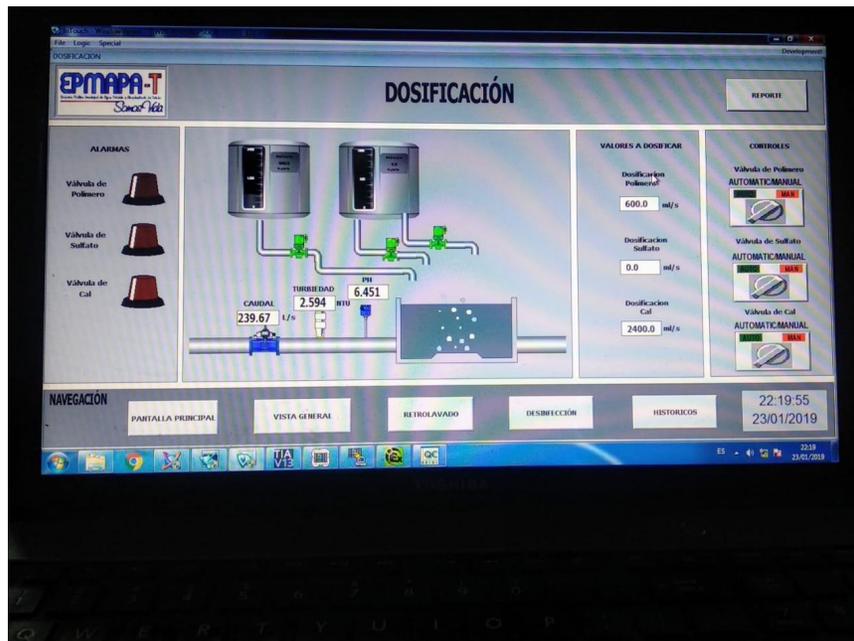


b)

Figura 80. a) Valor de cal de 6.30 en la interfaz de dosificación b) Valor de cal de 6.30 en la interfaz de dosificación en la PC



a)



b)

Figura 81. a) Valor de cal de 6.45 en la interfaz de dosificación b) Valor de cal de 6.45 en la interfaz de dosificación en la PC

Se observa que la dosificación con 6.31 unidades de pH es de 500 ml/s de cal por otra parte cuando se varía el valor de pH a 6.45 unidades de pH la dosificación de cal es de 500 ml/s.

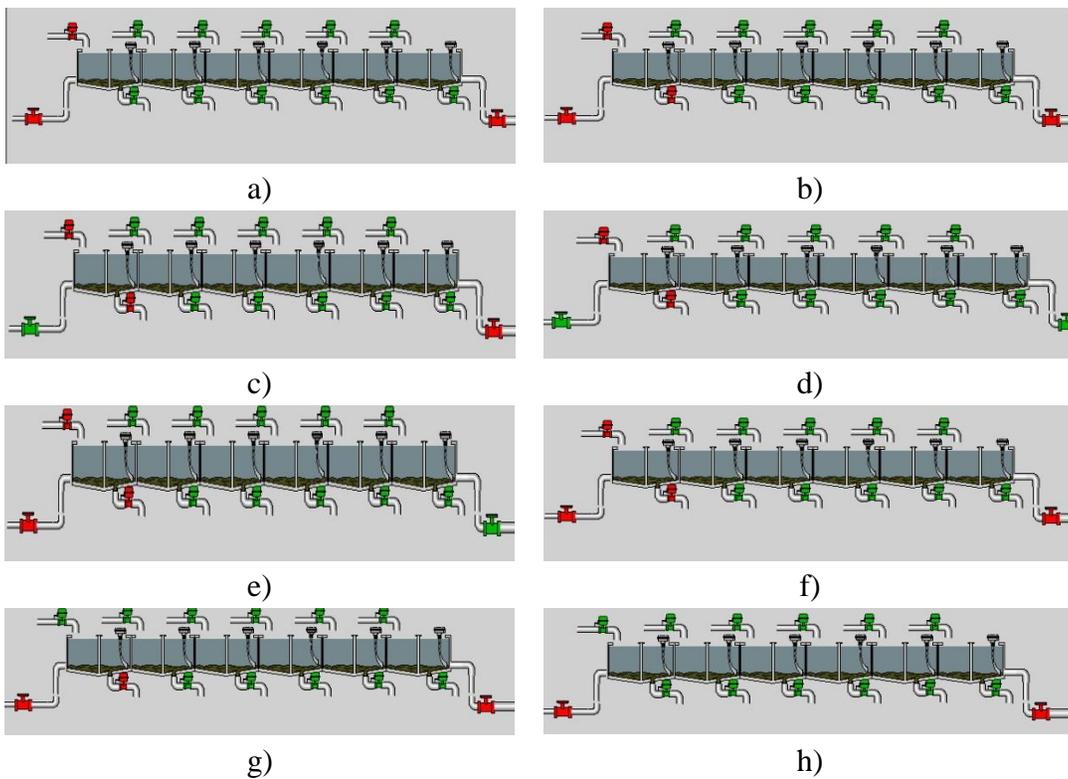
- **Retrolavado en la etapa de filtración.**

Para comprobar el funcionamiento del proceso de retrolavado se selecciona el modo de control manual que permite simular la activación del interruptor de nivel cuando el filtro este con sedimentos y poder limpiar el filtro de forma manual desde el HMI. Con la señal en alto emitida por el interruptor de nivel el software interpreta que el filtro requiere limpieza de sedimentos y el agua ha sobrepasado su nivel alto.

Por consiguiente, el proceso de limpieza del filtro empieza automáticamente con la activación de las válvulas de entrada, salida, retrolavado y desechos según la secuencia que requiere

el proceso de ingreso y salida de agua por sus respectivas vías de evacuación como se describe en la ingeniería de detalle.

Es importante destacar que el tiempo de duración durante la limpieza de filtros durante la simulación es de 25 segundos mientras que para la implementación debe de ser de 10 minutos por cada filtro. En la **Figura 82** se muestra la secuencia de limpieza del primer filtro.





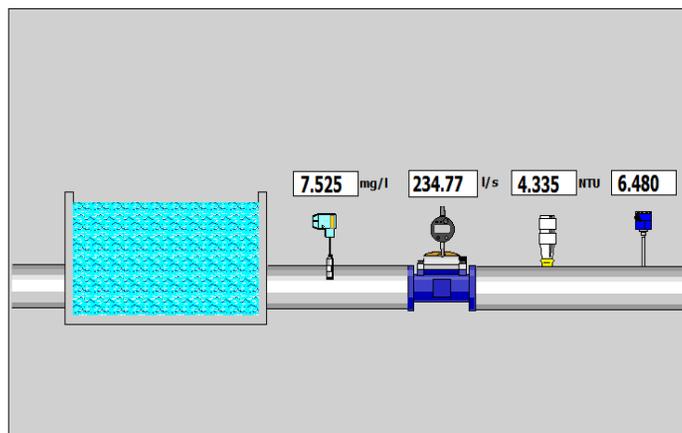
i)

Figura 82. Secuencia de limpieza del primer filtro

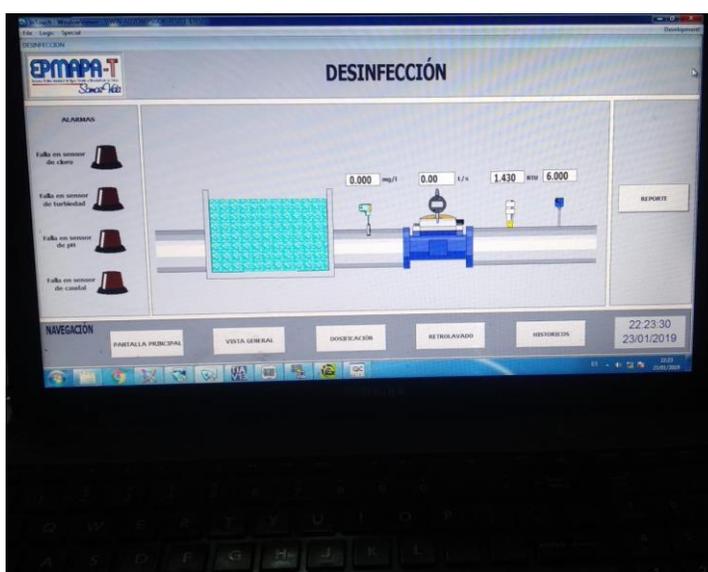
Nota: a) Cierre válvula entrada, b) Cierre válvula salida, c) Apertura válvula retrolavado, d) Apertura válvula desecho, e) Cierre válvula retrolavado, f) Cierre válvula desecho, g) Apertura válvula entrada, h) Apertura válvula salida, i) Secuencia de limpieza del primer filtro en la PC

- **Desinfección.**

Para las pruebas de la etapa de desinfección únicamente se considera la lectura de los sensores de turbiedad, pH, caudal y cloro. Por consiguiente, para las pruebas durante la simulación se modificó el valor de la entrada del sensor de turbiedad, pH, caudal y cloro para su posterior visualización en el HMI. En la **Figura 83** se muestra la secuencia la etapa de Desinfección.



a)



b)

Figura 83. a) Pruebas etapa desinfección, b) Pruebas etapa desinfección en PC

6.2. Resultados.

Realizadas las pruebas del funcionamiento de la etapa de dosificación y el proceso de retrolavado se evalúa cualitativamente el desempeño del proceso de tratamiento de agua mediante la visualización de las diferentes lecturas de los sensores y las activaciones de los actuadores que intervienen en el proceso filtración.

En la **Tabla 24** se describe el rango de medida de los sensores de turbiedad, PH y caudal y la precisión que requiere el proceso de tratamiento de agua cruda además de la lectura en el sistema de supervisión y monitorización.

Tabla 24

Resultados de las pruebas de lectura de los sensores en la etapa de dosificación

Sensor	Rango	Precisión	Lectura	
	Sensor	Requerida	SI	NO
Turbiedad [NTU]	0 - 15	1.43 – 4.4	X	
PH [U pH]	0 - 7	6.21 – 6.5	X	
Caudal [L/s]	0 – 1000	0 – 240	X	

En la **Tabla 25** se describe la secuencia de activación de las válvulas que componen el proceso de retrolavado en la etapa de filtración además de la lectura en el sistema de supervisión y monitorización.

Tabla 25

Resultados de las pruebas de la secuencia de activación de las válvulas

Válvulas	Activación		Lectura		Secuencia Activación Válvulas							
	Interruptor de Nivel		HMI		1	2	3	4	5	6	7	8
	SI	NO	SI	NO								
Entrada	X		X		C							A
Salida	X		X			C						A
Retrolavado	X		X				A		C			
Desechos	X		X					A		C		

Dónde: C representa a la válvula cerrada; A representa a la válvula abierta.

De los resultados de las pruebas de la lectura de los sensores en la etapa de dosificación y de la secuencia de activación de las válvulas en el proceso de retrolavado se evidencia que el sistema de tratamiento de agua potable cumple con la medición y supervisión de la planta que pretende disminuir los errores humanos.

- **Análisis Costo - Beneficio.**

El análisis de costo beneficio es importante para la toma de decisiones en cualquier tipo de empresa, organización o institución, además determina la viabilidad de un proyecto. Por consiguiente es necesario estimar en términos monetarios los costos y beneficios que presentará el diseño planteado, además es importante incorporar la mayor parte de información sobre el costo que involucra la decisión de automatizar la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán.

A continuación, en la **Tabla 26** y **Tabla 27** se presenta los costos que se serán necesarios para implementar la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de Tulcán, en la tabla 26 se indica los valores de los materiales que se utilizarán en base al estudio realizado y en la tabla 27 se muestra el costo de la mano de obra que se requerirá para llevar a cabo la implementación.

Tabla 26

Costos de materiales para la automatización de la planta

PROFORMA PARA AUTOMATIZAR			
Materiales	Precio Unidad (\$)	Cantidad (unidad)	Precio Total (\$)
Sensor Turbiedad	4036	2	8072
Sensor pH	368	2	736
Sensor Caudal	120	2	240
Sensor Cloro	455	1	455
Interruptor Nivel	15	6	90
Bomba Dosificadora	2016	3	6048
Actuadores Eléctricos	740	14	10360

CONTINUA 

Fuente 24 V	170	1	170
Disyuntor Diferencial	20	16	320
Contactador	40	14	560
Relés 110 V	8	20	160
Relés 24 V	10	14	140
Luz Piloto 110 V	2	14	28
Luz Piloto 24 V	2	3	6
Interruptor giratorio 2 Posición	22	14	308
Interruptor giratorio 2 Posición	22	3	66
PLC	1	5000	5000
Cable de UTP categoría 6 [m]	2	60	120
Tablero	1	100	100
Diseño	0	0	0
Elementos pequeños [Tornillo, etc.]			2000
		TOTAL	34979,00
		IVA 12%	4197,48
COSTO INVERSIÓN		TOTAL	39176,48

Tabla 27

Proforma personal de trabajo.

PROFORMA PERSONAL DE TRABAJO				
Mano de Obra	Gasto por Día (\$)	Meses	No. personas	Total (\$)
Comida	10	6	5	9000
Hospedaje	10	6	5	9000
Pasajes	2	6	2	720
Documentación	5	6	--	900
Sueldo	17	6	3	9180
Extras	20	6	--	3600
Transporte	20	6	2	7200
Sueldo Ingenieros	60	6	2	32400
			Total	72000

Una vez analizados los Valores Actuales de los Costos de inversión de implementación de la planta (Tabla 26 y Tabla 27), se procede a realizar el análisis de los Valores Actuales de los Ingresos totales de la planta mediante la **Tabla 28**, en la cual se presenta los gastos actuales de la

planta sin automatización. Cabe recalcar que para el costo de inversión se tomó como referencia de tiempo diez años, ya que para la mayoría de proyectos de infraestructura pública en transporte, energía, agua y saneamiento el horizonte temporal de referencia es al menos de diez y quince años.

Tabla 28

Proforma gastos actuales de la planta

PROFORMA ACTUAL			
Materiales y Personal	Costo Mes (\$)	Costo Año	Precio Total (\$)
Sueldo 5 Técnicos	600	12	7200
Desperdicio de Cal	25	12	300
Desperdicio de Sulfato	30	12	360
Desperdicio de Polímero	35	12	420
Costo Errores Fallas Humanas	100	12	1200
Multas por mal servicio	1	1500	1500
Mantenimiento	200	12	2400
COSTO INVERSIÓN		TOTAL	13380
Inversión por 10 años			133800

Nota: 10 a 15 años para proyectos de servicios.

Para realizar el análisis costo beneficio se plantea la relación costo-beneficio (B/C), conocida también como índice neto de rentabilidad, el cual es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingreso totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto.

$$B/C = \frac{VAI}{VAC}$$

Para que un proyecto sea rentable según el análisis costo – beneficio, la relación deberá ser mayor que la unidad. Para lo cual este estudio presenta los siguientes resultados según se indica en la **Tabla 29**

Tabla 29*Análisis de costo beneficio*

Análisis de costo beneficio	
Valor Actual Ingresos (VAI)	133800
Valor Costos Inversión (VAC)	122616,48
B/C = VAI/VAC	1,0912073
<i>B/C > 1 Significa que el proyecto es rentable</i>	
<i>B/C < 1 Significa que el proyecto no es rentable</i>	

Según el análisis de costo beneficio para la implementación del diseño de la automatización de la planta de tratamiento de agua potable resultó un proyecto rentable, puesto que la relación costo beneficio dio como resultado un número mayor que la unidad.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones.

Para la supervisión de la planta se diseñó un sistema SCADA que permite al departamento de calidad a cargo de la ingeniera química visualizar en tiempo real los parámetros de turbiedad, pH y caudal en la etapa de dosificación y desinfección, asegurando la calidad de los análisis de agua cruda y de agua tratada.

Las características de dosificación de polímero, sulfato y cal que requiere el tipo de agua cruda de Tulcán para su tratamiento y el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle para el sistema de control en capítulos anteriores permitió determinar que el control por relación es la opción viable en comparación a otro tipo de control ya que permite dosificar cantidades determinadas para valores de turbiedad y pH que no requiere que ajuste sus parámetros de dosificación continuamente.

Para asegurar la limpieza eficiente de los filtros se diseñó una lógica de control ON – OFF que permite la apertura y cierre de válvulas según el set point o nivel de agua de cada filtro, disminuyendo la necesidad de asistencia por parte de los técnicos durante el mantenimiento de los filtros, lo cual representa la reducción del error humano producido por falta de supervisión e intervención.

El diseño de la Interfaz Humano Máquina de la planta funciona como interfaz entre el proceso y los operadores brindando información relevante del proceso al personal de la planta y evitando errores de medición del operador o instrumento de medidas analógicos.

El desarrollo del diseño de la ingeniería conceptual, básica y de detalle permitió solventar los requerimientos pedidos por la gerencia general de EPMAPA – T ya que el diseño de la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de Tulcán se adapta a un plan maestro

de ampliación y re-estructuración del sistema de agua potable que al momento se encuentra en la fase de estudios.

El estudio realizado puede ser implementado en base a lo diseñado en capítulos anteriores para lo cual se ha elaborado diagramas P&ID, multifilares eléctricos, diseño de tablero de control, selección de sensores y actuadores, selección y programación del controlador, además presentando el software de control ya configurado junto con las interfaces elaboradas y listas para la implementación.

7.2. Recomendaciones.

En base al análisis de costo beneficio se recomienda la implementación de la automatización de la planta por etapas, iniciando por la etapa de dosificación que requiere de menor inversión de recursos económicos.

La automatización de la planta de tratamiento de agua potable constituye un marco de referencia para el plan maestro de ampliación y reestructuración del Sistema de Agua Potable de la ciudad de Tulcán por tanto se recomienda que este estudio sea la base para una futura implementación de nuevas tecnologías en el Sistema de Agua Potable de la ciudad.

El sistema SCADA diseñado para la planta de tratamiento de agua debe orientarse no solo hacia la supervisión de los procesos, sino también como instrumento de planificación y toma de decisiones para el mantenimiento más específico.

Es necesario realizar un programa de capacitación sobre el manejo de la Interfaz Humano Máquina y la implementación de sensores y actuadores en la planta de tratamiento para que tenga un buen uso de la herramienta de supervisión y monitoreo como medio de incorporación entre los ingenieros, personal técnico y la planta.

Para una futura implementación de la automatización de la planta de tratamiento de agua se recomienda que la instalación y puesta en marcha del sistema lo realice personal técnico capacitado en el área de automatización.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Luna, M. A., & Robles Reyes, R. S. (2016). *Diseño e Implementación de las Interfaces Humano Máquina y SCADA para el Sistema HAS-200 V1.0 del Laboratorio de Manufactura Integrada por Computador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- AUMA Actuators. (2018). *AUMA Solutions for a world in motion*. Obtenido de <http://www1.auma.com/>
- Camino, A. (2015). *Ingeniería Conceptual Básica y de Detalle para la automatización del Sistema de Conducción de Aguas de la EPAM*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Chico, L. (2015). *Sistema Inalámbrico para el control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Baños*. Universidad Técnica de Ambato.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (pág. 105). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (pág. 157). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (pág. 105). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (pág. 162). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (pág. 195). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (págs. 215-216). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (págs. 366-367). México: Alfaomega.
- Creus Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. En A. Creus Solé, *Instrumentación Industrial* (págs. 370-371). México: Alfaomega.
- Dordogne, J. (2015). *Redes Informáticas*. Barcelona: Eni.
- Emerson. (2018). *Emerson*. Obtenido de <https://www.emerson.com/es-es/automation/rosemount>

- IWAKI America Inc. (2018). *The Heart of Industry IWAKI*. Obtenido de <https://www.iwakiamerica.com/>
- J. Francisco Méndez, J. C. (2014). *Gobierno Municipal de Tulcán*. Obtenido de <https://www.gmtulcan.gob.ec/municipio/es/PDyOT%202015-2019.pdf>
- López, D., & Sánchez, G. (2008). *Diseño e Implementación del Sistema SCADA para el dosificador de polímero de la planta de tratamiento de agua potable del Casigama de EMAPA*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Mier Mier, G. (2010). *Determinación de sobre voltajes temporales y en maniobras en el anillo de 230 kV del SNI*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Municipio de Tulcán*. (2015). Obtenido de <https://www.gmtulcan.gob.ec/municipio/es/PDyOT%202015-2019.pdf> [Último acceso: 28 02 2018]. (J. Francisco Méndez, 2014)
- Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna. En K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna* (págs. 1-11). Madrid: Pearson.
- Panesso, J., & Ceballos, J. (2014). *Automatización de plantas de tratamiento de agua*. Colombia: Energía y Computación, Volumen IV, No. 2.
- PDyOT. (2015). *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA1/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/CARCHI/TULCAN/INFORMACION_GAD/04%20CANTON%20TULCAN/PDOT_CANT%C3%93N%20TULC%C3%81N/TOMO%201/08%2001%20DS%20SAH%20b%20CANT%C3%93N%20TULC%C3%81N%20466%20-%20502%20RIM.pdf.
- Pérez López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha*, 3-14.
- Ponsa, P., Díaz, M., & Catalá, A. (2010). Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz de supervisión.
- Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Marcombo.
- Rodriguez, A. (2007). *Sistemas SCADA*. México.

- Rosero Castillo, R. (2010). *SCADA del Sistema de Distribución de agua potable de la empresa pública Metropolitana de agua potable y saneamiento*. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento.
- Siemens AG. (2018). *Siemens España*. Obtenido de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/pages/scada.aspx>
- Spain, W. (2018). *Wonderware Spain*. Obtenido de <http://www.wonderware.es/hmi-scada/intouch/>
- Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2012). Redes de computadoras. En A. S. Tanenbaum, & D. J. Wetherall, *Redes de computadoras* (págs. 77-88). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Vásconez Endara, G. P., & Zurita Arnedáriz, D. M. (2016). *Automatización de procesos de tratamiento de agua y mejora del Scada de la Planta de tratamiento Puengasí - EPMAPS*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

ANEXO A

DIAGRAMA ELÉCTRICO DE TABLERO DE CONTROL

ANEXO B

PROGRAMACIÓN DEL PLC

ANEXO C

CALCULO DE DIMENSIONAMIENTO