



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN PARA UNA PLANTA  
DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE COMO  
PARTE DE UN SISTEMA SCADA EN LA CIUDAD DE CUENCA**

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

**AUTORES: GABRIEL FERNANDO BRITO TOROMORENO  
EDGAR MANUEL MATUTE TAPIA**

**TUTOR: ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, PhD.**

Cuenca – Ecuador

2023

# **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Gabriel Fernando Brito Toromoreno con documento de identificación N° 0105881221 y Edgar Manuel Matute Tapia con documento de identificación N° 0105502918; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

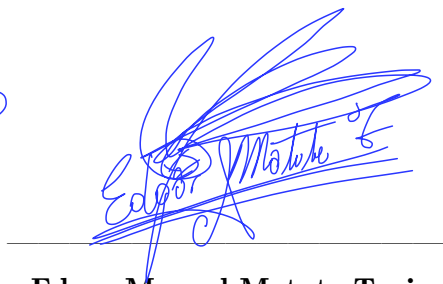
Cuenca, 26 de enero del 2023

Atentamente,



---

**Gabriel Fernando Brito Toromoreno**  
**0105881221**



---

**Edgar Manuel Matute Tapia**  
**0105502918**


# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Gabriel Fernando Brito Toromoreno con documento de identificación N° 0105881221 y Edgar Manuel Matute Tapia con documento de identificación N° 0105502918, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño de un sistema de monitorización para una planta de tratamiento y distribución de agua potable como parte de un sistema SCADA en la ciudad de Cuenca", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de enero del 2023


Atentamente,



---

**Gabriel Fernando Brito Toromoreno**

**0105881221**



---

**Edgar Manuel Matute Tapia**

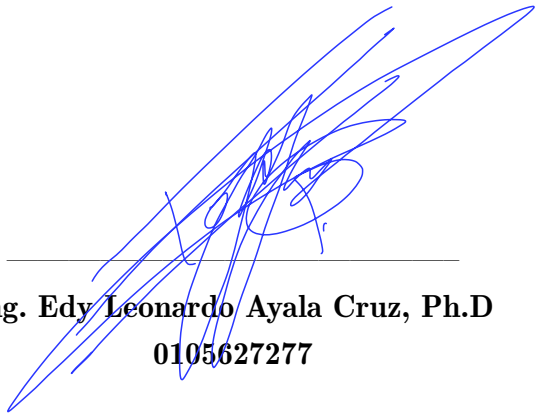
**0105502918**

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Edy Leonardo Ayala Cruz con documento de identificación N° 0105627277, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITORIZACIÓN PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE COMO PARTE DE UN SISTEMA SCADA EN LA CIUDAD DE CUENCA, realizado por Gabriel Fernando Brito Toromoreno con documento de identificación N° 0105881221 y Edgar Manuel Matute Tapia con documento de identificación N° 0105502918, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 26 de enero del 2023

Atentamente,



---

**Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz, Ph.D**  
**0105627277**

# Dedicatoria

## ***Gabriel Fernando***

Este proyecto de titulación está dedicado a mi familia, Blanquita, Fernando y Daniel, que me han apoyado incondicionalmente con su cariño, paciencia, esfuerzo y me han permitido alcanzar otra de mis metas. Les agradezco siempre ser mi pilar y enseñarme la constancia, valentía y esfuerzo.

También dedico este proyecto a todos los profesores y compañeros que, de alguna manera, formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo con consejos y orientación durante su realización.

## ***Edgar Manuel***

Este trabajo de titulación está dedicado a mis queridos padres, Gladys y Patricio, quienes con su amor y dedicación me han guiado a alcanzar esta meta. Sus enseñanzas y apoyo incondicional han sido fundamentales en mi camino hacia el éxito.

A ellos, quienes siempre han sido mi pilar y mi motivación, les dedico este trabajo con todo mi cariño y gratitud. Agradezco su constancia, valentía y esfuerzo en enseñarme a ser una mejor persona.

También quiero dedicar este trabajo a todas las personas que me brindaron su apoyo en este proceso. Sin su colaboración no habría podido llegar hasta aquí. Este logro es también una muestra de su generosidad y dedicación. A todos, les estaré eternamente agradecido.

# Agradecimientos

## ***Gabriel Fernando***

Expreso mi gratitud a Dios por permitirme gozar de buena salud, fuerza y sabiduría para alcanzar mi anhelado objetivo de completar mi carrera.

Agradezco especialmente a mis padres Blanquita y Fernando por su amor, paciencia, comprensión y apoyo en todas mis decisiones, por estar siempre al lado mío, guiándome y acompañándome en cada paso, especialmente en los largos días de estudio, cuya compañía, consejos y abrazos me dieron la motivación para seguir adelante y lograr mis metas.

Agradezco al tutor de mi proyecto de titulación, Ing. Edy Ayala, por su dedicación y esfuerzo en brindarme su apoyo, orientaciones y conocimientos, y por su paciencia en el proceso.

También estoy agradecido con los profesores y mis compañeros, quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y resolver cualquier duda que tuviera.

A todos ustedes, mil gracias.

## ***Edgar Manuel***

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte de este proceso de titulación.

En primer lugar, a mi familia, quienes siempre han sido mi pilar y mi motivación. A mis padres, Gladys y Patricio, por su amor incondicional y apoyo constante. A mis hermanos, por estar siempre ahí para mí y por hacerme reír en los momentos difíciles.

Asimismo, quiero agradecer a nuestro tutor, el Ing. Edy Ayala, por su colaboración y guía. Igualmente, al Ing. Cristian Cobos, por brindarme las oportunidades y herramientas necesarias para completar este trabajo.

Y a todas las personas que me han ayudado y apoyado en el camino, estoy profundamente agradecido por su colaboración. Sin su ayuda, no habría podido lograr esta meta. Les agradezco de todo corazón.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X



# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Descripción del problema . . . . .	4
2.3. Importancia y alcances . . . . .	6
2.4. Delimitación . . . . .	7
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	7
2.4.2. Temporal . . . . .	7
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	7
2.5. Problema general . . . . .	7
2.6. Problemas específicos . . . . .	7
<b>3. Objetivos</b>	<b>8</b>
3.1. Objetivo general . . . . .	8
3.2. Objetivos específicos . . . . .	8
<b>4. Hipótesis</b>	<b>8</b>
4.1. Hipótesis general . . . . .	8
4.2. Hipótesis específicas . . . . .	8

<b>5. Marco teórico</b>	<b>9</b>
5.1. Procesos de una planta potabilizadora de agua. . . . .	9
5.1.1. Captación . . . . .	9
5.1.2. Saneamiento . . . . .	10
5.1.3. Almacenamiento . . . . .	12
5.1.4. Red de tuberías o conducción de agua . . . . .	13
5.1.5. Medición y control de suministro de agua . . . . .	15
5.2. Estructura del sistema SCADA . . . . .	16
5.2.1. Prestaciones . . . . .	17
5.2.2. Sistema de control . . . . .	18
5.2.3. Controlador lógico programable (PLC) . . . . .	19
5.2.4. Human machine interface (HMI) . . . . .	20
5.2.5. Sensores . . . . .	21
5.2.6. Protocolo de comunicación . . . . .	22
5.2.7. Protocolo de comunicación MODBUS . . . . .	22
5.2.8. Software de programación TIA PORTAL . . . . .	25
5.2.9. Comunicacion de antenas . . . . .	25
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>28</b>
6.1. Metodología de la investigación . . . . .	28
6.2. Metodología del proceso . . . . .	28
6.2.1. Identificar las variables de un sistema de distribución de agua potable convencional de las JAAP del cantón Cuenca. . . . .	28
6.2.2. Diseñar el sistema de monitoreo como parte del SCADA de las variables identificadas . . . . .	47
6.2.3. Realizar pruebas en el sistema de monitoreo de la distribución de agua potable . . . . .	71
<b>7. Resultados</b>	<b>82</b>
<b>8. Cronograma y actividades</b>	<b>97</b>
<b>9. Presupuesto</b>	<b>98</b>
9.1. Talento Humano . . . . .	98
9.2. Recursos Materiales . . . . .	98

<b>10. Conclusiones</b>	<b>99</b>
<b>11. Recomendaciones</b>	<b>100</b>
<b>Referencias</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>104</b>

## Lista de Tablas

1.	ID de alarmas según si tipo y clase . . . . .	51
2.	Tabla de configuración de alarmas según su tipo . . . . .	54
3.	Permisos . . . . .	61
4.	ID para la conexión Profibus según el sector . . . . .	64
5.	Datos de expotación para caudalímetros y totalizadores . . . . .	68
6.	Datos de expotación para nivel de tanque . . . . .	68
7.	Formato de informe de expotación de datos . . . . .	71
8.	Informe valores de Caudal. . . . .	93
9.	Informe valores de Nivel. . . . .	94
10.	Informe Alarmas. . . . .	95
11.	Comparativa del sistema de potabilización previo al diseño y simulación. . .	96
12.	Presupuesto talento humano. . . . .	98
13.	Presupuesto recursos. . . . .	98
14.	Pámetros de análisis, agua por tuberías . . . . .	106
15.	Pámetros de análisis, nivel de agua en tanques de almacenamiento . . . . .	106
16.	Criterios de selección para sensor de presión hidrostático . . . . .	107
17.	Criterios de selección para sensor de caudal . . . . .	107

## Lista de Figuras

1.	Esquema de Captación de Aguas Superficiales. . . . .	10
2.	Esquema de Sanitización del Agua. . . . .	11
3.	Esquema Reservorio Conveccional. . . . .	13
4.	Red de Distribución Abierta. . . . .	14
5.	Red de Distribución Cerrada. . . . .	15
6.	Sistema SCADA. . . . .	17
7.	Esquema de Control. . . . .	19
8.	Esquema PLC. . . . .	20
9.	Esquema HMI. . . . .	21
10.	Puerto RS232. . . . .	24
11.	Antena Direccional. . . . .	26
12.	Antena Omnidireccional. . . . .	27
13.	Ubicación geográfica. . . . .	29
14.	Ubicación de JAAPs en Azuay. . . . .	30
15.	Ubicación de JAAPs en Cuenca. . . . .	31
16.	Ejemplo del esquema del SECTOR A. . . . .	33
17.	Ejemplo del esquema del SECTOR B. . . . .	34
18.	Ejemplo del esquema del SECTOR C. . . . .	35
19.	Ejemplo del esquema del SECTOR D. . . . .	36
20.	Sistema de Distribución. . . . .	37
21.	Puntos de Monitoreo. . . . .	39
22.	Diagrama red de comunicacion SCADA. . . . .	41
23.	SITRANS MAG 5100 + Transmisor MAG 6000. . . . .	42
24.	SITRANS LH100. . . . .	43
25.	PLC S7-1200 + Módulos RS 232/485 . . . . .	44
26.	HMI KTP 300. . . . .	44
27.	MikroTik LHG5. . . . .	45
28.	MikroTik Routerboard. . . . .	46
29.	Red SCADA. . . . .	47
30.	Ejemplo de la ventana de ubicación . . . . .	48
31.	Ventana de sectorizada . . . . .	48
32.	Topología de red . . . . .	49
33.	Ejemplo de la ventana arquitectura . . . . .	49

34.	Secuencia de eventos y alarmas, entre el evento generador, el PLC y el sistema SCADA . . . . .	50
35.	Indicadores visuales del entorno arquitectura . . . . .	52
36.	Indicadores visuales del entorno de zona . . . . .	52
37.	Indicadores visuales del entorno de zona . . . . .	53
38.	Indicadores visuales HMI KTP300 . . . . .	53
39.	Indicadores visuales HMI KTP300 . . . . .	54
40.	Diagrama de flujo para caudal máximo . . . . .	55
41.	Diagrama de flujo para caudal mínimo . . . . .	56
42.	Diagrama de flujo para nivel máximo . . . . .	57
43.	Diagrama de flujo para nivel mínimo . . . . .	58
44.	Flujo datos entre sectores . . . . .	58
45.	Diagrama de flujo de ordenamiento para configuraciones . . . . .	59
46.	Diagrama de flujo de ordenamiento para configuraciones . . . . .	60
47.	Módulo de cálculo de nivel . . . . .	62
48.	Conexión Profibus . . . . .	63
49.	Módulo de inicialización Profibus. . . . .	65
50.	Módulo de maestro Profibus. . . . .	66
51.	Módulo esclavo para suministrar datos. . . . .	66
52.	Ventana de Tablas . . . . .	69
53.	Ventana de Curvas . . . . .	70
54.	Procedimientos de una célula de revisión . . . . .	72
55.	Procedimientos de la pantalla KPT300 . . . . .	72
56.	Topología de red . . . . .	73
57.	Prueba PLC señal analogica. . . . .	74
58.	Prueba PLC señal analogica y Srvidor. . . . .	75
59.	Tablero de revisión. . . . .	76
60.	Caudalímetros. . . . .	77
61.	Conexión Caudalímetros. . . . .	78
62.	Pruebas sobre sector B. . . . .	78
63.	Datos obtenidos caudalímetro. . . . .	79
64.	Comunicación entre PLCs. . . . .	80
65.	Bloque contador de Datos. . . . .	80
66.	Bloque envío de Datos. . . . .	81
67.	Bloque recepción de datos. . . . .	81

68.	Funcionamiento HMI . . . . .	82
69.	Visualizacion Ubicacion de la Planta. . . . .	83
70.	Visualizacion Ubicacion de la Planta. . . . .	84
71.	Visualización del sistema de Distribucion. . . . .	85
72.	Visualizacion del sistema de Distribucion. . . . .	86
73.	Registro Alarmas. . . . .	87
74.	Grafica de Curvas. . . . .	88
75.	Tabla de Historicos. . . . .	89
76.	Red de Comunicación. . . . .	90
77.	Seguridad y Usuarios. . . . .	91
78.	Inicio de Sesión. . . . .	91
79.	Configuracion de Valores Maximos y Minimos. . . . .	92

## Resumen

**E**l presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un sistema de monitoreo para medir y transmitir los niveles y caudales de agua en varios puntos de medición. Se ha adoptado un enfoque cuantitativo y aplicado, con un diseño de campo que ha tenido en cuenta las variables del proceso de distribución y almacenamiento de agua potable. El sistema diseñado recolecta los datos de caudal y nivel de agua de múltiples sensores ubicados en 4 zonas diferentes, las cuales están comunicadas mediante antenas y los datos son observados y recopilados en el servidor central. Como resultado, se ha obtenido un sistema de monitoreo que recolecta señales de 13 caudalímetros y 4 sensores de nivel, controlados desde 4 centros de monitoreo, los cuales envían los datos a un centro de revisión central desde donde se pueden visualizar las alarmas, los datos, los fallos, los gráficos de los datos y las tablas respectivas. El sistema SCADA fue realizado en el programa TIA PORTAL V16, en el cual se ha llevado a cabo con éxito el levantamiento del sistema de revisión central y los 4 subsistemas de revisión en cada zona.

**Palabras clave:** SCADA, monitoreo, sistema de distribución de agua, caudal, nivel de agua.



## Abstract

The present thesis aims to design a monitoring system to measure and transmit water levels and flow rates at various points of measurement. A quantitative and applied approach has been adopted, with a field design that has taken into account the variables of the distribution and storage of potable water process. The designed system collects flow and water level data from multiple sensors located in 4 different zones, which are communicated by antennas and the data is observed and collected on the central server. As a result, a monitoring system has been obtained that collects signals from 13 flowmeters and 4 level sensors, controlled from 4 monitoring stations, which send the data to a central verification department where alarms, data, failures, data graphics, and their respective tables can be monitored. The SCADA system was implemented in TIA PORTAL V16 software for the substations measurements tracking.

**Keywords:** SCADA, monitoring, water distribution system, water flow rate, and water level.

# 1. Introducción

**E**n las últimas décadas, se ha notado un aumento en la necesidad de servicios de agua potable debido al crecimiento de la población y el desarrollo urbano. Para responder a esta necesidad, las plantas de tratamiento de agua potable se esfuerzan por mantenerse actualizadas y al día con las demandas de la comunidad. Sin embargo, estas plantas enfrentan varios desafíos en su operación y en el servicio de agua potable que brindan debido a su infraestructura limitada y a la falta de automatización en su proceso de operación. Estos desafíos incluyen pérdidas de agua en las tuberías, presión insuficiente para la distribución, falta de información sobre las variables del proceso de captación y distribución, tales como caudal, nivel, presión y volumen. Estos problemas han generado una productividad limitada y costos elevados en el servicio de agua potable.

Para solucionar estos problemas, las plantas de tratamiento de agua potable buscan implementar tecnologías modernas en sus sistemas, como dispositivos electrónicos avanzados, controladores lógicos, antenas de comunicación e interfaces gráficas. Estas herramientas son programables y se actualizan periódicamente para adaptarse a las necesidades de operación. La implementación de esta tecnología mejora el desempeño del servicio, lo que se refleja en una mayor calidad, una mayor eficiencia y una reducción de costos.

El manejo de la información es crucial en una planta de tratamiento de agua potable, ya que permite recopilar datos durante las operaciones realizadas para brindar el servicio. Estos datos pueden incluir variables como el tiempo, el caudal, el nivel, la presión y el volumen. Los operadores utilizan esta información para tomar acciones inmediatas que optimizan el rendimiento de la planta. Además, los datos también son utilizados para supervisar y gestionar el funcionamiento de las operaciones.

Para automatizar una planta de tratamiento, se utiliza el sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), que es uno de los sistemas más populares en la industria. Este sistema consiste en un software que permite controlar y supervisar los procesos industriales de forma remota. El SCADA facilita la retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo y controla el proceso automáticamente. Los beneficios de utilizar este sistema incluyen escalabilidad, flexibilidad y la posibilidad de incrementar la productividad mediante una gestión en tiempo real.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

En la ciudad de Cuenca, la mayoría de la población residente (97%) tiene acceso al sistema de agua potable, con un total de 536.000 usuarios (EP, 2023). Sin embargo, con el aumento de la población y la expansión de la ciudad a áreas circundantes, muchas de estas nuevas áreas no están conectadas al sistema de agua potable de la ciudad. Para abordar este problema, se crearon las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) para proporcionar servicios de agua potable a las áreas recientemente desarrolladas en las parroquias del cantón de Cuenca. Estos sistemas se construyeron con recursos limitados y poca inversión, por lo que su operación es completamente manual. A medida que el sistema crece, se plantea la necesidad de implementar innovaciones en el futuro.

En respuesta a las necesidades de las JAAP en el cantón Cuenca para crecer e implementar nuevas tecnologías, con el fin de mejorar el funcionamiento y la calidad del servicio, se ha llevado a cabo el proyecto de diseñar un sistema de monitoreo SCADA como primera fase para la automatización de las plantas de tratamiento y tanques de reserva del sector. Este proyecto incluye la implementación de sensores de nivel, caudalímetros, programación de PLCs y conexión de redes para la comunicación, todo con el objetivo de mejorar e innovar el sistema; a continuación, se muestra un resumen de varios estudios que se han realizado sobre el tema:

Gómez Pauta (2010) concluye que la factibilidad de mejorar la tecnología de operación de las compuertas implementando dispositivos PLC en la instrumentación del sistema, optimiza el rendimiento, reduciendo las fallas de operación, costos de operación y mantenimiento.

Palacios Ochoa y Trelles Cabrera (2018) determina la viabilidad de la implementación de un SCADA para la transmisión y control del flujo de agua que se suministra en los hogares, con el fin de reducir el consumo de agua y el costo del servicio; así también desarrollando una plataforma web donde se visualiza en tiempo real los valores de consumo para realizar la acción de corte y reconexión de servicios.

Balón Quinde (2018) se comprueba el funcionamiento eficaz y el propósito de tratar la fruta contra la plaga, el sistema SCADA implementado permite visualizar, controlar, monito-

rear y registrar las variables más importantes del proceso de la planta, la aplicación se ha implementado de tal manera que es amigable con el usuario asegurando calidad y confiabilidad.

Rosero Castillo (2010) concluye que los beneficios principales se encuentran en el ahorro de agua al eliminar los desbordamientos de los tanques debido a la regulación de caudales, y también debido a una reducción de eliminación del agua por presiones bajas en el sistema durante la noche. Por consiguiente se obtiene una reducción del personal operativo necesario y su mantenimiento; el sistema SCADA brinda la posibilidad e automatización reduciendo los costes antes mencionados generando en si una optimización sobre el proceso.

Chico Analuisa (2015) concluye que después del análisis un sistema SCADA es la mejor solución para la problemática. La supervisión del proceso, su conexión inalámbrica y el control sobre los equipos de la red permite el monitoreo necesario. Además, el sistema realizado permitió generar una mejora significativa en el tratamiento de agua, optimizando recursos además de una mejor calidad en el servicio de suministro para la población.

Quishpe Estrada (2017) sostiene que una implementación de un sistema SCADA principalmente se enfoca en la optimización de recursos, instalaciones e instrumentación. El sistema presentado automatiza la recopilación de datos sobre en los elementos de almacenamiento, distribución y captación generando una reducción de personal en las actividades periódicas de revisión in-situ. Así también el monitoreo y recolección de datos permite la previsión sobre acciones correctivas de posibles problemas en el sistema, de esta manera previendo estos fallos se puede asegurar el abastecimiento de agua y reducción de pérdidas de tiempo y materia prima. La implementación de este sistema reduce costos, aumenta la producción y mejora satisfacción de los usuarios.

Eduardo Andrés Espinoza Ortega (2020) logra satisfactoriamente, mediante un sistema de monitoreo y control, supervisar y modificar la concentración de Manganeseo en el agua cruda, optimizando el proceso de sanitización del agua y mejorando su calidad, debido a que el proceso de eliminación de manganeseo es importante para el funcionamiento general de la planta, ya que el exceso de manganeseo en las tuberías genera atascos y paros de las operaciones. De igual forma si la dosificación de  $\text{KMnO}_4$  es excesiva, la planta sufrirá una disminución en su resistencia ya que corroe las tuberías y los mecanismos de las etapas de potabilización. Es por eso que se utilizaron dispositivos de medición y control adecuados disminuyendo la intervención del operador y cumple con el control preciso del químico resolviendo la necesidad

de la planta de Tixán.

En resumen, el uso de un sistema SCADA para el monitoreo y control de los sistemas de sanitización y distribución de agua potable es esencial para mejorar la eficiencia de las operaciones. Se ha demostrado que este sistema tiene múltiples beneficios, no solo para los administradores y trabajadores de la planta, sino también para los usuarios de la comunidad que consumen el servicio de agua potable en su día a día. La implementación de un sistema SCADA es fundamental para garantizar un servicio de calidad y seguridad en el suministro de agua potable.

## **2.2. Descripción del problema**

En el cantón Cuenca, se han construido diversas plantas de tratamiento de agua en distintos sectores y parroquias. Estas plantas, conocidas como Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP), son organizaciones lideradas por representantes de la comunidad o parroquia, con el objetivo de brindar servicios de saneamiento y distribución de agua potable a los residentes de la zona. A medida que el área se desarrolla y la población aumenta, se crean nuevas JAAP para brindar el servicio de potabilización de agua.

La importancia de estas plantas radica en su rol como garantes del suministro de agua potable a la comunidad, siendo responsables de la captación, tratamiento y distribución del agua a los residentes de la zona. Con el fin de cumplir con esta función, las JAAP cuentan con un plan operativo enfocado en la automatización total de los procesos relacionados con la captación, tratamiento y distribución de agua potable.

Actualmente, las plantas funcionan con operadores que supervisan las operaciones in situ para asegurar la ejecución de los procesos de potabilización, pero no cuentan con registros de datos sobre las variables críticas en el proceso de captación y distribución. Esta falta de información hace difícil llevar un control eficiente de los procesos y detectar posibles problemas en su operación.

Además, las JAAP carecen de un sistema de control o revisión que permita monitorizar los procesos en sus diferentes puntos de revisión. Esta falta de control ha generado problemas como pérdidas de agua en las tuberías, insuficiencia de presión para la distribución en las viviendas,

y niveles de tanques inadecuados que pueden ocasionar desbordamientos o desabastecimiento.

La falta de información sobre el caudal de entrada y salida también es un problema crítico en la operación de las JAAP. Sin conocimiento sobre el caudal de entrada necesario para el proceso de tratamiento, es difícil garantizar un tratamiento adecuado del agua. Además, la falta de información sobre el caudal de salida dificulta el registro del consumo en diferentes sectores, lo que puede generar problemas en la distribución del agua potable. Esto puede causar desabastecimiento en algunas áreas y sobreabastecimiento en otras, generando ineficiencias en el sistema.

Los problemas mencionados anteriormente, tienen como resultado una baja calidad en el servicio de agua potable, lo que a su vez genera insatisfacción entre los usuarios, pérdidas del líquido vital, interrupciones frecuentes del sistema y costos elevados debido al uso excesivo de personal para la supervisión, control y mantenimiento de la planta.

La insatisfacción de los usuarios puede tener un impacto negativo en la imagen de la comunidad y en la economía local, ya que puede disuadir a potenciales inversionistas y turistas. Además, las pérdidas de agua pueden generar escasez y aumentar los costos de producción para las industrias locales. Las interrupciones del sistema también pueden generar problemas para la comunidad, especialmente en caso de emergencias o situaciones climáticas extremas, donde el acceso al agua potable es esencial.

El uso excesivo de personal para la supervisión, control y mantenimiento de la planta también puede generar costos elevados, ya que se requiere un gran número de operadores para asegurar el correcto funcionamiento de la planta y en muchos de los casos se puede dar errores por el factor humano.

Es por lo anterior, que se ha considerado necesario mejorar la planta de tratamiento, con el fin de solucionar las limitaciones y dificultades en su operación y garantizar un servicio de alta calidad en la distribución de agua potable a los residentes de la zona. La implementación de sistemas de control y monitoreo, así como la automatización de los procesos, pueden ayudar a mejorar la eficiencia y la calidad del servicio de agua potable.

Las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) en el cantón Cuenca juegan un papel crucial en el suministro de agua potable a la comunidad, pero enfrentan problemas en su operatividad debido a la falta de un sistema de control y monitoreo adecuado. Estos

problemas han llevado a una disminución en la calidad del servicio de agua potable, insatisfacción entre los usuarios, pérdidas de líquido vital, interrupciones del sistema y costos elevados. Es por ello por lo que se ha considerado necesario mejorar la planta de tratamiento, para garantizar un servicio de alta calidad en la distribución de agua potable a los residentes de la zona.

### **2.3. Importancia y alcances**

El proyecto de monitoreo y control de las plantas de tratamiento de agua en el cantón Cuenca tiene una importancia significativa debido a la necesidad de garantizar un servicio de alta calidad en la distribución de agua potable a los residentes de la zona. La modernización y mejoramiento de las plantas existentes es esencial para solucionar las limitaciones y dificultades en su operación y reducir las pérdidas de líquido vital.

La falta de un sistema de monitoreo y control adecuado ha generado problemas como pérdidas de agua en las tuberías, presión insuficiente para la distribución en las viviendas, niveles de tanques inadecuados, falta de información sobre el caudal de entrada y salida necesario para los procesos de tratamiento y distribución. Estos problemas han llevado a una disminución en la calidad del servicio de agua potable, insatisfacción entre los clientes, interrupciones frecuentes del sistema y costos elevados.

El proyecto busca diseñar un sistema de monitoreo SCADA para las JAAP de las parroquias del cantón Cuenca, con el fin de satisfacer la necesidad de la población, que se encuentra en constante crecimiento, de consumir el líquido vital en su vida diaria, sin contratiempos o paros en el servicio. La implementación de dispositivos electrónicos programables de última generación permitirá automatizar y monitorear las operaciones de las plantas, mejorando la eficiencia y calidad del servicio de agua potable.

El alcance de este proyecto se basa en diseñar un sistema de monitoreo SCADA a una red de distribución de agua convencional para las JAAP de las parroquias del cantón Cuenca, con el fin de satisfacer la necesidad de la población, que se encuentra en constante crecimiento, de consumir el líquido vital en su vida diaria, sin contratiempos o paros en el servicio como antes mencionado era deficiente a los estándares actuales de calidad.

El proyecto de monitoreo y control de las plantas de tratamiento de agua en el cantón

Cuenca es esencial para garantizar un servicio de alta calidad en la distribución de agua potable y mejorar la calidad de vida de los residentes de la zona. La implementación de un sistema de monitoreo y control adecuado permitirá solucionar las limitaciones y dificultades en la operación de las plantas, mejorar la eficiencia y reducir las pérdidas de líquido vital. Además, permitirá la posibilidad de expandir el servicio de agua potable a nuevas áreas al conocer las demandas para cada sector de distribución.

## **2.4. Delimitación**

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

### **2.4.1. Espacial o geográfica**

El proyecto se realizará asumiendo condiciones de una de las parroquias de la ciudad de Cuenca.

### **2.4.2. Temporal**

El proyecto se llevará a cabo en un periodo de 7 meses.

### **2.4.3. Sectorial o institucional**

El proyecto se realizará para las Juntas Administradoras de Agua Potable de los alrededores de la ciudad de Cuenca.

## **2.5. Problema general**

- ¿Se podrá diseñar un sistema SCADA para el monitoreo del proceso de distribución de agua potable convencional para las JAAP del cantón Cuenca?

## **2.6. Problemas específicos**

- ¿Es posible identificar las variables del proceso para la medición y control del proceso de distribución del agua potable para las JAAP del cantón Cuenca?
- ¿Es posible diseñar el sistema SCADA para la adquisición de datos y monitoreo de las variables identificadas?



- ¿Se podrá realizar pruebas de simulación del sistema SCADA para el monitoreo del sistema de distribución de agua potable para las JAAP del cantón Cuenca?
- ¿Se logrará generar un prototipo para pruebas de campo que recolecte, guarde y monitorice los puntos de medición en tiempo real?

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

- Diseñar un sistema de monitoreo como parte de un SCADA, para cuantificar niveles y caudales en varios puntos de medición; y transmitir los datos a un centro de monitoreo.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las variables de un sistema de distribución de agua potable convencional de las JAAP del cantón Cuenca.
- Diseñar el sistema de monitoreo como parte del SCADA de las variables identificadas.
- Realizar pruebas del sistema de monitoreo como parte del SCADA de un sistema de distribución de agua potable convencional de las JAAP del cantón Cuenca.
- Generar un prototipo para pruebas de campo que adquiera, guarde y monitorice los puntos de medición en tiempo real.

### **4. Hipótesis**

#### **4.1. Hipótesis general**

- Se diseñará un sistema SCADA para el monitoreo del proceso de distribución de agua potable para las JAAP del cantón Cuenca.

#### **4.2. Hipótesis específicas**

- Se identificará las variables del proceso para la medición y control del proceso de distribución del agua potable para las JAAP del cantón Cuenca.

- Se diseñará el sistema SCADA para la adquisición de datos y monitoreo de las variables identificadas.
- Se realizará pruebas de simulación del sistema SCADA para el monitoreo del sistema de distribución de agua potable para las JAAP del cantón Cuenca.
- Se generará un prototipo para pruebas de campo que recolecte, guarde y monitorice los puntos de medición en tiempo real.

## **5. Marco teórico**

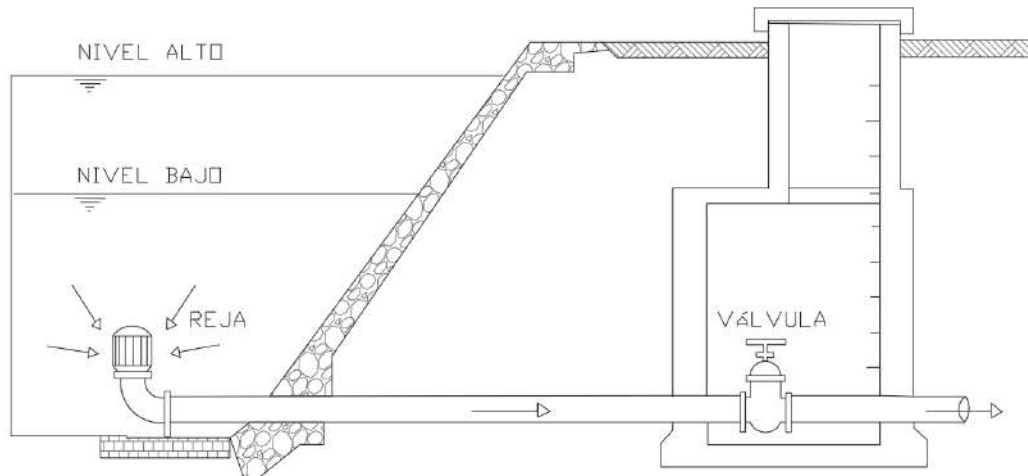
### **5.1. Procesos de una planta potabilizadora de agua.**

#### **5.1.1. Captación**

Para recolectar agua de fuentes superficiales como ríos, lagos y embalses, se construye una estructura en la superficie del terreno que permite aprovechar la fuente de agua. Esto se puede hacer mediante el uso de la gravedad o mediante bombeo. Una reja se utiliza para evitar la entrada de sólidos no deseados y el agua pasa a través de una tubería controlada por una válvula. El tamaño y las características de la estructura dependen de la cantidad de agua necesaria para la comunidad (Smet y Van Wijk, 2003).

**Figura 1**

*Esquema de Captación de Aguas Superficiales.*



**Nota:** Se puede visualizar un sistema de captación de agua que toma el líquido vital desde la parte inferior de la reserva conforme la apertura de la válvula.

### 5.1.2. Saneamiento

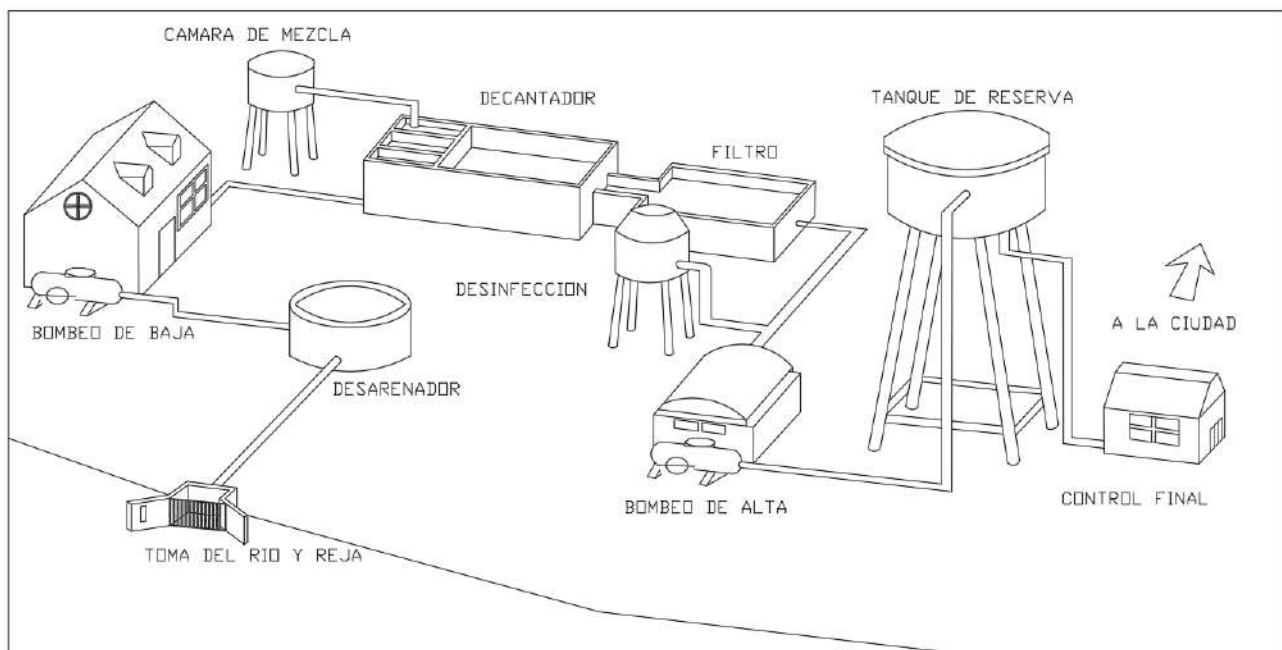
Después de extraer el agua de una fuente superficial (ríos, lagos, embalses) es necesario llevar a cabo un proceso de saneamiento para eliminar las impurezas o bacterias presentes en el agua natural, con el objetivo de hacerla apta para el consumo humano. De acuerdo a (BBVA, 2021) este proceso se lleva a cabo en las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP), las cuales se describen a continuación: .

- **Pretratamiento o Desarenador:** El primer paso en el proceso de saneamiento en una ETAP es la eliminación de los sólidos de gran tamaño, seguido de una pre-desinfección. Además, se separa la arena del agua para evitar dañar las bombas de la ETAP.
- **Coagulación-Floculación:** A continuación, se añaden los componentes químicos necesarios para purificar el agua y se ajusta el pH del agua (el parámetro que indica la alcalinidad o acidez de una solución).
- **Decantación:** Después, el agua pasa por un decantador donde mediante gravedad, separa las partículas en suspensión más densas que contiene el agua.

- **Filtración:** Luego, el agua se dirige a un sistema de filtración donde se capta y separa las partículas menos densas al pasar el agua a través de un medio filtrante poroso de diferentes tipos, como de arena o carbón activado, que pueden ser abiertos y por gravedad o cerrados y a presión.
- **Desinfección del Agua:** La desinfección se lleva a cabo mediante un agente desinfectante, el cloro es el más comúnmente utilizado, pero también se utilizan el dióxido de carbono, los rayos UV o el ozono. Sin embargo, este último sistema es más costoso y tiene la desventaja de que su efecto se evapora en un promedio de media hora.
- **Análisis:** Una vez que el proceso en la ETAP ha sido completado, el agua es analizada para verificar que ha sido tratada adecuadamente y cumple con las regulaciones del país en cuanto a sus características para ser considerada como agua potable.

**Figura 2**

*Esquema de Sanitización del Agua.*



**Nota:** Se puede visualizar el sistema de potabilización en sus diferentes etapas del proceso de potabilización hasta llegar al consumidor

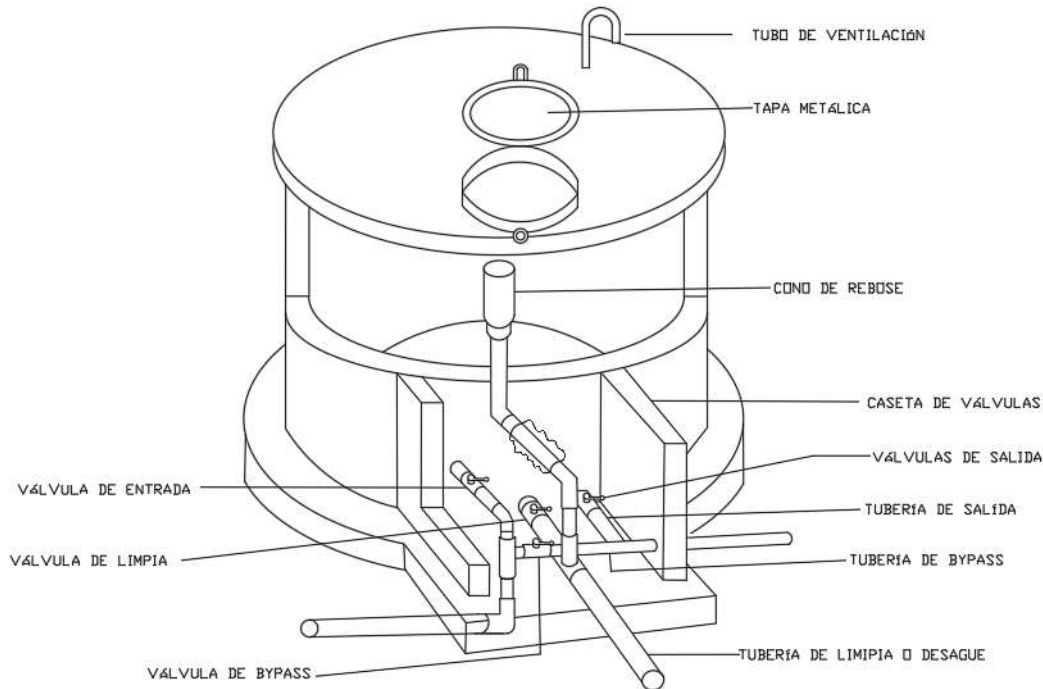
### **5.1.3. Almacenamiento**

Los establecimientos de almacenamiento, tales como tanques, torres, cisternas o reservorios, guardan el agua tratada antes de su distribución. También ayudan a estabilizar las variaciones o fluctuaciones en el volumen y calidad. Esto se consigue almacenando agua durante los momentos de poca demanda y que haya suficiente agua disponible durante los momentos de alta demanda. En general, los tanques de almacenamiento suelen estar situados en un lugar elevado para que el agua se distribuya mediante gravedad (Pérez, 2022).

El tanque de almacenamiento consta de dos componentes fundamentales: una es el recipiente para guardar el líquido y la otra es la cámara de control de flujo, puede ser fabricado con diferentes materiales, como concreto, fibra de vidrio, polietileno y acero. En la actualidad, se están utilizando con mayor frecuencia la fibra de vidrio y el polietileno debido a su resistencia a la corrosión y las fugas. El material elegido dependerá del tamaño, forma y costo del tanque (Fustamante, 2017).

### Figura 3

*Esquema Reservorio Convencional.*



**Nota:** Se puede identificar la estructura de un tanque reservorio, en el que se almacena agua potabilizada, en el que está implementado un sistema de rebosado.

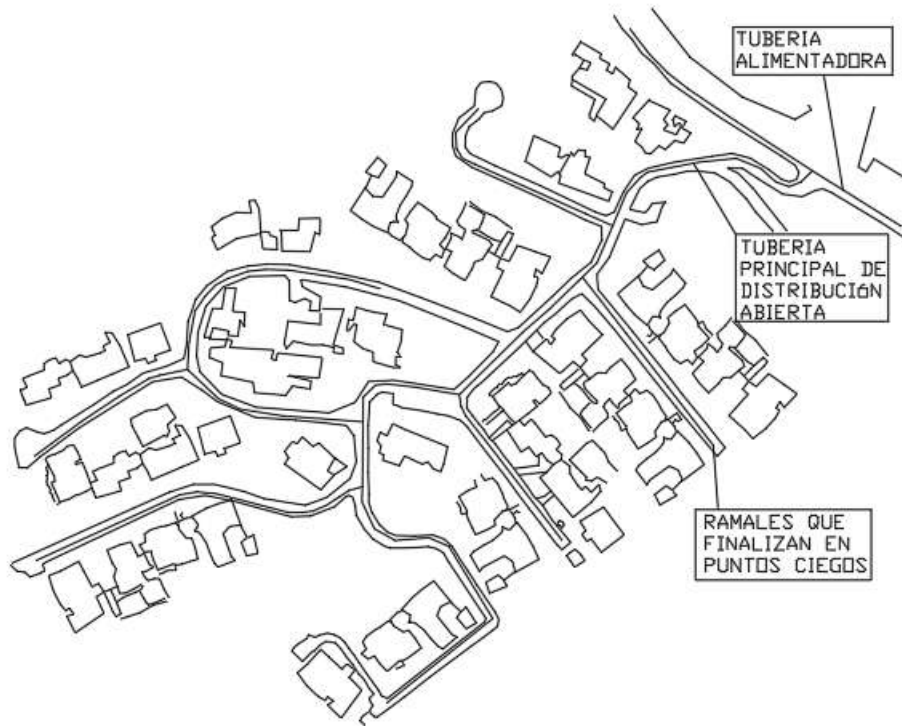
#### 5.1.4. Red de tuberías o conducción de agua

La red de distribución de agua potable es un sistema que agrupa a los accesorios, tuberías y estructuras de transporte del líquido vital desde los tanques de almacenamiento hasta los usuarios para sus diferentes usos, según (CNA, 2007). Existen dos tipos de diseño para esta red, que se utilizan dependiendo del tipo de operación que se requiera.

- **Red de Distribución Abierta.** El diseño de red de distribución en forma abierta se caracteriza por tener una tubería principal para la distribución de un gran diámetro desde la cual parten ramales que terminan en puntos ciegos. Este diseño es común en desarrollos urbanos donde el crecimiento se ha establecido a partir de una vialidad principal y calles ciegas. Este diseño es económico pero tiene una desventaja en caso de presentar alguna fuga, ya que el servicio se vería afectado a todos los usuarios de la red (Civil, 2022).

## Figura 4

*Red de Distribución Abierta.*

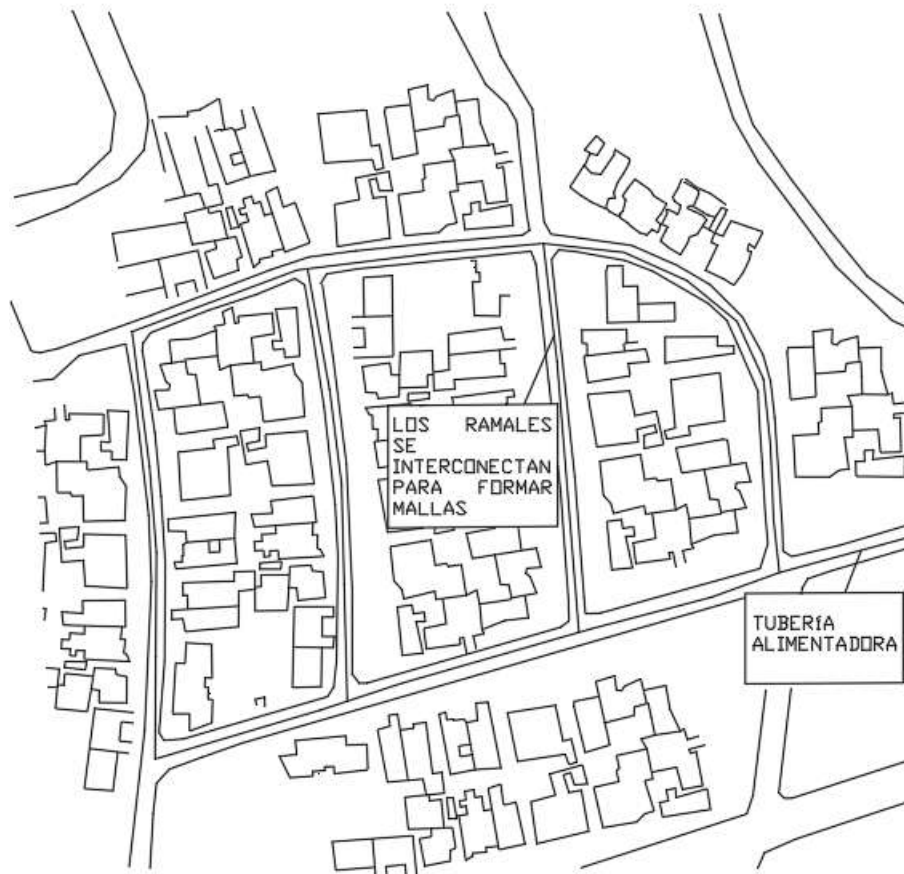


**Nota:** Se puede visualizar un ejemplo de distribución abierta en la cual existen terminaciones para sus ramales de distribución.

- **Red de Distribución Cerrada:** El diseño de red de distribución en forma cerrada es una configuración en la que se logra la conformación de mallas o circuitos a través de la interconexión entre los ramales. Una de las ventajas principales de este diseño es que es más eficiente y garantiza mejor servicio al público, ya que en caso de presentar alguna fuga, la cantidad de usuarios afectados será menor debido a las rutas alternas de flujo que se pueden establecer a través de las mallas que conforman la red (Civil, 2022).

## Figura 5

*Red de Distribución Cerrada.*



**Nota:** Se puede visualizar una distribución cerrada, en la cual sus ramales se encuentran empataados entre ellos, no teniendo terminaciones.

### 5.1.5. Medición y control de suministro de agua

Para llevar a cabo el monitoreo de la red de distribución de agua, se utilizan dispositivos de medición del flujo de agua llamados caudalímetros. Estos dispositivos registran variables importantes del proceso como la cantidad de caudal, la presión de agua, el volumen de consumo y la temperatura del fluido. Estos datos ayudan a los encargados del sistema a monitorear el rendimiento del sistema y detectar cualquier problema o irregularidad en el flujo de agua (Quishpe Estrada, 2017).



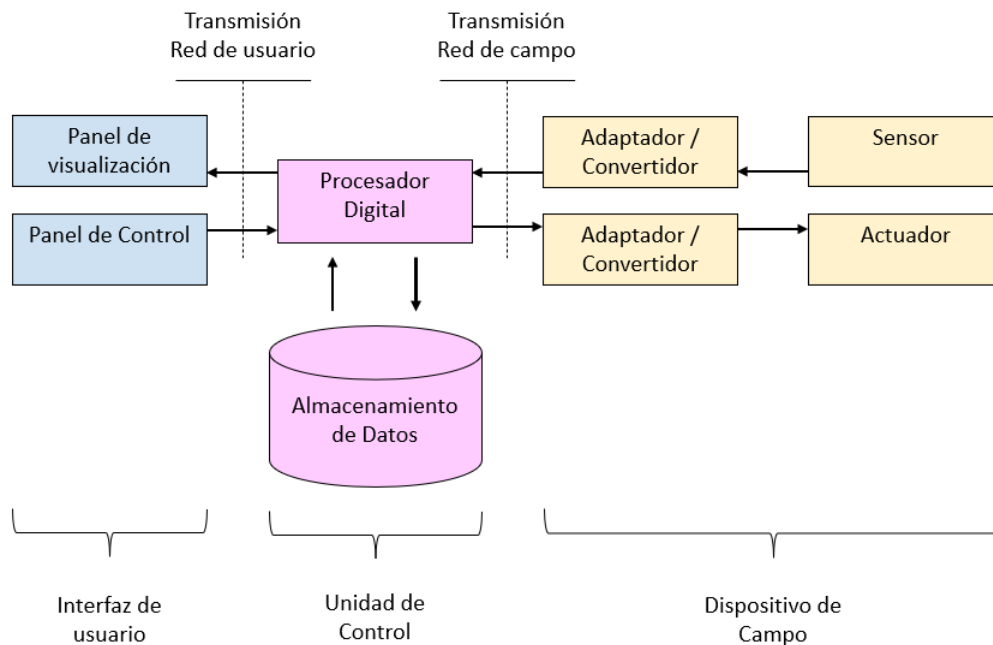
En el control del suministro de agua, se utilizan válvulas manuales o automáticas que permiten y detienen el flujo de agua en las tuberías. Es importante contar con un control para gestionar las variables de caudal, presión y nivel de acuerdo a las necesidades. También es una medida de seguridad para detener el flujo de agua en caso de fisuras o desbordamientos en la tubería, permitiendo realizar reparaciones y mantenimiento (Quishpe Estrada, 2017).

## **5.2. Estructura del sistema SCADA**

Un sistema SCADA es un sistema de supervisión y control automático que se comunica con los dispositivos de campo para recolectar datos y realizar un seguimiento del proceso. Es una aplicación software que se utiliza como interfaz entre los niveles de control (como los PLC) y el proceso, permitiendo que el proceso sea monitoreado y controlado de forma automática desde una computadora. Además, proporciona información del proceso a diferentes usuarios, como operadores, supervisores de control de calidad, supervisión y mantenimiento (Pérez-López, 2015).

**Figura 6**

*Sistema SCADA.*



**Nota:** Se puede visualizar el diagrama de bloques para un sistema SCADA en el que se exponen sus partes más significativas para el manejo de datos.

### 5.2.1. Prestaciones

El sistema SCADA tiene como objetivo proporcionar una interfaz fácil de usar entre el proceso y el operador, permitiendo una comunicación clara y eficiente. Esto se logra mediante un conjunto de funciones diseñadas específicamente para facilitar la monitorización y supervisión del proceso, permitiendo que el operador tenga una visión completa del mismo y pueda tomar decisiones informadas para mejorar su rendimiento, de acuerdo a Penin (2013). Las prestaciones que otorga este sistema son las siguientes:

- **Monitoreo:** Representación de datos en tiempo real de los diferentes procesos de la planta.
- **Supervisión:** Permite el mando, toma de datos de los diferentes procesos para la toma de decisiones

- **Adquisición de datos:** Permite el registro de valores obtenidos para poder realizar un análisis posterior.
- **Visualización de alarmas y eventos:** Permite reconocer eventos excepcionales producidos en la planta mediante la interfaz poniendo en conocimiento a los operarios con el fin de una corrección oportuna.
- **Seguridad de datos:** Restringe mediante software la información necesaria para cada grupo objetivo, sean estos operadores, mandos medios o administradores. Así también permite llevar un registro de accesos y acciones llevados a cabo por el usuario.
- **Programación numérica:** Permite la resolución de cálculos aritméticos llevados a cabo por el CPU con el fin de obtener métricas, espectros, comportamientos o estabilización de procesos, entre otros.
- **Comunicación:** La comunicación proporciona al operador la posibilidad de tener una interacción en tiempo real con el proceso, de manera bidireccional entre la Unidad Central y las unidades remotas mediante distintos medios como: cable coaxial, fibra óptica, radio enlace VHF, UHF, microondas

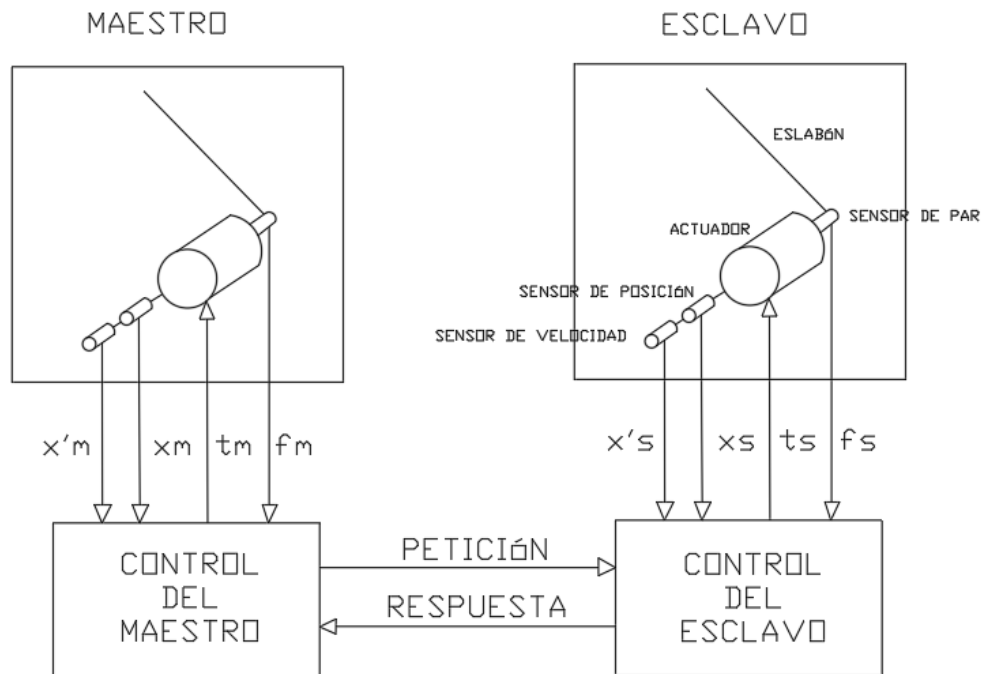
### 5.2.2. Sistema de control

- **Unidad terminal maestra:** Constituye el elemento que comanda la adquisición de datos, además de controlar y supervisar los procesos existentes en la planta. Entre sus funciones permite además el almacenamiento de datos históricos, programación y funciones específicas del proceso (Penin, 2013).
- **Unidad terminal remota:** Su función es la de obtener datos y enviarlos a la unidad terminal maestra. Este parte del proceso dispone de sensores, controladores, actuadores

que permiten la obtención de datos y el cambio de los parámetros sobre el proceso puntual al que la unidad está anclada (Penin, 2013).

**Figura 7**

*Esquema de Control.*



**Nota:** Se puede apreciar la obtención de información mediante un sistema de petición maestro-esclavo.

### 5.2.3. Controlador lógico programable (PLC)

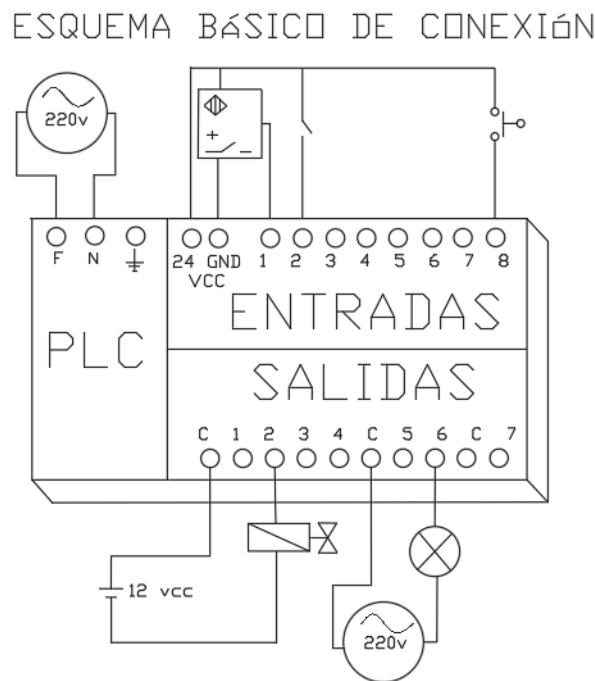
Un PLC es un dispositivo electrónico diseñado para el control de procesos en la industria. Utiliza una memoria capaz de almacenar instrucciones lógicas de manera secuencial y sincronizada además de realizar otras operaciones aritméticas y de comunicación. Este instrumento es fácilmente programable en diferentes lenguajes como KOP, FUP, GRAPHSET que permiten realizar la automatización y control de diferentes procesos en la industria.

Se le llama "Controlador Lógico" debido a que su programación se enfoca principalmente en la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación durante la ejecución del programa.

Los dispositivos de entrada (como sensores) y los dispositivos de salida (como motores) están conectados al PLC y el controlador monitorea la variación de estas entradas y salidas de acuerdo con el programa almacenado del proceso. Es el quién comanda la automatización, basada en la lógica programada, para tomar decisiones y controlar la maquinaria y los procesos (Bolton, 2006).

**Figura 8**

*Esquema PLC.*



**Nota:** Se aprecia el esquemático para una conexión de un plc destacando la alimentación, entradas y salidas del sistema.

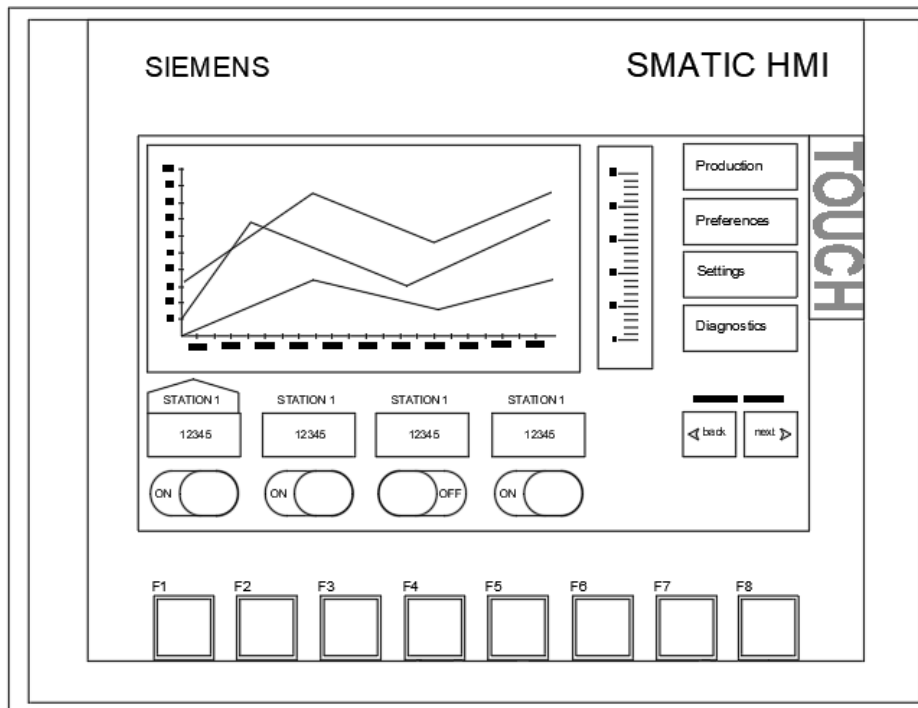
#### 5.2.4. Human machine interface (HMI)

Un dispositivo HMI es un medio de comunicación entre el sistema automatizado PLC y el usuario, que permite la visualización y el control de los datos esenciales del proceso. Es una interfaz gráfica que permite al operador manipular el sistema automatizado, permitiendo la modificación de los parámetros del proceso. Según la ISO 9241-110, un HMI se refiere a todos los elementos de un sistema interactivo que proporcionan los datos y el control requerido para

que el operador lleve a cabo una operación o actividad (Bolton, 2006).

### Figura 9

*Esquema HMI.*



**Nota:** Se puede apreciar un esquemático de una pantalla HMI en el cual se cuenta con botones y una entrada táctil.

#### 5.2.5. Sensores

Los sensores son dispositivos que convierten una magnitud física o química, como caudal, nivel, presión, temperatura, distancia, fuerza, luz, entre otros, en una señal eléctrica. Estos instrumentos detectan un fenómeno físico o químico y generan una señal que puede ser utilizada para medir y controlar un proceso. Los sensores son un componente esencial en sistemas SCADA ya que recolectan información del proceso y la transmiten al sistema para su monitoreo y control (Pérez-López, 2015).

### **5.2.6. Protocolo de comunicación**

Los protocolos de comunicación son un conjunto de reglas estandares conformados por formatos, restricciones y procedimientos que traducen el intercambio de información para lograr la comunicación entre varios dispositivos que se encuentran conectados en la misma red (Interserver, 2016).

Los protocolos de comunicación más importantes para la transmisión de datos en internet son: TCP (Protocolo de Control de Transmisión) e IP (Protocolo de Internet). Juntos, estos protocolos conforman el estándar TCP/IP, que es el conjunto de normas que permite que los dispositivos accedan y se comuniquen en la red. Otros protocolos importantes asociados a internet son POP (Post Office Protocol), SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) y HTTP (Hypertext Transfer Protocol). Estos protocolos son utilizados para la gestión de correo electrónico, el intercambio de mensajes y el acceso a páginas web (Interserver, 2016).

### **5.2.7. Protocolo de comunicación MODBUS**

Modbus es un protocolo abierto para la comunicación de redes industriales para dispositivos conectados en serie. La comunicación se genera cuando se generan peticiones del maestro (PLC) hacia los esclavos (dispositivos) quienes envían por tramas la información solicitada (Industrial, 2022).

Un dispositivo esclavo no tiene la capacidad de iniciar una comunicación y solo puede responder a las solicitudes del maestro. El maestro es el encargado de escribir y leer los datos almacenados en los registros de un dispositivo esclavo (Industrial, 2022).

Por lo tanto, en una red Modbus estándar, existe un único maestro que se comunica con hasta 247 dispositivos esclavos. Cada uno de estos dispositivos tiene una dirección de esclavo única que va desde 1 a 247 (Industrial, 2022).

Además, esta red de comunicación industrial utiliza los protocolos RS232/RS485/RS422. Gracias a su facilidad y acceso, los fabricantes lo incorporan en sus productos sin costo, lo que ha contribuido a que se convierta en el protocolo de conexión más conocido para dispositivos electrónicos industriales (Industrial, 2022).

En una red de comunicación en la que la información digital se transmite de forma serial a través de conexiones punto a punto o multipunto, donde un servidor está conectado a varias unidades terminales remotas, existen dos modos de transmisión: no balanceada o "single ended" balanceada o diferencial. Estos modos han sido estandarizados por la Electronics Industry Association (EIA) en las normas EIA-RS232, EIA-RS422 y EIA-RS485 (Industrial, 2022).

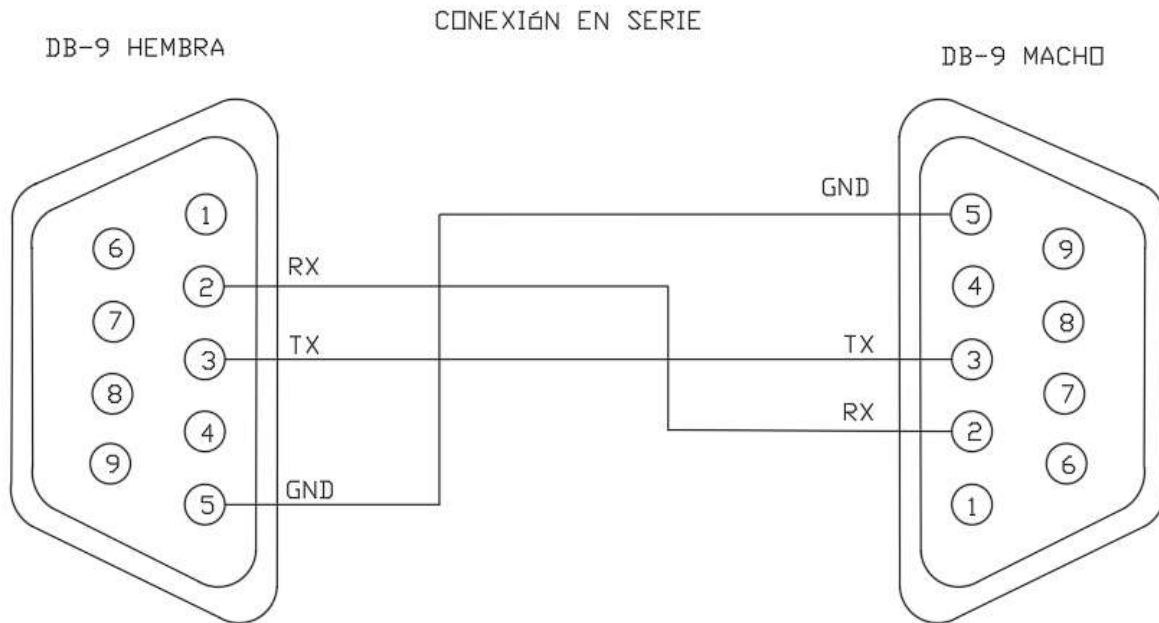
- **RS232, Transmisión No Balanceada o Single Ended:**

La norma EIA-RS232 fue diseñada para comunicaciones punto a punto, donde una computadora (conocida como DTE, Data Terminal Equipment en la norma) se encuentra transmitiendo hacia un equipo esclavo (denominado como DCE, Data Communications Equipment en la norma) ubicado a distancias no mayores a 15 metros. Aunque en la práctica alcanza distancias de hasta 50 metros y una velocidad máxima de 19.200 bps. Este tipo de transmisión se conoce como "single ended" que en el cable se usa un solo retorno (GND) y es un modo de transmisión muy simple, pero también es vulnerable al ruido aditivo en la línea, por lo que se emplea para comunicaciones a cortas distancias (Martínez, 2018).



**Figura 10**

*Puerto RS232.*



**Nota:** Se puede apreciar la conexión adecuada mediante un protocolo de comunicación RS232 entre sus terminales, siendo una conexión cruzada entre el terminal RX y TX.

■ **RS422/485, Transmisión Balanceada o Diferencial:**

Cuando se necesitan alcances y velocidades de transmisión mayores, se utilizan las normas RS422 y RS485. Estas normas también permiten la transmisión multipunto, lo que significa que una computadora central puede conectarse a varias unidades terminales remotas. Dado que la salida de la computadora central suele ser la interfaz RS232, se requiere un módulo convertidor RS232 a RS422/485 para implementar una red (Martínez, 2018).

La transmisión diferencial permite velocidades de hasta 10 Mbps y alcances de hasta 1,3 kilómetros. Se utilizan dos señales para transmitir y dos para recibir, además de la conexión a tierra. En cada par, viaja la señal de transmisión y su complemento. En el receptor, se recupera la señal original restando una de la otra. Esta técnica reduce significativamente el ruido en la línea, ya que se induce por igual en ambas líneas del

par y se cancela al final. La transmisión diferencial debe realizarse siempre sobre cable de par trenzado (twisted pairs) (Martínez, 2018).

### **5.2.8. Software de programación TIA PORTAL**

TIA Portal es una plataforma integral propiedad de SIEMENS, diseñada para programar, diseñar y simular automatizaciones de manera completa. Esta herramienta ofrece la posibilidad de integrar de manera rápida y sencilla diferentes sistemas y dispositivos, correspondientes a la oferta de procesadores, actuadores y sensores que se encuentran disponibles en el mercado. El software mejora la productividad de la planta, mediante la implementación de funciones de diagnóstico y administración, brindando flexibilidad a los administradores en la toma de decisiones. Además, esta plataforma también permite incorporar sistemas y equipos de otros fabricantes con sus sistemas propietario tiaportal.

### **5.2.9. Comunicacion de antenas**

- **Antena direccional:**

Una antena direccional es un dispositivo diseñado para enviar la señal de radiofrecuencia en una sola dirección específica. Su objetivo es asegurar que el receptor reciba la mayor cantidad de señal posible si está en la posición correcta. Esta tecnología es utilizada en aplicaciones como WiFi, Bluetooth, radio, televisión digital terrestre y otras tecnologías inalámbricas (López, 2022).

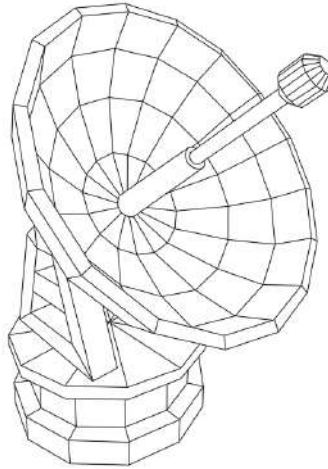
Las antenas direccionales son ideales para enviar o recibir señales desde largas distancias ya que su capacidad de focalizar la señal en un punto específico permite alcanzar mayores alcances. Además, estas antenas pueden ser utilizadas tanto en interiores como en exteriores para resolver problemas de cobertura específicos, como en zonas remotas o para cubrir varios pisos de un edificio o incluso para conectarse a una red WiFi de otro edificio (López, 2022).

Una antena direccional profesional puede proporcionar cobertura en un rango de hasta 15 kilómetros. Sin embargo, existen diferentes tipos de antenas direccionales con distintos ángulos de cobertura y alcances, por ejemplo algunas tienen un alcance más corto pero con un ángulo de cobertura más amplio. En general, este tipo de antenas tienden a

tener un diseño más llamativo en comparación con las antenas omnidireccionales, que suelen ser más discretas visualmente (López, 2022).

## Figura 11

*Antena Direccional.*



**Nota:** Se puede visualizar el esquemático de una antena direccional, con su plato parabólico que la caracteriza al apuntar a la dirección de transmisión - recepción.

### ■ Antena omnidireccional:

Las antenas omnidireccionales son una buena opción cuando se necesita enviar y recibir señales de radiofrecuencia en varias direcciones. A diferencia de las antenas direccionales, las omnidireccionales no se enfocan en un punto específico, sino que emiten la señal en todas las direcciones. Esto significa que, aunque la distancia de cobertura puede ser menor, la señal se extenderá a más áreas. Por ejemplo, si se coloca un router WiFi en una habitación central de una casa, las habitaciones adyacentes también se beneficiarán de la cobertura en lugar de tener una cobertura solo hacia una dirección específica (López, 2022).

La radiación de una antena omnidireccional es uniforme y se emite en todas las direcciones. Por esta razón, es la opción más común en routers y dispositivos que amplifican la señal WiFi. Al emitir la señal en todas las direcciones, asegura que cualquier dispositivo

cercano tenga acceso a la red inalámbrica independientemente de la dirección en la que esté apuntando el router. Sin embargo, debes tener en cuenta que la distancia desde el router afectará la calidad de la señal recibida (López, 2022).

Además de los routers, la mayoría de los dispositivos móviles utilizan antenas omnidireccionales para conectarse a la red inalámbrica. Estos dispositivos incluyen computadoras, smartphones, tablets, consolas de videojuegos, electrodomésticos inteligentes y dispositivos IoT. Esta es la opción más práctica ya que no siempre es necesario tener acceso a toda la señal disponible para conectarse correctamente a la red. Además, estas antenas permiten que los dispositivos se conecten a la red independientemente de la dirección en la que estén apuntando, lo que es muy útil en situaciones donde el dispositivo se mueve constantemente (López, 2022).

## Figura 12

*Antena Omnidireccional.*



**Nota:** Se puede visualizar el esquemático de una antena omnidireccional, en el cual las antenas generan una señal que se expande de manera psudo esferica a su entorno de emisión.

## 6. Marco metodológico

### 6.1. Metodología de la investigación

- **Enfoque: Cuantitativo:** Obtención de datos caudal y nivel de agua en una planta de potabilización del cantón Cuenca.
- **De tipo: Aplicada:** Generación de conocimiento aplicado a la monitorización de variables para el proceso de distribución de agua de la planta.
- **Con diseño: Campo:** Observación de variables en el proceso de distribución y almacenamiento de agua en cada punto de control.

### 6.2. Metodología del proceso

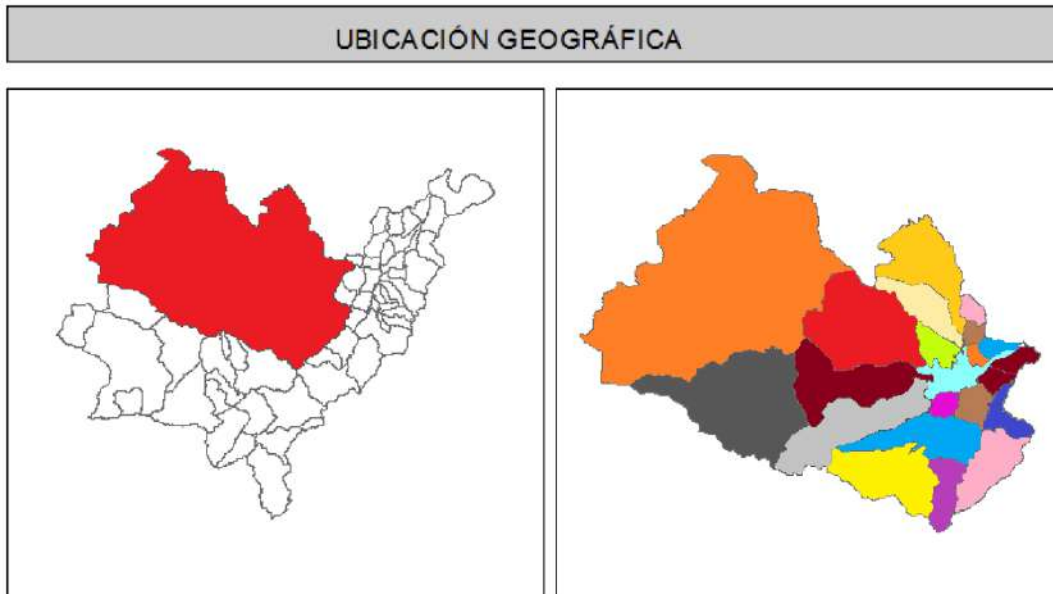
#### 6.2.1. Identificar las variables de un sistema de distribución de agua potable convencional de las JAAP del cantón Cuenca.

- **Ubicación Geografica.**

Al planificar el proyecto, se tomó en cuenta los sistemas de distribución de agua utilizados por las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) existentes en el cantón de Cuenca. Cuenca es una ciudad situada en la provincia del Azuay (figura 13), en el centro-sur de la región interandina de Ecuador, en la cuenca del río Paute, a una altitud de 2.550 metros sobre el nivel del mar. El cantón cuenta con 21 parroquias y una población de 636.996 habitantes (Cuenca, 2015).

### Figura 13

*Ubicación geográfica.*

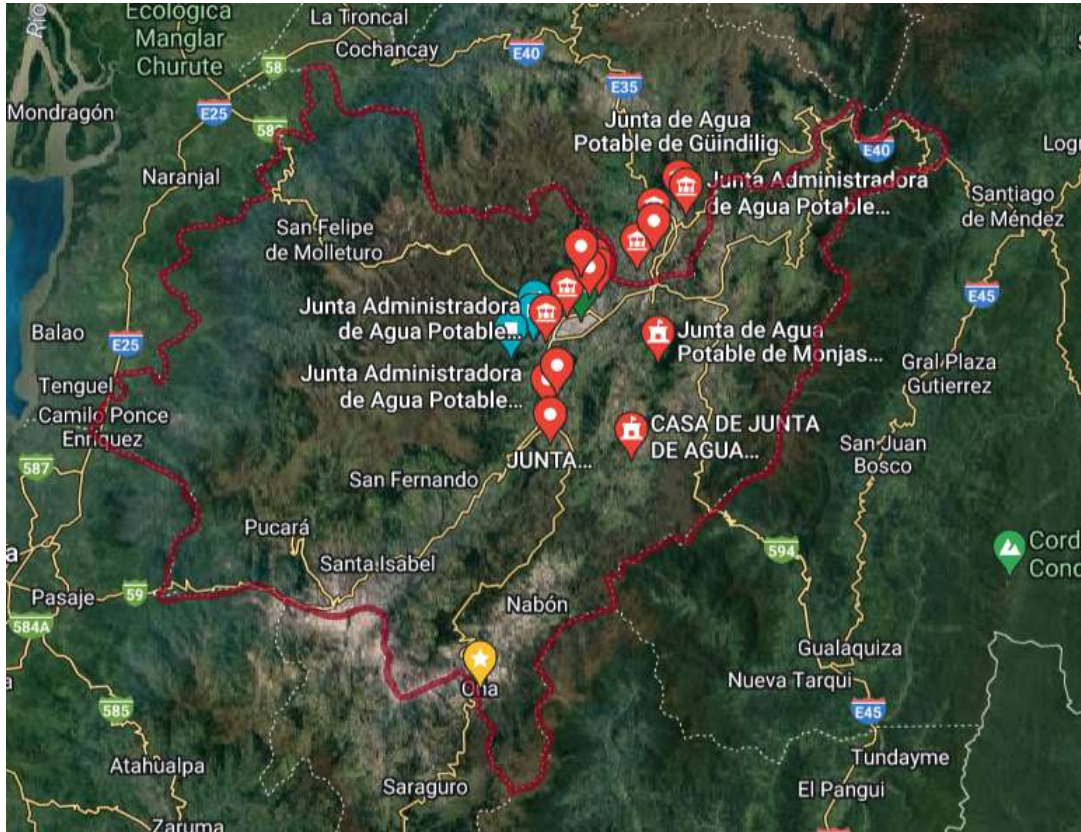


**Nota:** Se puede apreciar de lado izquierdo los cantones que conforman la provincia del Azuay, siendo el cantón Cuenca (rojo) el más extenso, y del lado derecho las 21 parroquias que conforman el cantón de Cuenca. Imagen obtenida de (Cuenca, 2015).

El crecimiento poblacional en la provincia del Azuay ha llevado a la creación de 243 Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP), según la fuente: (Ambiente, 2022). Esto se debe a la necesidad de garantizar el suministro de agua potable en las áreas donde se está produciendo un aumento en la población. Como se puede apreciar en las figuras 14 y 15, las JAAP se establecen en las ciudades y se expanden hacia los alrededores, aprovechando las zonas altas y los recursos hídricos de la provincia para satisfacer las necesidades de la población en crecimiento.

## Figura 14

*Ubicación de JAAPs en Azuay.*

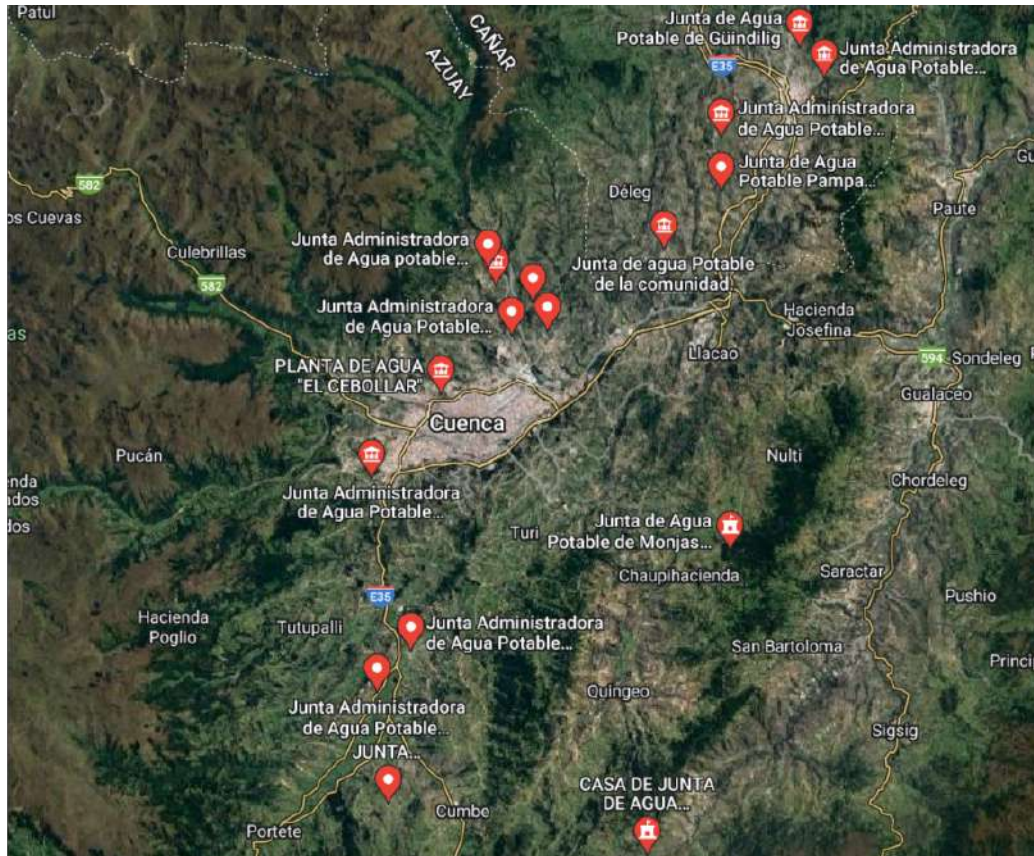


**Nota:** Se puede apreciar a la provincia del Azuay, en donde las JAAP (ubicaciones marcadas) se concentran en la ciudad de Cuenca y se van creando a sus alrededores a medida que crece la población. Imagen obtenida de (Earth, 2023).



**Figura 15**

*Ubicación de JAAPs en Cuenca.*



**Nota:** Se puede apreciar a la ciudad de Cuenca, en donde las JAAP (ubicaciones marcadas) se concentran en la ciudad y se van creando a sus alrededores a medida que crece la población. Imagen obtenida de (Earth, 2023).

■ **Descripción del Sistema de una Planta de Potabilización Convencional.**

La planta de potabilización no cuenta con ningún control automático ni dispositivos medidores por lo que su funcionamiento es enteramente manual y/o mecánico, es debido a que se implementara un sistema SCADA que se necesita conocer los sectores principales del sistema.

Se presenta el diseño de una planta administradora de agua del cantón Cuenca, el cual cuenta con 4 sectores principales. Estos sectores se encuentran esparcidos en la zona



alta y baja de una parroquia, cada sector tiene su tanque de almacenamiento de agua potable y sus tuberías de entrada y salida principales para la distribución.

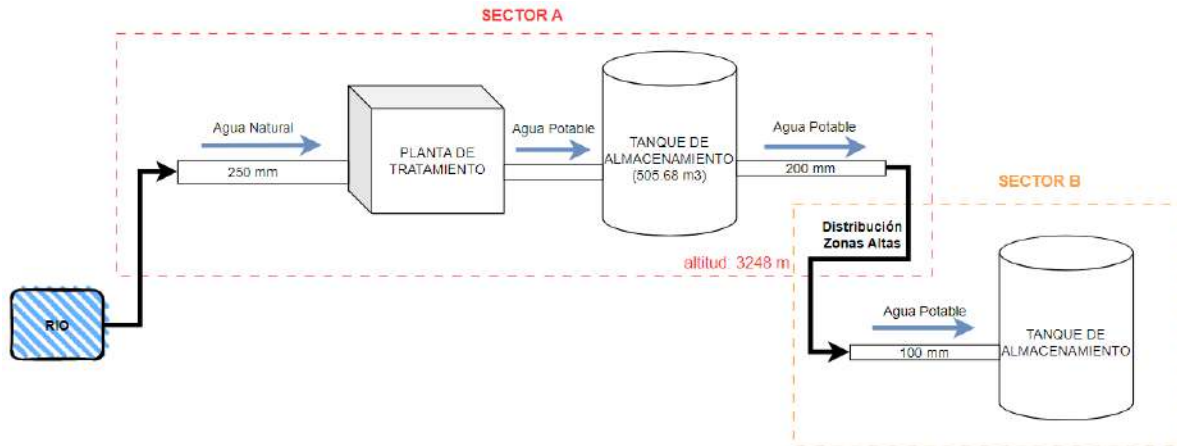
- **SECTOR A:** Aquí se encuentra una planta de tratamiento (figura 16), la cual está ubicada en la zona más alta de la parroquia, esto facilita la distribución ya que el agua cae mediante gravedad hacia todos los sectores que se encuentran por debajo de la planta, la red de tuberías es de tipo abierta, donde su tubería principal de salida se conecta hacia el tanque de reserva del sector B; esta planta fue construida a partir del crecimiento poblacional hacia los poblados altos del cantón Cuenca; la captación se realiza desde uno de los ríos de la parroquia.

La planta de tratamiento es del tipo convencional compuesta por una reja, desarenador, floculadores, decantadores, filtros, dispositivo de desinfección y un tanque de reserva. Tiene una capacidad de tratamiento ideal de 100 l/s, un almacenamiento de 505,68 m<sup>3</sup> y el agua es captada por una tubería PVC de 250 mm.

La planta está ubicada a una altitud aproximada de 3.248 m, el tramo de conexión entre el sector A y el sector B tiene una longitud aproximada de 6,117 Km y un diámetro de tubería de 200 a 100 mm. Este tramo se ramifica hacia los sectores que se encuentran localizados lateralmente al recorrido de la tubería.

**Figura 16**

*Esquema del SECTOR A.*



**Nota:** Se presenta el diámetro de las tuberías principales, el volumen del tanque y la altitud del sector A.

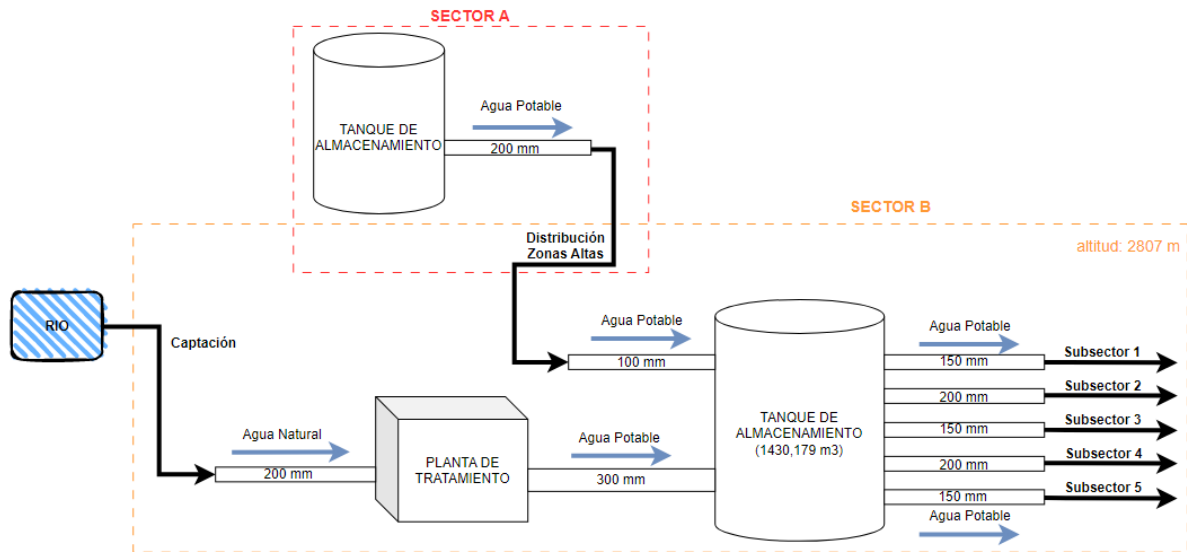
- **SECTOR B:** Aquí se encuentra una segunda planta de tratamiento (figura 17), la cual está localizada en la parte baja de la parroquia, esta fue la primera planta en construirse, pero debido al crecimiento poblacional, la proyección que tenía la planta de brindar el servicio a sus moradores, fue superada; por lo que se construyó la planta del sector A. Sin embargo, al ser la planta principal del sistema debido a su antigüedad, cubre la mayor parte de la parroquia donde abastece a 5 subsectores, cuyas tuberías de salida principales, tienen un diámetro de: 3 tuberías de 150 mm y 2 tuberías de 200 mm. Es por eso que tiene una conexión con el sector A, donde recibe agua potable debido a la gran demanda de los subsectores.

La planta está ubicada a una altitud aproximada de 2.807 m, realiza la captación de uno de los ríos de la parroquia y el agua es conducida por una tubería de PVC de 200 mm.

La planta de tratamiento es del tipo convencional compuesta por una reja, desarenador, floculadores, decantadores, sedimentadores, filtros, dispositivo de desinfección y tanque de reserva. Tiene una capacidad de tratamiento ideal de 100 l/s y un almacenamiento de 1.430,179 m<sup>3</sup>.

**Figura 17**

*Esquema del SECTOR B.*



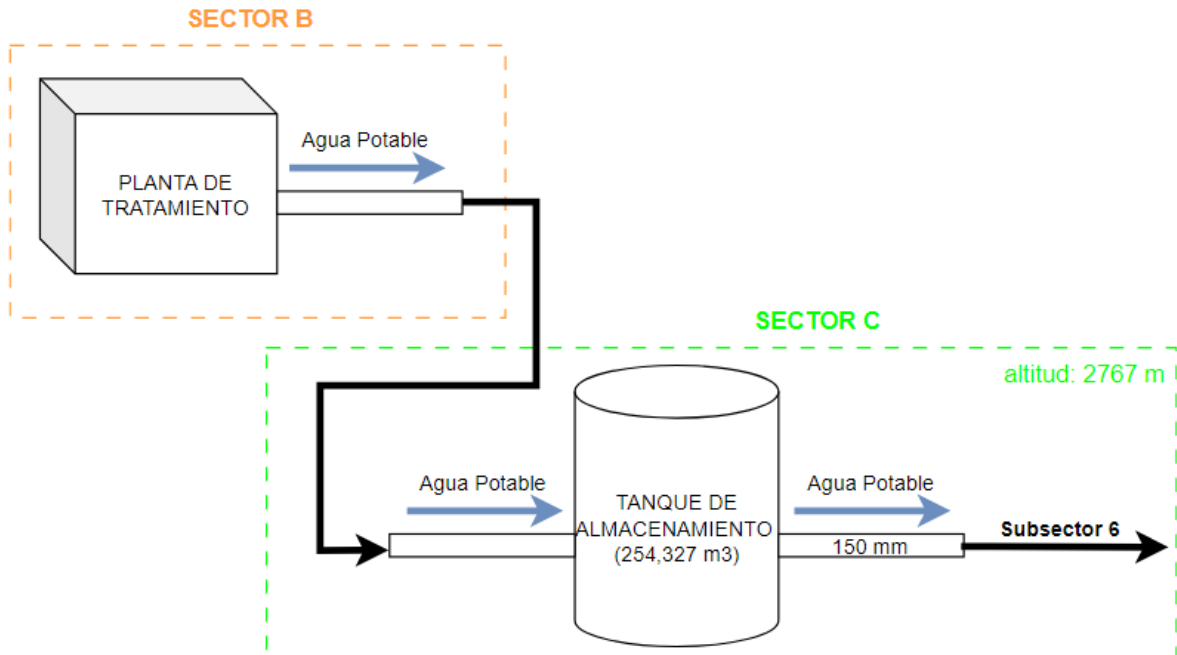
**Nota:** Se presenta el diámetro de las tuberías principales, el volumen del tanque y la altitud del sector B.

- **SECTOR C:** Aquí se encuentra un tanque de almacenamiento (figura 18), este tanque fue construido debido al crecimiento poblacional, ya que se extiende la demanda del servicio a otro subsector; el tanque almacena agua potabilizada de la planta del sector B, tiene una capacidad de 254,327 m³.

El tramo de conexión entre el sector B y el sector C tiene una longitud aproximada de 787,76 m y el diámetro de la tubería de salida principal es de 150 mm. El tanque se encuentra ubicado a una altitud aproximada de 2.767 m.

**Figura 18**

*Esquema del SECTOR C.*



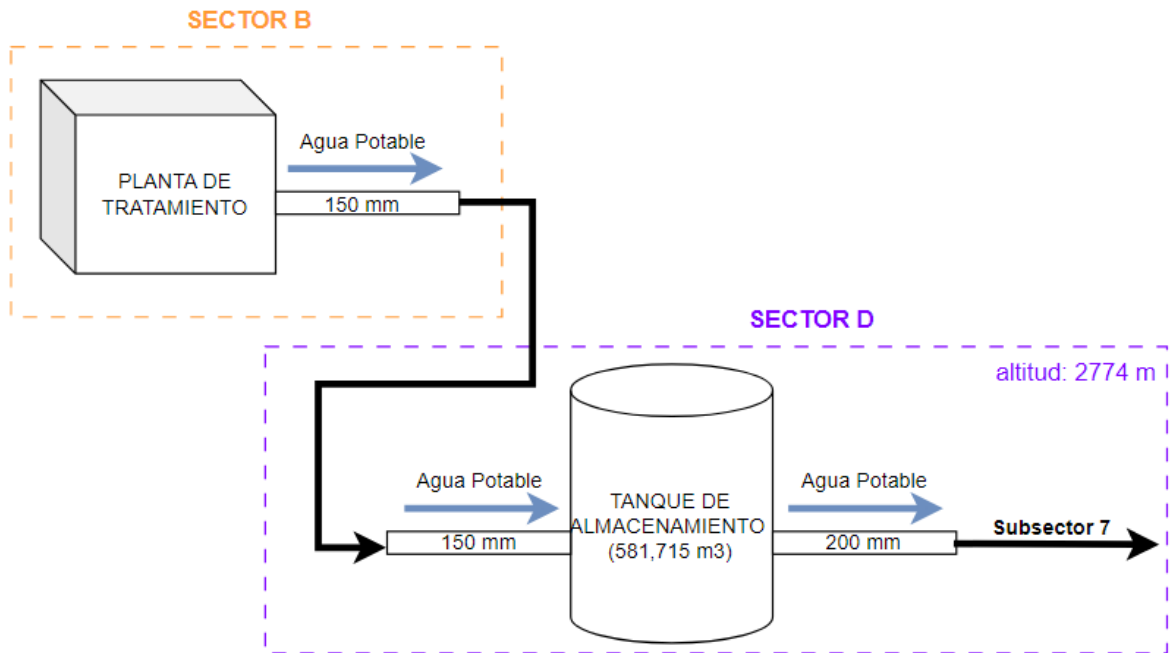
**Nota:** Se presenta el diámetro de las tuberías principales, el volumen del tanque y la altitud del sector C.

- **SECTOR D:** Aquí se encuentra un tanque de almacenamiento (figura 19), ubicado a una altitud aproximada de 2.774 m, de igual forma que en el sector C, este tanque fue construido debido al aumento de la demanda del servicio en otro subsector y almacena agua potabilizada de la planta del sector B, tiene una capacidad de 581,715 m<sup>3</sup>.

El tramo de conexión entre el sector B y el sector D es de 2,067 Km aproximadamente con un diámetro de tubería de 150 mm y el diámetro de la tubería de salida principal es de 200 mm.

**Figura 19**

*Esquema del SECTOR D.*

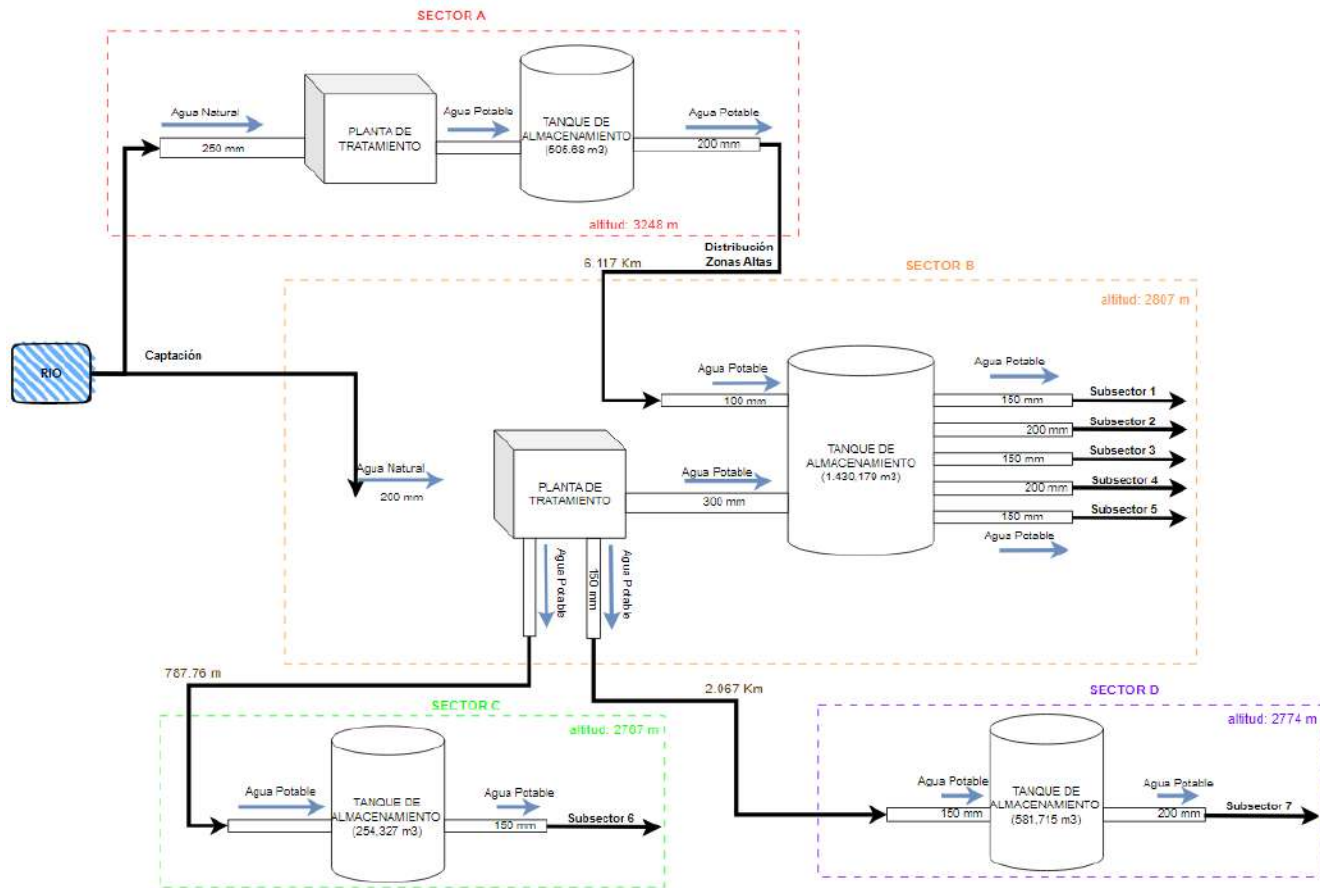


**Nota:** Se presenta el diámetro de las tuberías principales, el volumen del tanque y la altitud del sector D.

Una vez analizando los sectores principales de la planta, analizamos el sistema completo que se va a monitorear, como se observa en la figura 20.

**Figura 20**

*Sistema de Distribución.*



**Nota:** Se presenta el sistema completo de distribución con la altitud de sus sectores, el diámetro de las tuberías principales y el volúmen de los tanques de reserva.

■ **Identificación de Variables y Puntos Estratégicos.**

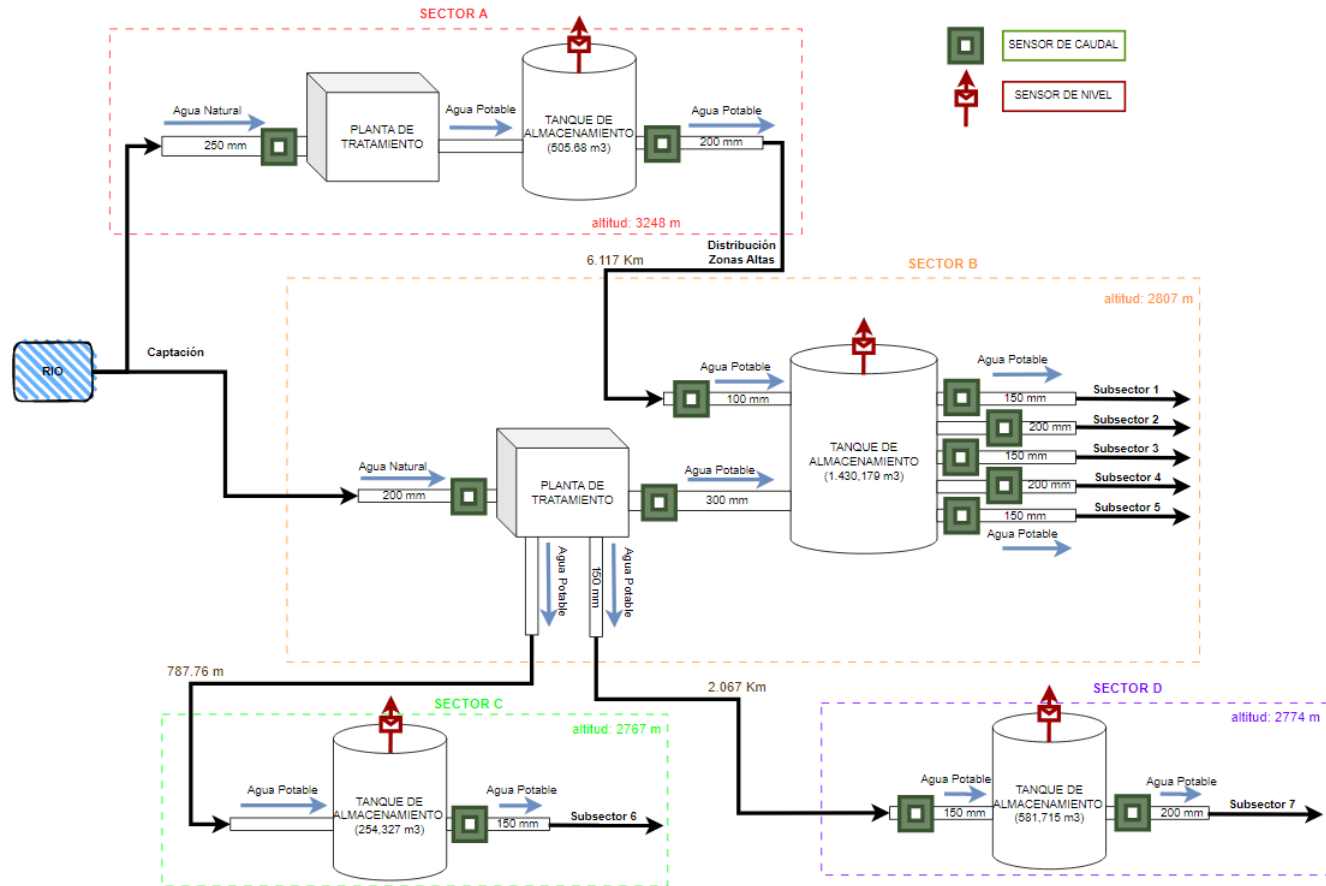
Una vez conociendo y analizando el sistema de distribución de agua potable, se requiere identificar las variables importantes a monitorear, las cuales podemos destacar:

- **Flujo del agua o caudal (l/s) en las tuberías principales de entrada y salida**
- **Nivel de agua (m<sup>3</sup>) en los tanques de almacenamiento.**

Para poder medir las variables importantes del sistema, se necesita de dispositivos o sensores específicos; por lo que se debe proyectar cuantos de estos equipos se implementaran y en que zonas del sistema. A continuación, se presenta los puntos estratégicos de medición en el sistema de distribución (figura 21):

Figura 21

Puntos de Monitoreo.



**Nota:** Se presenta los puntos estratégicos de medición de caudal y nivel en el sistema de distribución, con un total de 17 dispositivos de medición (13 caudalímetros, 4 sensores de nivel).



Al medir estas variables se programan los PLCs para medir las variables de los 13 sensores de caudal en las tuberías y los 4 sensores de nivel en los tanques. Esto permitirá que los dispositivos de entrada y salida, como las alarmas, avisos, válvulas y bombas se activen de acuerdo a los sensores. Además, al tener acceso remoto, los operadores podrán ver y modificar el estado del proceso desde la interfaz de la máquina.

En resumen, se establecerán límites de seguridad para los caudales y los niveles altos/bajos, el PLC verificará si los datos están dentro de esos límites y si no es así, activará las medidas de seguridad previamente programadas.

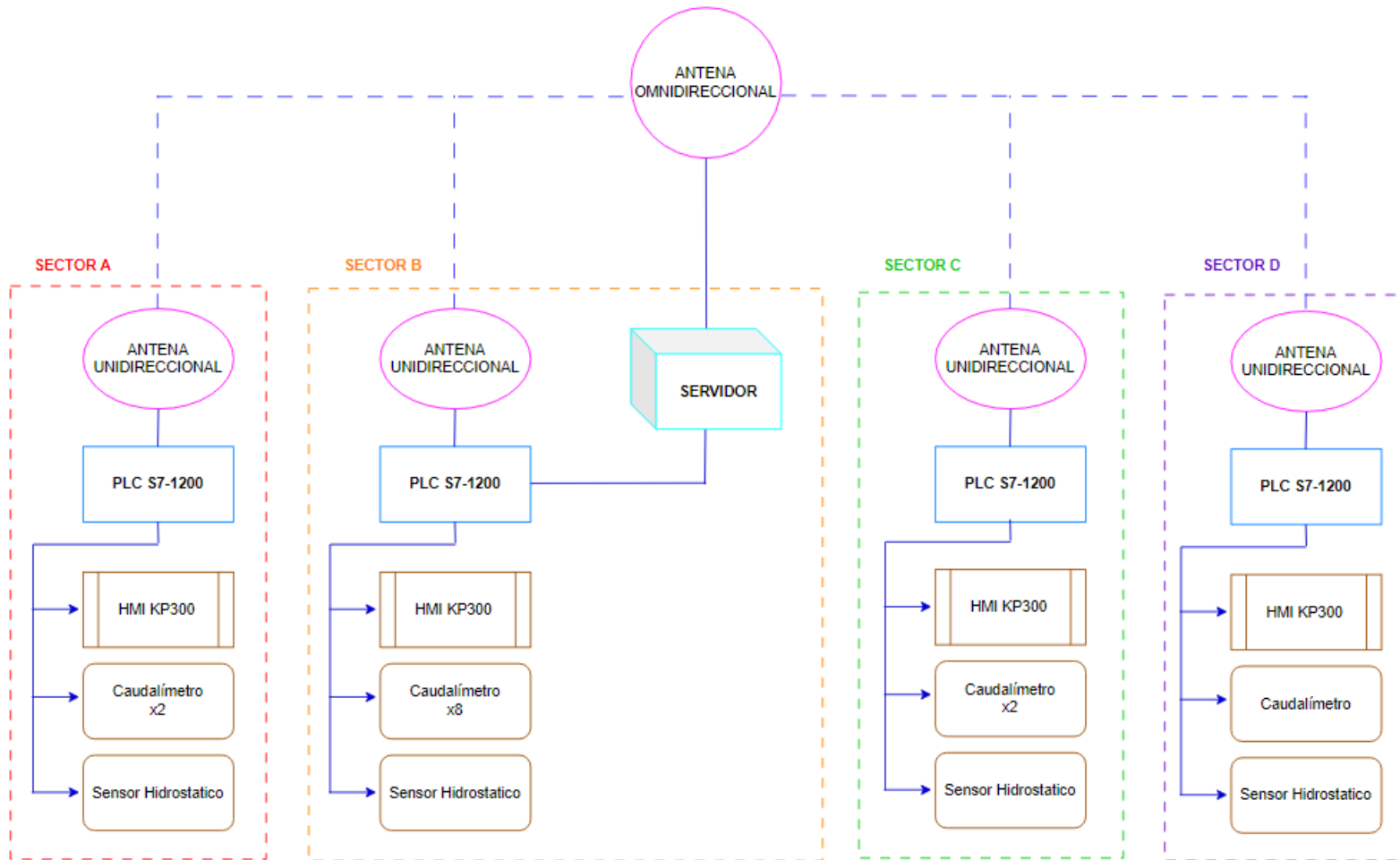
Al recolectar estos datos, los administradores de la planta podrán analizar la capacidad de tratamiento de la planta y el consumo o demanda de los diferentes sectores, lo que les permitirá optimizar sus servicios y mejorar progresivamente el sistema. Esto podría incluir la inversión en equipos de control para mejorar el rendimiento y la eficiencia.

#### ■ **Diseño o Arquitectura del Sistema SCADA.**

El sistema SCADA está organizado en 4 sectores, cada sector contara con su propio PLC y pantalla HMI para la recopilación y visualización de los datos medidos por los sensores (caudalímetros, sensor hidrostático). La información recopilada debe transmitirse a los sectores alejados entre sí, es por eso que se implementan antenas de radiofrecuencia que se encargaran de trasmitir los datos hacia el centro de monitoreo o servidor, la antena omnidireccional enlazará a todas las antenas unidireccionales en los diferentes sectores, la comunicación implementada en el sistema es de tipo MODBUS IP/TCP. La oficina de administración se encuentra ubicado en la planta del sector B, por lo que este será el sector donde reside el servidor aquí se almacenará y se visualizará la información proporcionada de los 4 sectores, como se aprecia en la figura 22.

**Figura 22**

*Diagrama red de comunicación SCADA.*



**Nota:** Se presenta los dispositivos a implementar en los 4 sectores principales y su conexión mediante antenas

- **Equipos o Dpositivos a Implementar en el Sistema.**

Una vez identificado como será el diseño del sistema de monitoreo, se debe realizar un estudio de los equipos necesarios para implementar el sistema SCADA en el proceso de distribución de agua potable. Estos son los equipos seleccionados para instalar en el sistema. Es necesario revisar el modelo y tipo del equipo adquirido para poder realizar la comunicación correcta entre ellos.

- **Caudalímetros SITRANS MAG 5100:**

El sensor de caudal electromagnético SITRANS F M MAG 5100 W (figura 23) de Siemens es pensado para su utilización en lugares de difícil acceso, generalmente para aplicaciones de medición de agua subterránea. Convierte el caudal del fluido al captar el cambio de una señal eléctrica que es modificada debido a la velocidad con la transita el líquido. El caudalímetro consta con un transmisor MAG 6000 que permite la visualización de los datos obtenidos, además de permitir la configuración del sensor. Cuenta también con una comunicación USM II, que se integra mediante módulos; permitiendo comunicaciones industriales como PROFIBUS DP y PA, HART, DeviceNet, entre otras comúnmente utilizadas en entornos industriales. (SIEMENS, 2022c).

**Figura 23**

*SITRANS MAG 5100 + Transmisor MAG 6000.*



**Nota:** Dispositivo caudalímetro. Imagen obtenida de (SIEMENS, 2022c).

- **Sensor Hidrostático SITRANS LH100:**

El transmisor de presión SITRANS LH100 (figura 24) es una sonda de pozo que convierte la presión hidrostática en una señal estandarizada de 4 a 20 mA proporcional al nivel. Se utiliza para medir el nivel en balsas, depósitos, canales y presas. Está disponible en diferentes rangos de medición y opcionalmente con protección contra explosiones. La carcasa del transmisor está hecha de acero inoxidable y cuenta con un sensor piezorresistivo con diafragma cerámico (SIEMENS, 2022d).

**Figura 24**

*SITRANS LH100.*



**Nota:** Dispositivo sensor de nivel. Imagen obtenida de (SIEMENS, 2022d).

- **PLC S7-1200 CPU 1212 AC/DC/Relais:**

El controlador modular SIMATIC S7-1200 (figura 25) es ampliamente utilizado en la industria para tareas de automatización sencillas pero precisas. Es modular y compacto, versátil, una inversión segura y se adapta a una amplia gama de aplicaciones. Los módulos de comunicación incrementan las capacidades de comunicación del controlador SIMATIC S7-1200 con varios dispositivos medidores o sensores mediante funciones e interfaces adicionales. Los módulos de comunicación S7-1200 admiten comunicación serie, PROFIBUS, IO-Link, AS-Interface y varios estándares móviles, lo que permite una integración fácil con otros sistemas (SIEMENS, 2022b).

**Figura 25**

*PLC S7-1200 + Módulos RS 232/485.*



**Nota:** Dispositivo PLC y módulos de comunicación. Imagen obtenida de (SIEMENS, 2022b).

- **HMI KTP 300**

El SIMATIC Basic Panel KP300 Basic mono (figura 26) es un panel de operador con una pantalla LCD monocromática de 3 pulgadas que se puede manejar mediante un teclado. Se comunica con el controlador a través de la interfaz Profinet. La configuración del panel se puede realizar mediante WinCC Basic V11 y/o STEP7 BÁSICO V1. Es una opción económica y fácil de usar para la visualización y control de procesos en aplicaciones industriales (SIEMENS, 2022a).

**Figura 26**

*HMI KTP 300.*



**Nota:** Dispositivo pantalla HMI. Imagen obtenida de (SIEMENS, 2022a).

- **Antena Unidireccional MikroTik LHG5:**

La antena LHG5 (figura 27) es un dispositivo inalámbrico 802.11 a/n de 5 GHz compacto y ligero con una antena de cuadrícula de 24,5 dBi de polarización dual y una velocidad de transmisión de 54 Mbps. Es ideal para enlaces punto a punto o para usar como CPE (Cliente Punto a Punto) en distancias más largas, y admite el protocolo Nv2 TDMA. El diseño de rejilla garantiza una protección contra el viento, y el hecho de que el elemento de la antena esté integrado en la unidad inalámbrica significa que no hay pérdida de cables (Mikrotik, 2022a).

**Figura 27**

*MikroTik LHG5.*



**Nota:** Antena de comunicación direccional. Imagen obtenida de (Mikrotik, 2022a).

- **Antena Omnidireccional MikroTik Routerboard:**

El routerboard hex gigabit de MikroTik (figura 28) es un dispositivo de red de alto rendimiento, fiabilidad, seguridad, costo asequible y diseño compacto, que es adecuado para uso en hogares, cibercafés y pequeñas y medianas empresas. Es fácil de configurar y cuenta con todas las opciones avanzadas que soporta el sistema operativo RouterOS. Ofrece una gran capacidad de procesamiento y ancho de banda para manejar un gran volumen de tráfico de red y aplicaciones avanzadas (Mikrotik, 2022b).

**Figura 28**

*MikroTik Routerboard.*

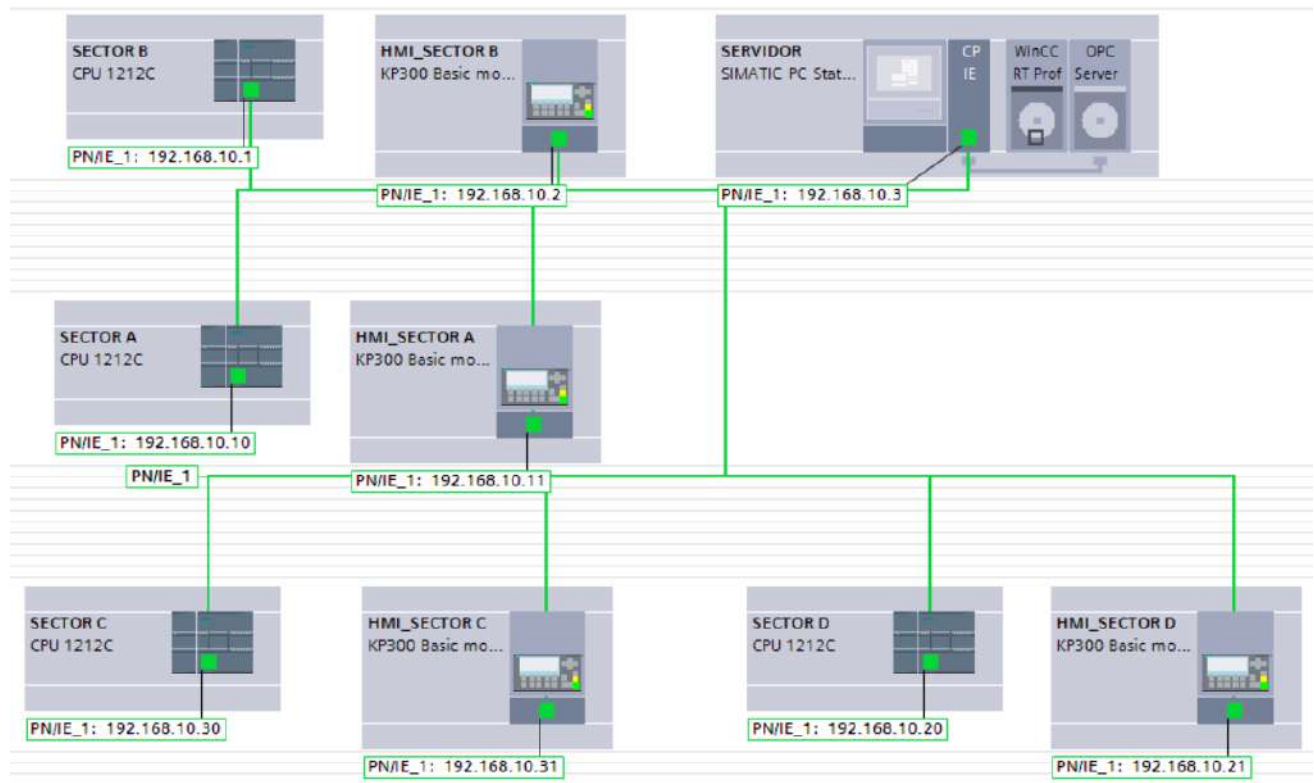


**Nota:** Antena de comunicación omnidireccional. Imagen obtenida de (Mikrotik, 2022b).

### 6.2.2. Diseñar el sistema de monitoreo como parte del SCADA de las variables identificadas

Figura 29

Red SCADA.



**Nota:** Se puede visualizar la red sobre la cual se implementa el sistema de monitoreo, (Siemens, 2023c).

**Monitoreo:** La ventana llamada Ubicación, mostrada en la figura 30, permite supervisar un gran número de sensores. Esta ventana presenta los diferentes sectores a monitorear y utiliza iconos para indicar si hay errores, alertas o desconexiones en el sistema. Además, permite tener una visión general de todos los subsistemas y acceder a cada uno de ellos mediante los botones correspondientes a cada sector, como se puede ver en la figura 31, donde se pueden visualizar los componentes de cada subsistema



**Figura 30**

*Ejemplo de la ventana de ubicación*

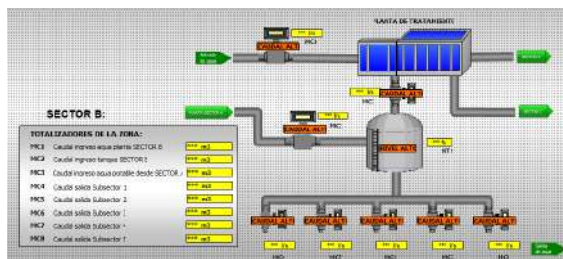


**Nota:** Se puede apreciar la ubicación de los cuatro sectores con algunas alarmas que podrán ser visibles en caso de generarse alguna eventualidad

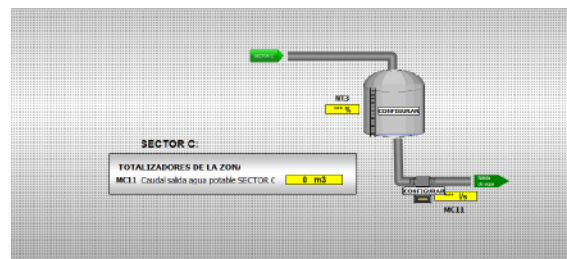
**Figura 31**

*Ventana de sectorizada*

(a) Sector B

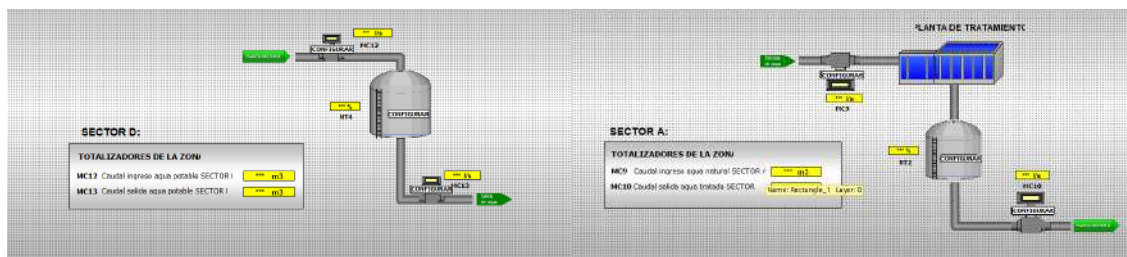


(b) Sector D



(c) Sector C

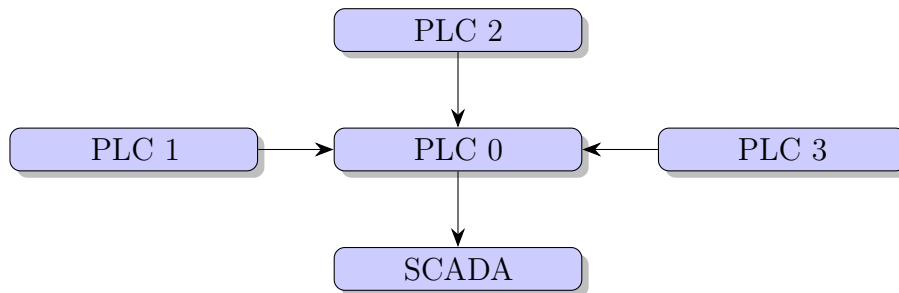
(d) Sector A



**Nota:** Se puede apreciar cada uno de los cuatro sectores con los sensores respectivos ubicados según la distribución requerida

**Figura 32**

*Topología de red*

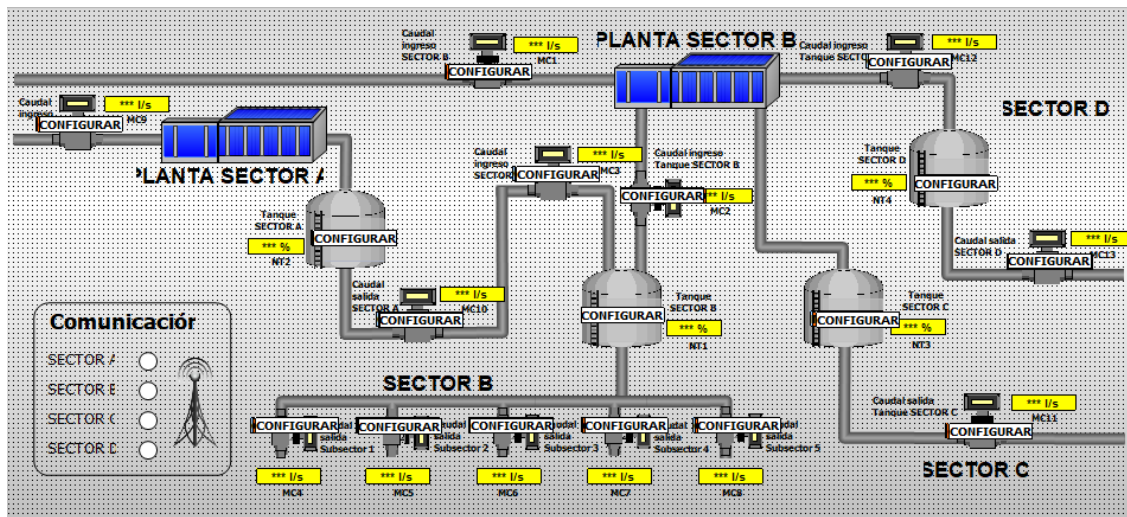


**Nota:** Se puede visualizar la topología en la que los elementos se intercomunican entre ellos.

**Supervisión:** La ventana arquitectura actúa como el punto focal donde se unen los distintos elementos del sistema. A través de ella, se pueden ver los caudalímetros y sensores de nivel de cada una de las áreas. Esta ventana principal permite detectar cualquier evento inesperado y, a través de indicadores visuales, alertar al operador. La ventana arquitectura está dividida en cuatro áreas relevantes y se puede ver en la figura 33.

**Figura 33**

*Ejemplo de la ventana arquitectura*

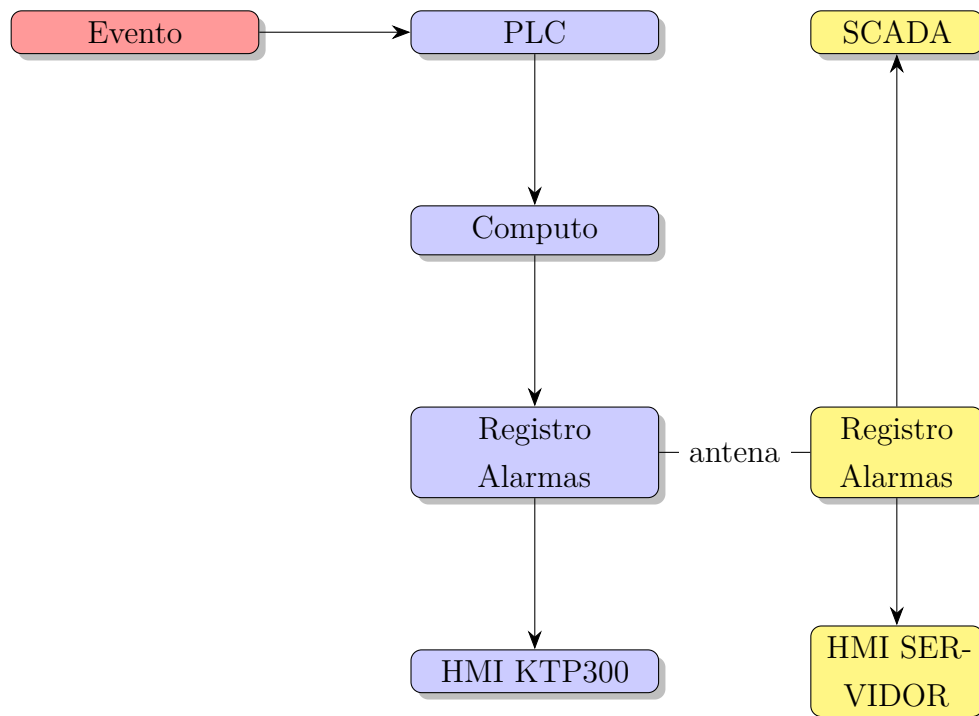


**Nota:** Se presenta la pantalla arquitectura, que posee todos los elementos de medición disponibles de todos los sectores, y desde la cual se los puede monitorizar.

**Eventos y Alarmas:** Existen diferentes categorías de acciones en relación a los eventos relevantes. Las advertencias son aquellas situaciones que no afectan el rendimiento del sistema, mientras que las alarmas son aquellas que pueden poner en riesgo la estabilidad del sistema. Los registros de estas situaciones se detectan primero en los puntos de control PLC y luego se transmiten al sistema SCADA, como se muestra en la figura 34.

**Figura 34**

*Secuencia de eventos y alarmas, entre el evento generador, el PLC y el sistema SCADA*



**Nota:** Se puede apreciar cual es la secuencia de eventos entre los elementos del sistema.

En el contexto de las alarmas, existen dos tipos: acusadas y no acusadas. La principal diferencia entre ellas es la forma en que se maneja el aviso en el sistema de alarmas. En el caso de las alarmas acusadas, el aviso permanece en el sistema hasta que se resuelve el evento y se desactiva manualmente. Por otro lado, en las alarmas no acusadas, el aviso solo aparece mientras el evento esté activo y desaparecerá una vez que se resuelva.

Entre los eventos configurados para el sistema de monitoreo se encuentran el caudal y los niveles máximo y mínimo, así como también la desconexión de antenas o sensores. Además, se consideran eventos cuando los parámetros de configuración inicial no se establecen o se ingresan de forma incorrecta. Estos eventos se resumen en la tabla 2.

**Registro Alarmas y Advertencias:** Las alarmas configuradas se dividen en diferentes secciones de acuerdo a su sector, tipo y clase, y se registran en un orden específico, según se indica en la tabla. 1

**Tabla 1**

*ID de alarmas según si tipo y clase*

ID	Sector	Tipo	Clase
1-16		Desconexión	Errores
17-32	Sector B	Máximos	Advertencias
33-48		Mínimos	Advertencias
42-100		-	-
101-116		Desconexión	Errores
117-132	Sector C	Máximos	Advertencias
133-148		Mínimos	Advertencias
142-200		-	-
201-216		Desconexión	Errores
217-232	Sector A	Máximos	Advertencias
233-248		Mínimos	Advertencias
242-300		-	-
301-316		Desconexión	Errores
317-332	Sector D	Máximos	Advertencias
333-348		Mínimos	Advertencias
342-400		-	-

**Nota:** Se presenta una distribución de espacios para poder utilizar según el sector para sus alarmas.

**Visualización Alarmas HMI SCADA:** Para facilitar una visualización rápida e intuitiva, se han añadido indicadores visuales que parpadean o cambian de color en caso de alguna

advertencia. El tipo de indicador visual varía dependiendo del tipo de evento, los elementos visuales se indican en la pestaña de ubicación y se presentan en la figura 35.

**Figura 35**

*Indicadores visuales del entorno arquitectura*

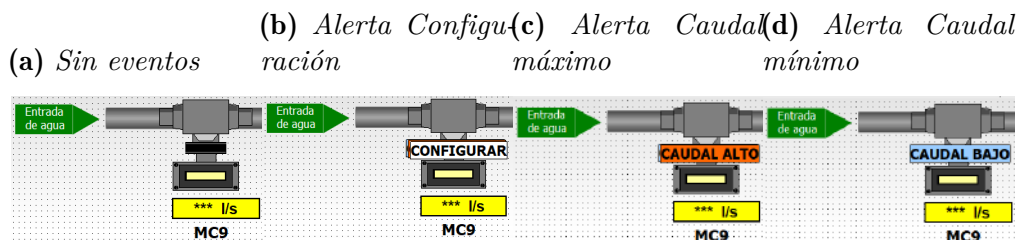


**Nota:** Se puede apreciar las diferentes visualizaciones posibles según la existencia o no de una eventualidad, en la pantalla de ubicación

Además de estas ayudas visuales, se han incorporado en la pestaña de localización indicadores de colores destellantes para los sensores cuando existen caudales máximos o mínimos. También se indica cuando un elemento está desconectado mediante un indicador rojo, como se puede observar en las figuras 36 y 37.

**Figura 36**

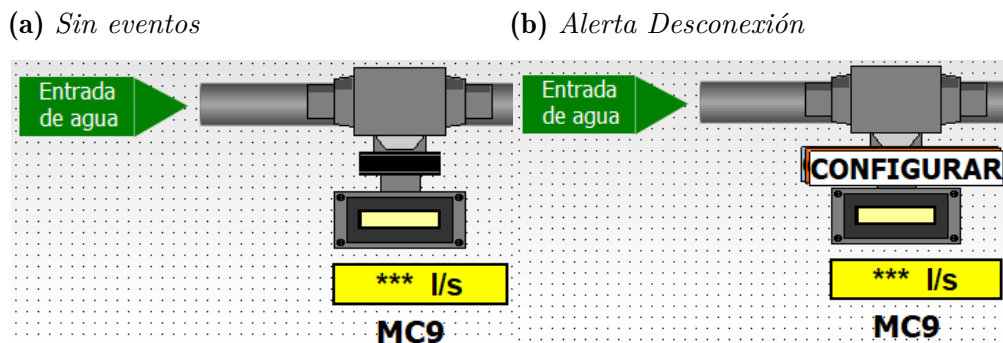
*Indicadores visuales del entorno de zona*



**Nota:** Se puede apreciar las diferentes visualizaciones posibles para los caudalímetros según la existencia o no de una eventualidad, en la pantalla de arquitectura

**Figura 37**

*Indicadores visuales del entorno de zona*

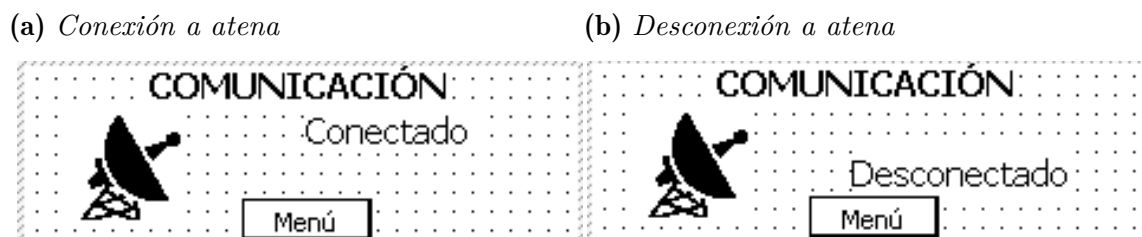


**Nota:** Se presenta el comportamiento libre de eventualidades en comparación con una en donde falta configurar los parámetros iniciales, motivo de la alarma.

**Visualización Eventos HMI KTP300:** Debido a las limitaciones del HMI KTP300, se han añadido indicadores visuales que parpadean cuando no existe conexión y cambian su propiedad de visibilidad, como se puede observar en las figuras 38 y 39.

**Figura 38**

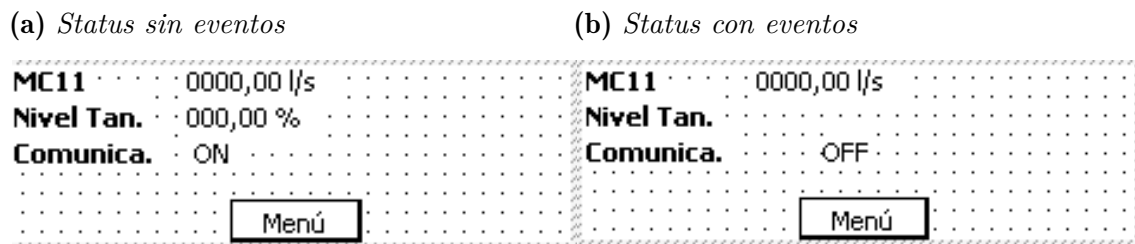
*Indicadores visuales HMI KTP300*



**Nota:** Se puede apreciar la aparición o desaparición de elemento conectado y desconectado en la pantalla KTP300, según sea el caso

**Figura 39**

*Indicadores visuales HMI KTP300*



**Nota:** Se indica la variación de la propiedad de visibilidad ante desconexión.

**Alarmas:** Las alarmas programadas en el sistema están organizadas en la tabla 2, donde se especifica su tipo y forma de activación.

**Tabla 2**

*Tabla de configuración de alarmas según su tipo*

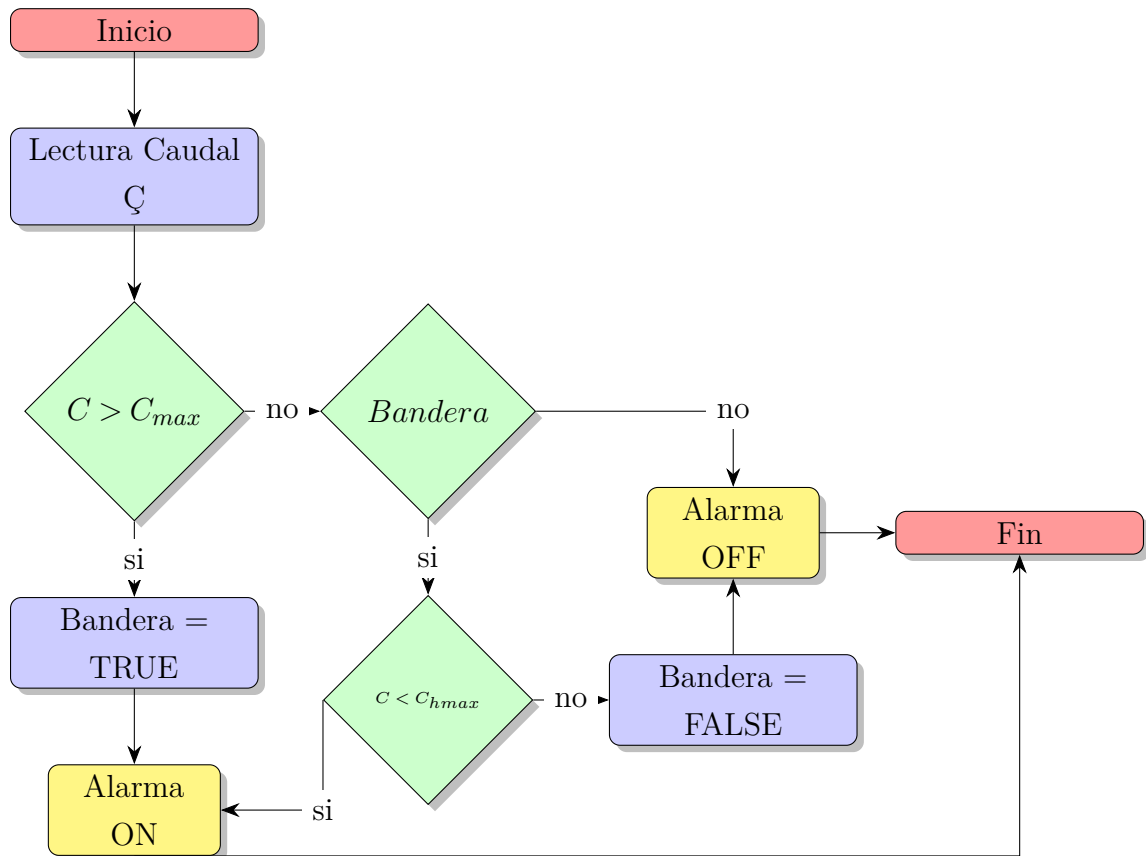
Tipo	Advertencia	Alarma	Acusada	No Acus.	Act. 1	Act. 0
Caudal máximo	X		X		X	
Caudal mínimo	X		X		X	
Nivel máximo	X		X		X	
Nivel mínimo	X		X		X	
Desconexión		X	X			X
Configuración	X			X	X	

**Nota:** Se puede observar el tipo de eventualidad según su tipo, forma de activación y acusación

**Nivel y caudal:** Para las alarmas de nivel y caudal máximo y mínimo se opta por el funcionamiento explicado en las figuras 40, 41, 42 y 43.

**Figura 40**

*Diagrama de flujo para caudal máximo*

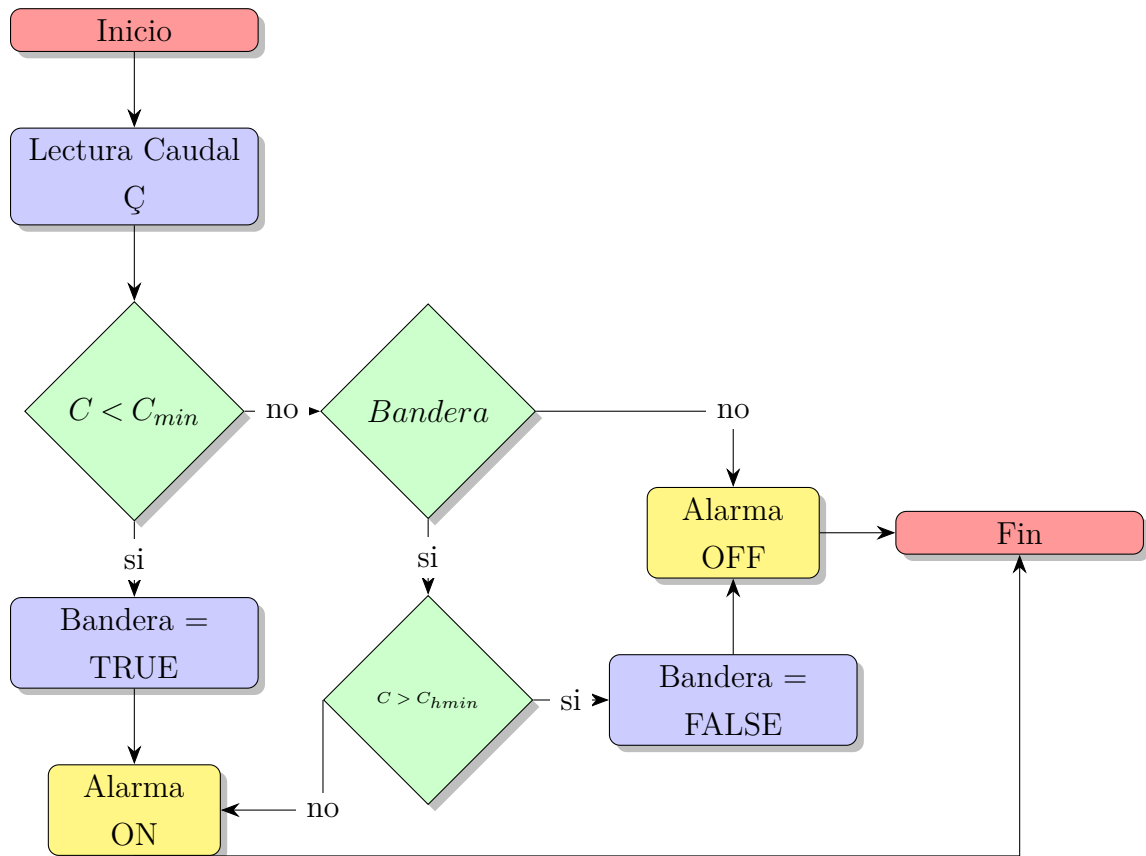


**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para caudal máximo.



**Figura 41**

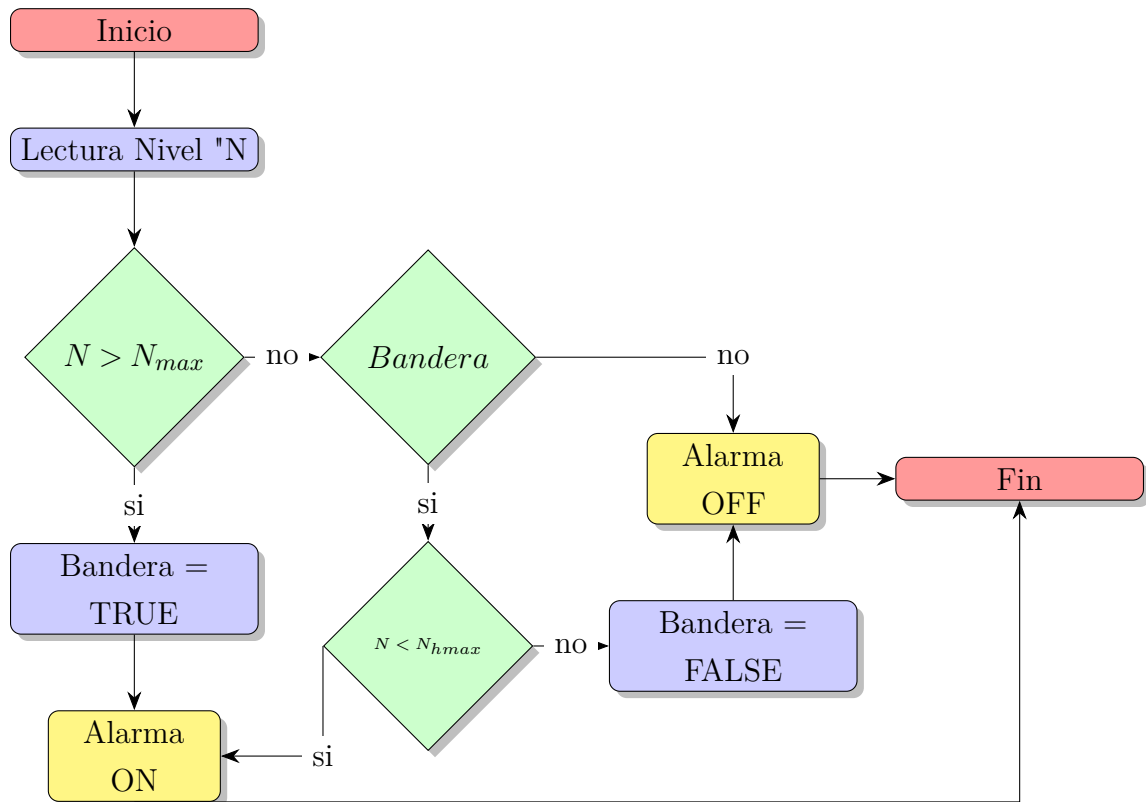
*Diagrama de flujo para caudal mínimo*



**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para caudal mínimo.

**Figura 42**

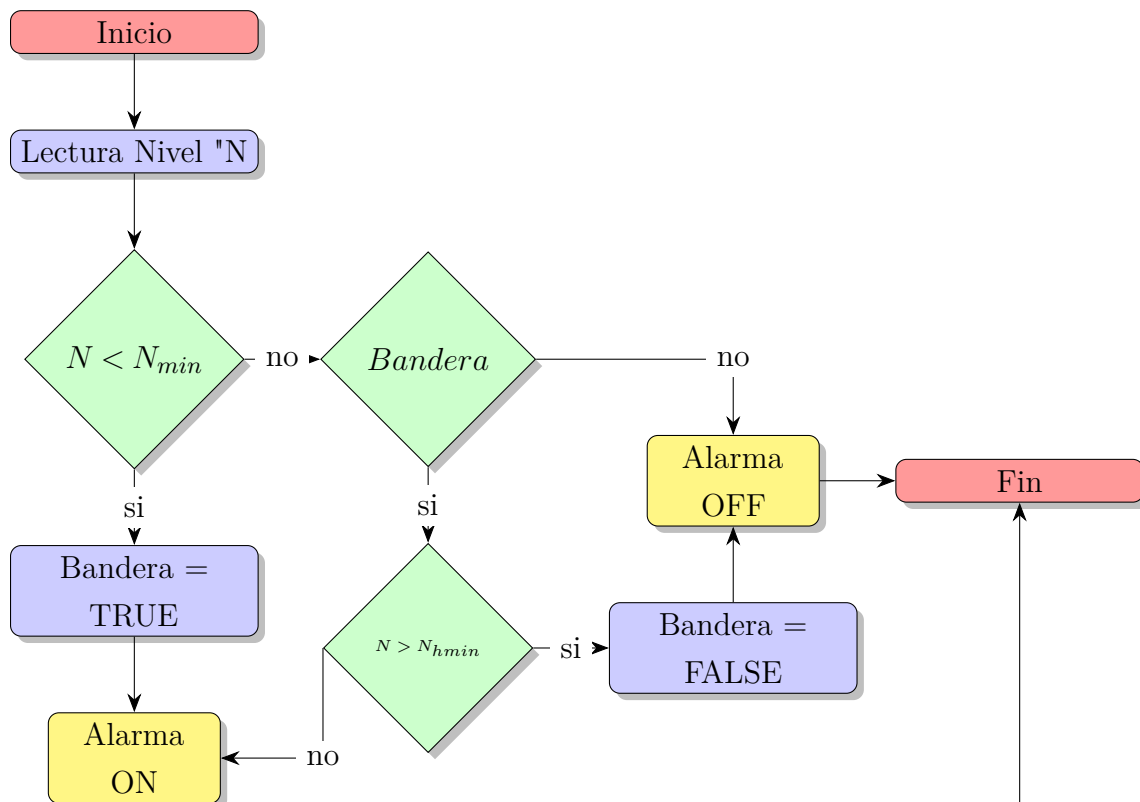
*Diagrama de flujo para nivel máximo*



**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para nivel máximo.

**Figura 43**

*Diagrama de flujo para nivel mínimo*

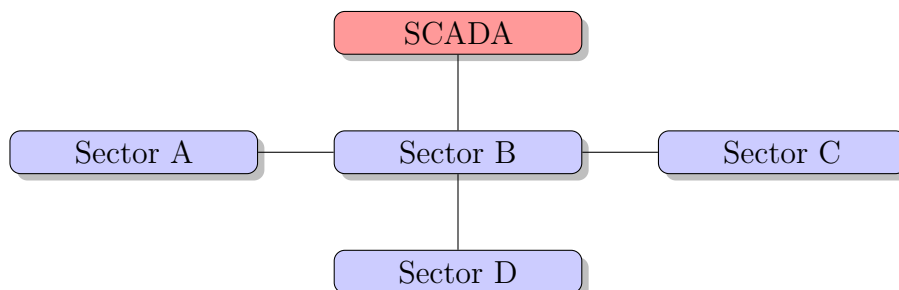


**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para nivel mínimo.

**Desconexión:** Diagrama de flujo del funcionamiento de la alarma

**Figura 44**

*Flujo datos entre sectores*



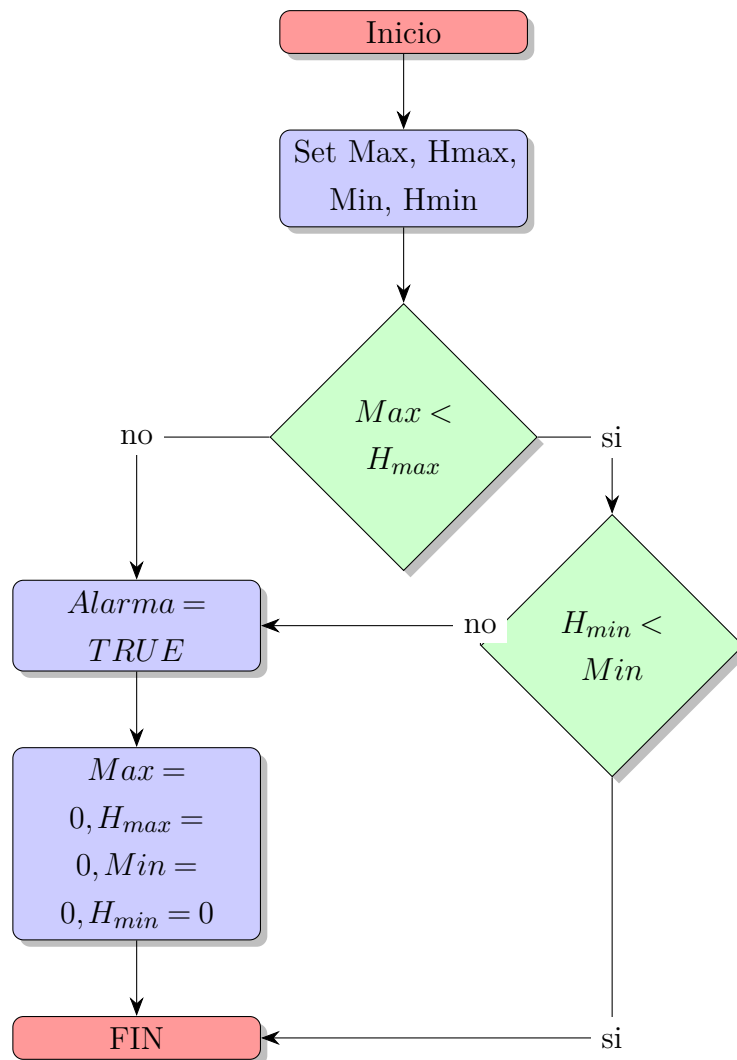
**Nota:** Mediante este gráfico se expone la existencia de un nodo B que hace de emisor y receptor entre los demás sectores y que en caso de romperse la conexión alertara al SCADA

## Alarmas Auxiliares:

**Ordenamiento datos de configuración:** Para las configuraciones, se han establecido alarmas que indican cuando los valores ingresados son incorrectos, estas alarmas pueden ser borrarlas hasta que sean ingresadas de manera correcta, como se explica en la figura 45.

**Figura 45**

*Diagrama de flujo de ordenamiento para configuraciones*



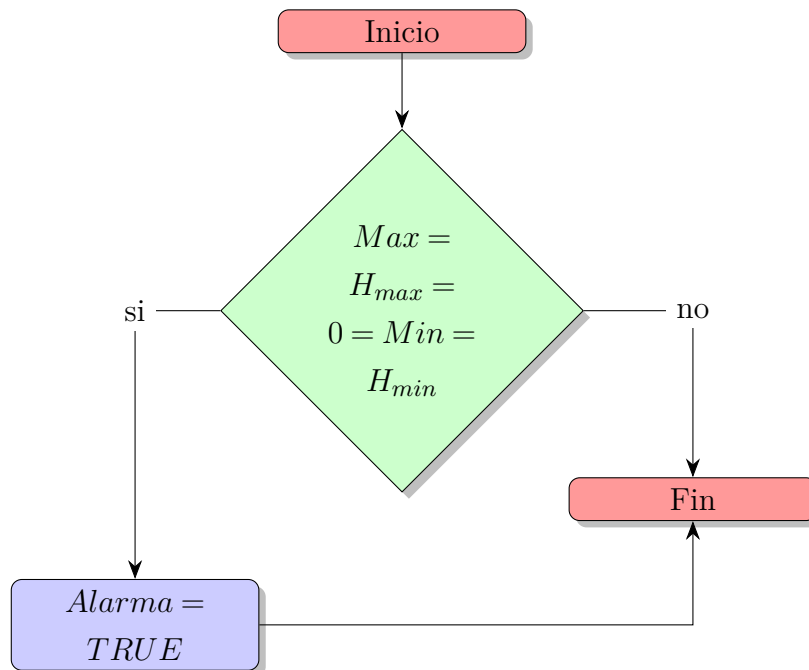
**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para el seteo de configuración iniciales, disparando una alarma en el caso de no ser configuradas.

**Corrección de seteo de configuraciones al arrancar:** Además, en caso de no tener configuraciones iniciales o cuando el servidor se reinicia, se ha contemplado que si las configuraciones son todas cero, saltará una alarma para esta eventualidad.

$$Max = H_{max} = 0 = Min = H_{min}$$

**Figura 46**

*Diagrama de flujo de ordenamiento para configuraciones*



**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo para el seteo de configuración iniciales, disparando una alarma en el caso de no ser configuradas.

**Seguridad de datos:** De acuerdo con los requerimientos, se han especificado dos tipos de usuarios: operario y administrador. El operario tiene permisos para visualizar y acceder a todas las ventanas, excepto a las de usuarios y configuraciones, donde se encuentran las credenciales y los datos de configuraciones iniciales para los sensores. Por otro lado, el usuario administrador tiene acceso a todas las ventanas disponibles, como se detalla en la tabla 3.

**Tabla 3***Permisos***(a)** *Permisos de usuario*

Tipo Usuario	Ubicación	Arquitectura	Alarmas	Curvas
Operario	X	X	X	X
Administrador	X	X	X	X

**(b)** *Permisos de usuario*

Tipo Usuario	Historicos	Red	Usuarios	Log In	Configuraciones
Operario	X	X	-	X	-
Administrador	X	X	X	X	X

**Nota:** Se puede observar los permisos y la categoria de usuarios necesaria para poder tenerlos.

**Programación Numérica:** Para la recolección de datos, se utilizan sensores de presión hidrostática que indican la presión del líquido en la altura de instalación. Estos datos deben ser transformados para obtener el nivel del tanque y su volumen actual mediante una ecuación 1.

$$h = \frac{P - P_{atm}}{\rho \cdot g} \quad (1)$$

Donde:

$P$  : Presión registrada sensor [Pa]

$P_{atm}$  : Presión atmosférica [Pa]

$\rho$  : Densidad agua [ $1000 \frac{Kg}{m^3}$ ]

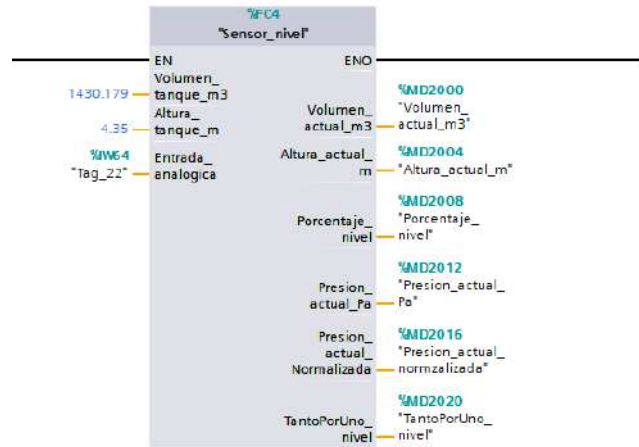
$g$  : Gravedad [ $9.81 \frac{m}{s^2}$ ]

$h$  : Altura del líquido [m]

**Módulo de cálculo de porcentaje y volumen:** El dato de porcentaje y volumen necesarios para el HMI se obtienen mediante la creación de estructuras de cálculo, representadas en la figura 47. Esta estructura realiza los siguientes cálculos internos.

**Figura 47**

*Módulo de cálculo de nivel*



**Nota:** Se puede observar el módulo con el cual se puede obtener los parametros de salida deseados, conforme a la lectura de la entrada analógica en la que se encuentra el sensor analógico de nivel, (Siemens, 2023b).

La altura registrada " $h_{registrada}$ " se calcula mediante la ecuación 47, utilizando el valor de la entrada analógica como presión registrada en ese instante en el sistema.

El volumen actual se calcula mediante:

$$V_{actual} = V_{tanque} \cdot \frac{h_{registrada}}{h_{máxima}} [m^3]$$

El porcentaje de nivel se calcula mediante:

$$P_{nivel} = 100 \cdot \frac{h_{registrada}}{h_{máxima}} [\%]$$

El tanto por uno de nivel se calcula mediante:

$$U_{nivel} = \frac{h_{registrada}}{h_{máxima}}$$

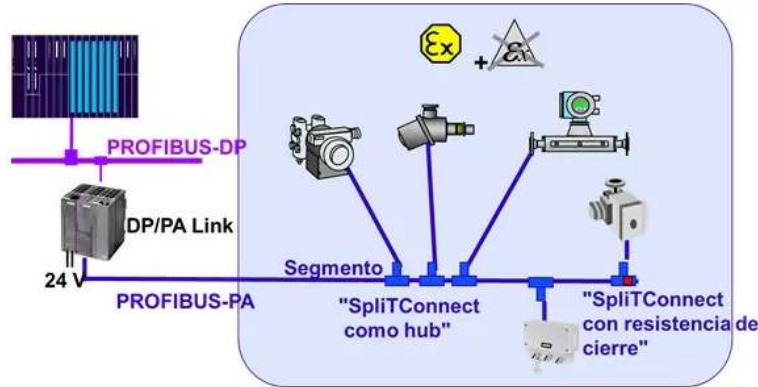
### Adquisición de datos

**Protocolo Profibus:** La adquisición de datos se consigue mediante la comunicación industrial maestro-esclavo en serie. Los controladores lógicos programables (PLC) actúan

como maestros y solicitan información a los caudalímetros Sitrans de Siemens, que actúan como esclavos como se puede ver en la figura 48. Esta comunicación se lleva a cabo mediante conexiones serie RS232 entre los diferentes tramos y zonas respectivas.

**Figura 48**

*Conexión Profibus*



**Nota:** En presente diagrama se puede observar la conexión Profibus de los caudalímetros, siendo estos esclavos, (Muñoz, 2023).

**Implementación en la planta:** La conexión del caudalímetro SITRANS MAG 6000 a una red Profibus se realiza mediante un módulo de interfaz de comunicación específico (CIU) que se puede visualizar en la figura . La CIU se conecta al caudalímetro a través de una conexión de cable de par trenzado y se conecta a la red Profibus mediante un conector de bus de campo. El caudalímetro se configura como un esclavo en la red Profibus y se le asigna un identificador único, un número de dirección Profibus según el cuadro 4. Los datos de medición de caudal se transmiten a través de la red Profibus a un controlador maestro, que puede ser utilizado para supervisar y controlar el sistema.



**Tabla 4**

*ID para la conexión Profibus según el sector*

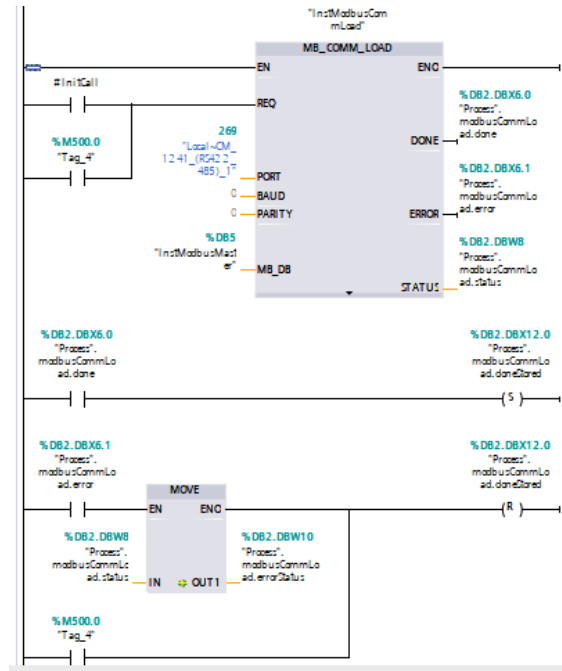
Sector	Cantidad	ID
Sector A	2	1-2
Sector B	8	3-10
Sector C	2	11-12
Sector B	1	13

**Nota:** En la tabla previa se puede visualiar el ID correspondiente a los elementos esclavos de cada sector.

**Adquisición de datos:** El protocolo Profibus utiliza un formato de datos basado en el estándar de comunicación industrial IEC 1158. Este estándar establece que los datos deben ser transmitidos en formato de bloques de datos, con cada bloque compuesto por una serie de bytes organizados de manera específica. Cada bloque de datos incluye una dirección de esclavo y un conjunto de bytes de datos, que pueden contener información sobre el estado de un dispositivo o los datos de medición de un sensor. Los dispositivos en una red Profibus se comunican mediante el intercambio de estos bloques de datos, para lograr esta tarea se utilizo módulos para la obtencion de datos, estos módulos configurados se encuentran en las Figuras 49, 50 y 51.

**Figura 49**

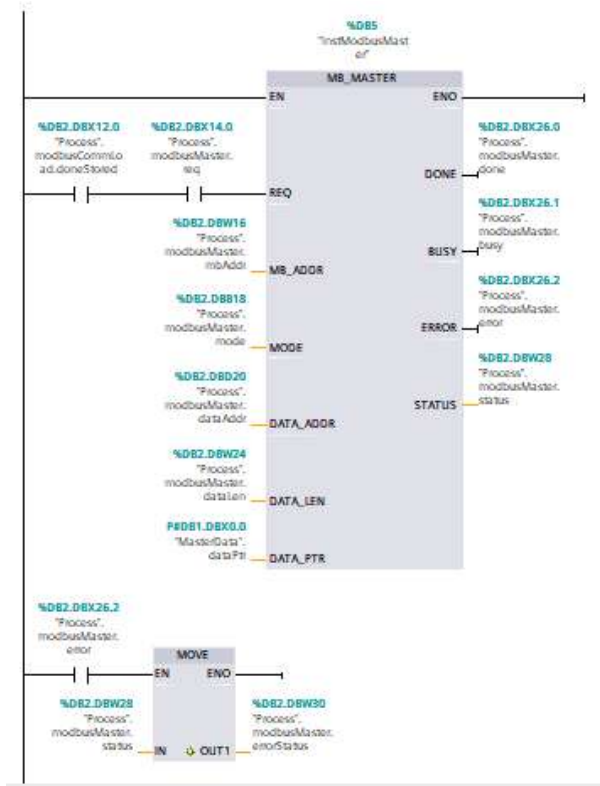
*Módulo de inicialización Profibus.*



**Nota:** Se puede observar el módulo con el cual se inicializa una comunicación con los caudalímetros mediante los parámetros establecidos para Profibus, (Siemens, 2023a).

**Figura 50**

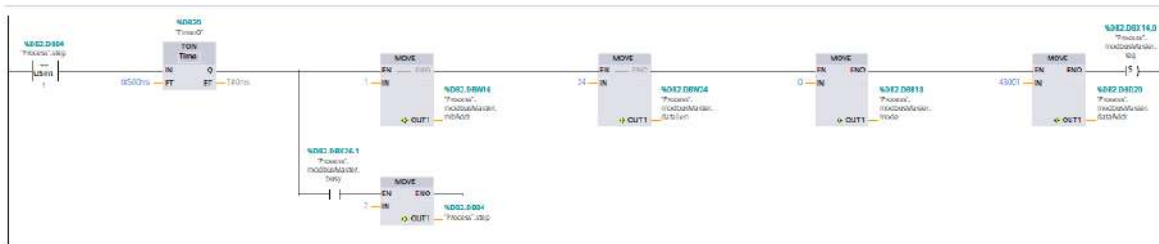
*Módulo de maestro Profibus.*



**Nota:** Se puede observar el módulo con el cual solicita los datos de los sensores e indica si existe algún error, (Siemens, 2023a).

**Figura 51**

*Módulo esclavo para suministrar datos.*



**Nota:** Se puede observar el módulo con el que se obtienen los datos leídos del sensor a manera de trama y se pasa a una base de datos paralela, (Siemens, 2023b).

**Ventajas y desventajas:** Ventajas de utilizar el protocolo Modbus para la adquisición de datos en una planta potabilizadora de agua:

- **Simplicidad:** Modbus es un protocolo de comunicación de red simple y fácil de implementar. Es un estándar abierto que se utiliza ampliamente en la industria y es compatible con una amplia variedad de dispositivos y controladores.
- **Bajo costo:** debido a su amplia disponibilidad y aceptación en la industria, los dispositivos y controladores compatibles con Modbus suelen ser más económicos.
- **Fiabilidad:** Modbus ha sido ampliamente probado y utilizado en una variedad de aplicaciones industriales, lo que garantiza una comunicación fiable.

Desventajas de utilizar el protocolo Modbus para la adquisición de datos en una planta potabilizadora de agua:

- **Limitaciones de velocidad:** Modbus tiene una velocidad de transmisión de datos más baja en comparación con otros protocolos de comunicación industrial más modernos, lo que puede ser un problema en aplicaciones que requieren una gran cantidad de datos en tiempo real.
- **Limitaciones de seguridad:** Modbus no tiene características de seguridad incorporadas, lo que lo hace vulnerable a ataques externos.
- **Limitaciones de escalabilidad:** Modbus tiene limitaciones en cuanto a la cantidad de dispositivos que pueden conectarse a una red, lo que puede ser un problema en aplicaciones de gran escala.

En general, el protocolo Modbus es una buena opción para la adquisición de datos en una planta potabilizadora de agua debido a su simplicidad y bajo costo, pero se deben tener en cuenta sus limitaciones en cuanto a velocidad, seguridad y escalabilidad.

**Base de datos:** Los datos obtenidos de los sensores son almacenados en una base de datos propia del sistema TIA PORTAL 16. Los datos se recolectan con un intervalo de 10 minutos entre muestras para evitar sobrecargar el sistema debido que no existen cambios significativos en períodos cortos de tiempo, durante el proceso. El formato de exportación de datos es similar al indicado en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5***Datos de expotación para caudalímetros y totalizadores*

Fecha	$MC1 \left[ \frac{l}{s} \right]$	$TMC1 [m^3]$	...	$MC13 \left[ \frac{l}{s} \right]$	$TMC13 [m^3]$
HH:mm:ss	000.00	000000.00	...	000.00	000000.00

**Nota:** Se puede visualizar el formato de datos que se exporta en los informes correspondiente a los datos de caudal y totalizadores de cada caudalímetro desde MC1 al MC13

**Tabla 6***Datos de expotación para nivel de tanque*

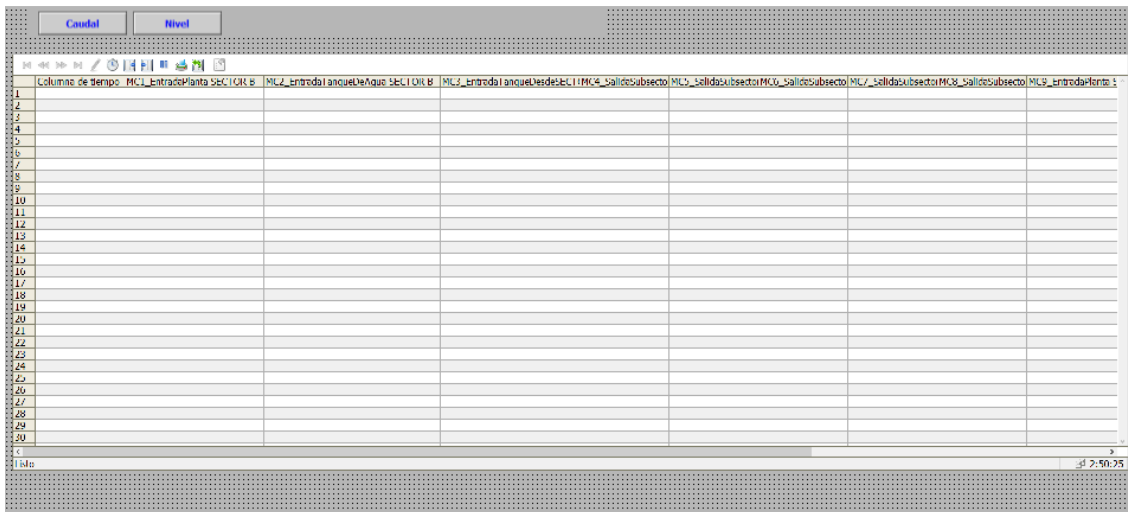
Fecha	$PT1 [\%]$	$VT1 [m^3]$	...	$PT4 [\%]$	$VT4 [m^3]$
HH:mm:ss	000.00	00000.00	...	000.00	00000.00

**Nota:** Se puede visualizar el formato de datos que se exporta en los informes correspondiente a los datos de nivel y volumen en cada tanque de almacenamiento desde el T1 al T3

**Tablas:** Los datos almacenados en la base de datos Historial Data de TIA PORTAL 16 son accesibles en la pestaña Históricos, y a través de las subventanas caudal y nivel, se puede acceder a cada ventana respectivamente, como se puede ver en la figura 52.

**Figura 52**

*Ventana de Tablas*



The screenshot shows a software interface with two tabs at the top: 'Caudal' and 'Nivel'. Below the tabs is a toolbar with various icons. The main area is a data table with the following columns: 'Columna de tiempo', 'MCL\_EntradaPlanta SECTUR B', 'MCL\_EntradaInqueDeAque SECTUR B', 'MCL\_EntradaInqueDeAqueSECTUR C', 'MCO\_Salidasubsector', 'MCO\_SalidasubsectorMCO', 'MCO\_SalidasubsectorMCO', 'MCO\_SalidasubsectorMCO', 'MCO\_SalidasubsectorMCO', and 'MCO\_SalidasubsectorMCO'. The table has 30 rows, numbered 1 to 30 on the left side. The bottom status bar shows '11Mo' and '7:50:75'.

**Nota:** Se puede visualizar la pantalla en la cual se registran los datos de caudal, totalizadores, nivel y volumen de cada elemento sensado.

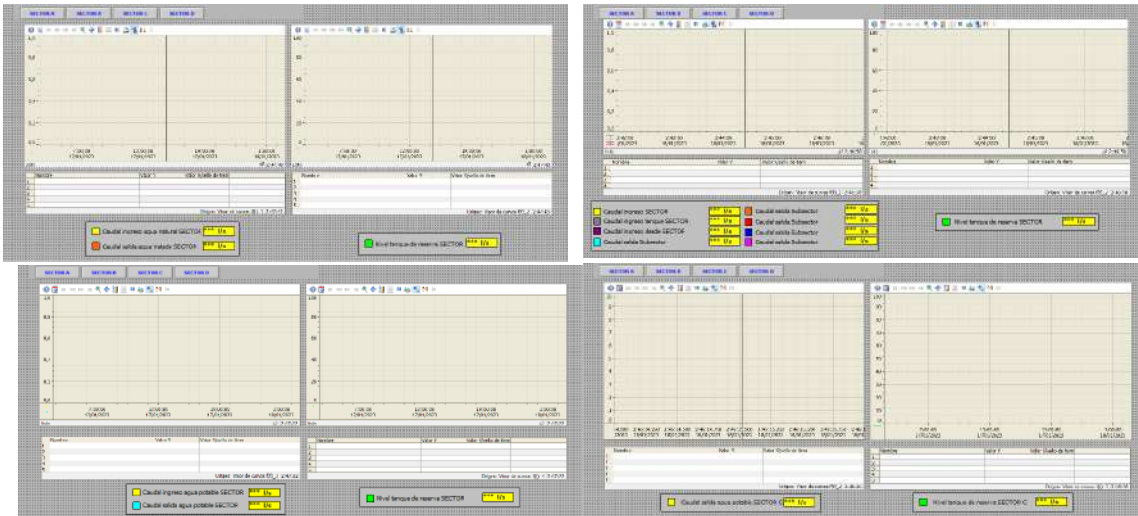
**Curvas:** En la ventana de curvas, se utilizan los datos almacenados en la base de datos Historial Data de TIA PORTAL 16 para generar gráficas de los niveles y caudales. Estas gráficas se dividen por sectores mediante subventanas accesibles desde esta pestaña en la figura 53.

**Figura 53**

*Ventana de Curvas*

**(a) Sector A**

**(b) Sector B**



**(c) Sector C**

**(d) Sector D**

**Nota:** Se puede observar las diferentes pantallas de curvas, en las cuales se puede ver el comportamiento de caudal y nivel de manera sectorizada.

**Informes semanales:** La información recolectada durante la semana se almacena en forma de informe de manera programada cada lunes a las 8:00 am. Este informe incluye los datos obtenidos por cada sensor y totalizador de las tablas 5, 6, mediante dos informes: el informe de caudalímetros y el informe de nivel. El formato de estos documentos se muestra en la figura 7

**Tabla 7**

*Formato de informe de explotación de datos*

**JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE**

18/01/2023 1:00:32

Columna de tiempo	NT1_Tanque SECTOR B	NT2_Tanque SECTOR	NT3_Tanque SECTOR C	NT4_Tanque SECTOR D	
1	18/01/2023 0:56:51	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
2	18/01/2023 0:56:56	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
3	18/01/2023 0:57:01	7,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
4	18/01/2023 0:57:06	20,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
5	18/01/2023 0:57:11	34,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
6	18/01/2023 0:57:16	48,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
7	18/01/2023 0:57:21	27,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
8	18/01/2023 0:57:26	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
9	18/01/2023 0:57:31	32,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
10	18/01/2023 0:57:36	34,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
11	18/01/2023 0:57:41	41,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
12	18/01/2023 0:57:46	20,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
13	18/01/2023 0:57:51	14,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
14	18/01/2023 0:57:56	33,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
15	18/01/2023 0:58:01	12,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
16	18/01/2023 0:58:06	8,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
17	18/01/2023 0:58:11	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
18	18/01/2023 0:58:16	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
19	18/01/2023 0:58:21	5,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
20	18/01/2023 0:58:26	16,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
21	18/01/2023 0:58:31	11,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
22	18/01/2023 0:58:36	42,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
23	18/01/2023 0:58:41	4,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
24	18/01/2023 0:58:46	2,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
25	18/01/2023 0:58:51	32,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
26	18/01/2023 0:58:56	1,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
27	18/01/2023 0:59:01	45,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
28	18/01/2023 0:59:06	12,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
29	18/01/2023 0:59:11	22,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
30	18/01/2023 0:59:16	33,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
31	18/01/2023 0:59:21	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
32	18/01/2023 0:59:26	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
33	18/01/2023 0:59:31	1,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
34	18/01/2023 0:59:36	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
35	18/01/2023 0:59:41	41,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
36	18/01/2023 0:59:46	35,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
37	18/01/2023 0:59:51	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
38	18/01/2023 0:59:56	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
39	18/01/2023 1:00:01	40,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]

INFORME\_TANQUES\_ESP.

**Nota:** Se puede apreciar como es el formato de informe establecido para guardar los registros de datos de nivel, volumen y caudal con totalizadores.

**6.2.3. Realizar pruebas en el sistema de monitoreo de la distribución de agua potable**

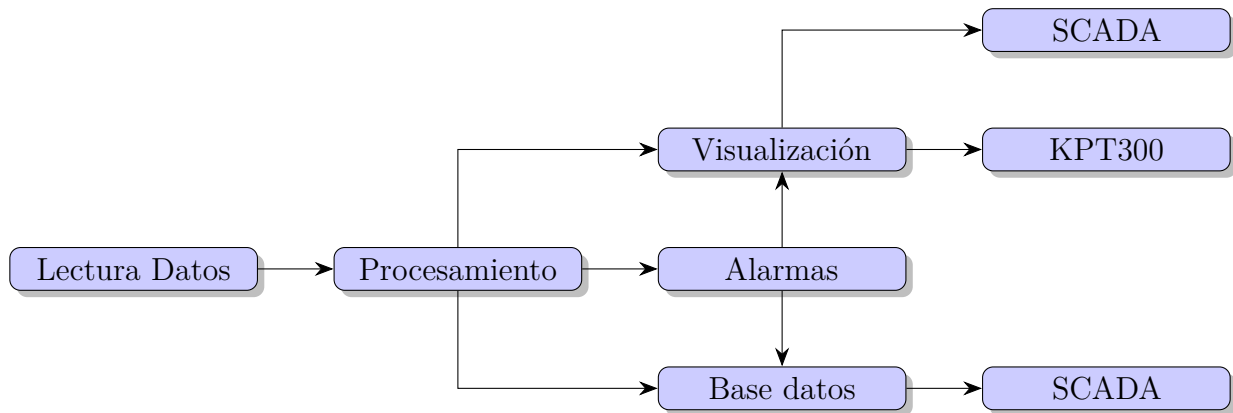
El sistema de monitoreo tiene 4 células de trabajo interconectadas entre sí. Estas células permiten compartir información entre el sistema mediante antenas que permiten el flujo de información. Cada una de estas células de trabajo dispone de los procesos mencionados en la subsección anterior.

**Simulación de celula:** Cada subsistema de revisión cuenta con un módulo PLC para la lectura y procesamiento de datos, una pantalla ktp300 para visualizar acciones de lectura, medición y



**Figura 54**

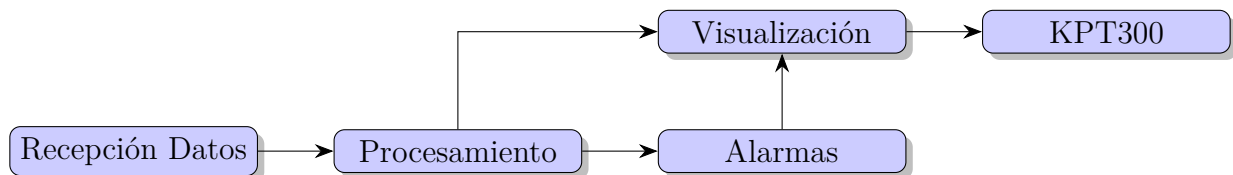
*Procedimientos de una célula de revisión*



**Nota:** Se puede visualizar el flujo de datos en el centro de revisión y como esta información computada se traslada a otros elementos

**Figura 55**

*Procedimientos de la pantalla KPT300*



**Nota:** Se puede visualizar el procesamiento interno que tiene la pantalla para de esta manera activar las alertas de alarmas propias del dispositivo, con sus indicadores visuales, además de los indicadores visuales programados

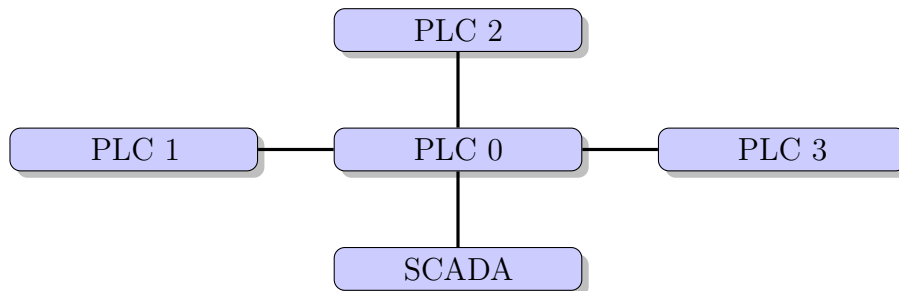
errores. Estos sistemas se encuentran funcionando de manera autónoma y conectados como se puede apreciar en el diagrama 54.

**Diagrama de funcionamiento de unidad PLC:** El PLC funciona leyendo los valores de caudal y nivel en cada sector de monitoreo, la lectura del dato de los sensores desencadena su procesamiento para posteriormente enviarlo a visualizar en las pantallas HMI.

**Diagrama de funcionamiento de unidad KTP 300:** El pantallas KTP 300 obtienen los valores de caudal y nivel en cada sector de monitoreo, lo procesan y envían de ser el caso envían a los registros de alarmas para posteriormente ser visualizado.

**Figura 56**

*Topología de red*



**Nota:** Se puede visualizar el flujo de datos entre los centros de revisión que poseen un PLC de comando a los demás centros de la red

**Sistema General:** El sistema de revisión se puede conseguir mediante la integración de los 4 subsistemas de cada zona A, B, C, D respectivamente; enviando datos de manera centralizada mediante antenas de comunicación a el sistema SCADA de revisión. Esta comunicación se logra mediante la siguiente arquitectura indicada en la figura 56.

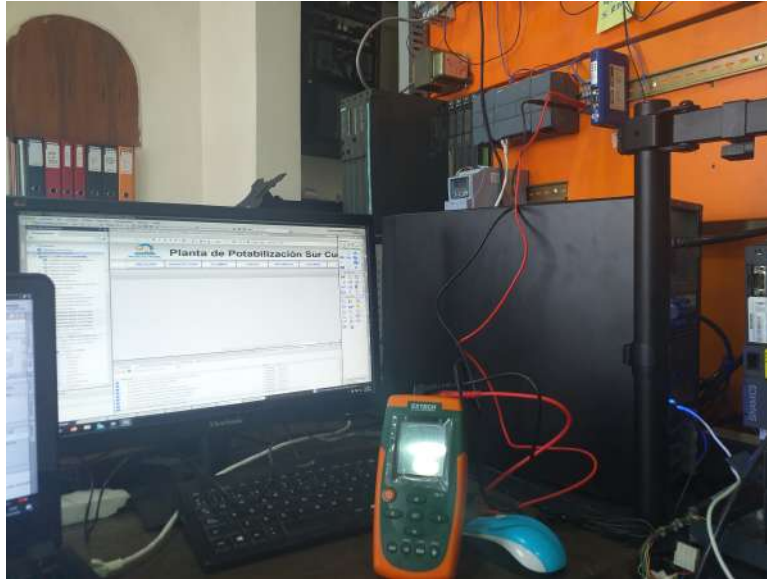
#### **Diagrama de funcionamiento de en arquitectura**

##### ■ **Prueba de PLC y funcionamiento sensor de nivel:**

Como se puede apreciar en las figuras refprb1, ?? y 58, se llevaron a cabo pruebas del PLC S7-1200 y una señal analógica proporcionada por un regulador de voltaje, ya que el sensor hidrostático LH100 entrega una señal analógica, en la cual se programó la recepción de la señal, convirtiéndola en el valor del nivel de agua en metros cúbicos. Estas pruebas permiten verificar la correcta conexión y funcionamiento del PLC y el sensor, así como la precisión de la medición del nivel de agua.

## Figura 57

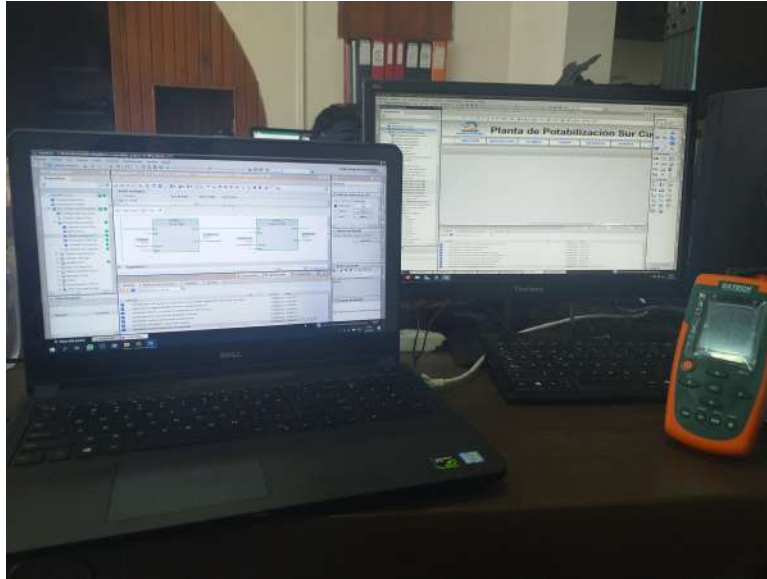
*Prueba PLC señal analogica.*



**Nota:** Se puede visualizar pruebas realizadas con un generador de onda conectado al PLC para simular la lectura de una variable analógica.

## Figura 58

*Prueba PLC señal analogica y Servidor.*



**Nota:** Su puede visualizar la comunicación de los valores medidos por el PLC (izquierda) con el sistema de monitoreo, servidor (derecha).

- **Prueba de funcionamiento de los tableros:** Como se puede apreciar en la figura 59, se construyeron tableros eléctricos, en los cuales se realizaron pruebas de continuidad y lectura de voltaje mediante un multímetro. El tablero se alimenta con una energía de 220 V. Se verificaron todos los componentes utilizados en el tablero y su funcionalidad, con el objetivo de reducir la caída de voltaje. Estas pruebas garantizan que el tablero esté correctamente conectado y funcionando para el correcto funcionamiento del sistema.
  - **Caída de voltaje SECTOR A:** (Tablero General de Medicion a Supresor de Trasiertes)= 0.85% (Supresor de Trasiertes a Caudalimetro MC9)= 0.04% (Supresor de Trasiertes a Caudalimetro MC10)= 0.04%. Dando como resultado 0.93% lo que permitira que el voltaje se encuentre dentro de los valores del 2% requeridos por la normativa NEC.
  - **Caída de voltaje SECTOR B:** (Tablero General de Medicion a Resitencia)= 2,35% (Resitencia a Supresor de Trasiertes)= 0.22% (Supresor de Trasiertes a Caudalimetro MC1)= 0.07% (Supresor de Trasiertes a Caudalimetro MC3)= 0.01%

(Supresor de Trasientes a Caudalimetro MC4)= 0.04%. Dando como resultado 2.69% lo que permitira que el voltaje se encuentre dentro de los valores del 3% requeridos por la normativa NEC.

- **Caida de voltaje SECTOR C:** (Tablero General de Medicion a Supresor de Trasientes)= 0.6% (Supresor de Trasientes a Caudalimetro MC11)= 0.03%. Dando como resultado 0.63% lo que permitira que el voltaje se encuentre dentro de los valores del 2% requeridos por la normativa NEC.
- **Caida de voltaje SECTOR D:** (Tablero General de Medicion a Supresor de Trasientes)= 1% (Supresor de Trasientes a Caudalimetro MC12)= 0.02% (Supresor de Trasientes a Caudalimetro MC13)= 0.02%.. Dando como resultado 1.04% lo que permitira que el voltaje se encuentre dentro de los valores del 2% requeridos por la normativa NEC.

**Figura 59**

*Tablero de revisión.*



**Nota:** Es puede visualizar el tablero de revisión en el cual se encuentra la infraestructura necesaria para la alimentación, conexión de sensores, PLC además de sus protecciones.

- **Prueba de comunicación de los caudalímetros:** Como se puede observar en las figuras 60, 61, 62 y 63, se llevó a cabo la prueba de comunicación de varios caudalímetros conectados en serie mediante PROFIBUS y los módulos RS234/485 del PLC. Esto con el fin de visualizar los datos de los caudalímetros recopilados por el PLC en el servidor. Con esta prueba se comprueba que los caudalímetros están correctamente conectados y funcionando y que la comunicación entre los dispositivos y el servidor es fluida.

### Figura 60

*Dispositivos Tablero /Caudalímetros.*



**Nota:** Es puede visualizar 8 de los 13 caudalímetros de la marca Siemens con los que se realizo la conexión.

## Figura 61

*Conexion Caudalimetros.*



**Nota:** Se puede visualizar la conexión de par con los pines respectivos correspondientes a una conexión Profibus.

## Figura 62

*Conexion Caudalimetros con Servidor.*



**Nota:** Se puede visualizar la prueba conexión, lectura y registro de los caudalímetros mediante profibus a un centro de revisión conectado al servidor.

**Figura 63**

*Datos obtenidos caudalimetro.*

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arran...	Valor de observac...	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visib...
Static								
DatosHmiCaudalimet...	*typeDataCaud...	0.0						
FlujoMáscico	Real	0.0	0.0	0.0				
CaudalVolumetrico	Real	4.0	0.0	0.6556799				
Densidad Absoluta	Real	8.0	0.0	0.0				
Temperatura sens...	Real	12.0	0.0	0.0				
Fraccion A	Real	16.0	0.0	0.0				
Fraccion B	Real	20.0	0.0	0.0				
% Fraccion A	Real	24.0	0.0	0.0				
Totalizador 1	LReal	28.0	0.0	713.169276983928				
Totalizador 2	LReal	36.0	0.0	0.0353314942293				
Totalizador 1 F	Real	44.0	0.0	713.1693				
Totalizador 2 F	Real	48.0	0.0	0.0				
DatosHmiCaudalimet...	*typeDataCaudal...	52.0						
FlujoMáscico	Real	52.0	0.0	0.0				
CaudalVolumetrico	Real	56.0	0.0	0.0				
Densidad Absoluta	Real	60.0	0.0	0.0				
Temperatura sens...	Real	64.0	0.0	0.0				
Fraccion A	Real	68.0	0.0	0.0				
Fraccion B	Real	72.0	0.0	0.0				
% Fraccion A	Real	76.0	0.0	0.0				
Totalizador 1	LReal	80.0	0.0	28.7527861217708				
Totalizador 2	LReal	88.0	0.0	0.0040094924024...				
Totalizador 1 F	Real	96.0	0.0	28.75279				
Totalizador 2 F	Real	100.0	0.0	0.0				
DatosHmiCaudalimet...	*typeDataCaudal...	104.0						
FlujoMáscico	Real	104.0	0.0	0.0				
CaudalVolumetrico	Real	108.0	0.0	0.0				
Densidad Absoluta	Real	112.0	0.0	0.0				

**Nota:** Se puede visualizar la lectura de datos por cada caudalimetro.

- **Prueba de comunicación entre PLCs:** Como se puede observar en las figuras indicadas 64, 65, 66 y 67, se llevó a cabo una prueba de comunicación entre los PLCs de los tableros y el servidor. En esta prueba se desconectaba intencionalmente la red de los PLC, lo que representaba una desconexión con una de las antenas. Con esto se verificaba la funcionalidad de las alarmas. Esta prueba permite comprobar que el sistema está preparado para detectar y notificar cualquier problema en la conectividad, garantizando así la continuidad del servicio.



**Figura 64**

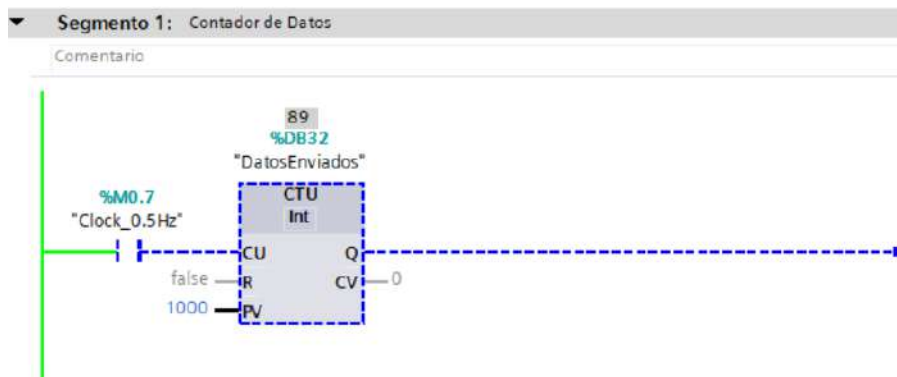
*Comunicacion entre PLCs.*



**Nota:** Prueba de conexiones y comunicación entre tablero de monitoreo del sector A y sector B.

**Figura 65**

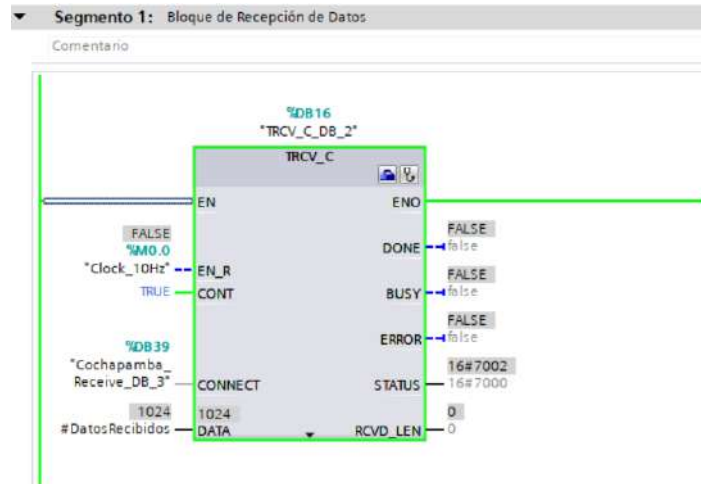
*Bloque contador de Datos.*



**Nota:** Generación de datos mediante un contador en el PLC del Sector A. Siemens AG. (10 de Enero de 2023).

**Figura 66**

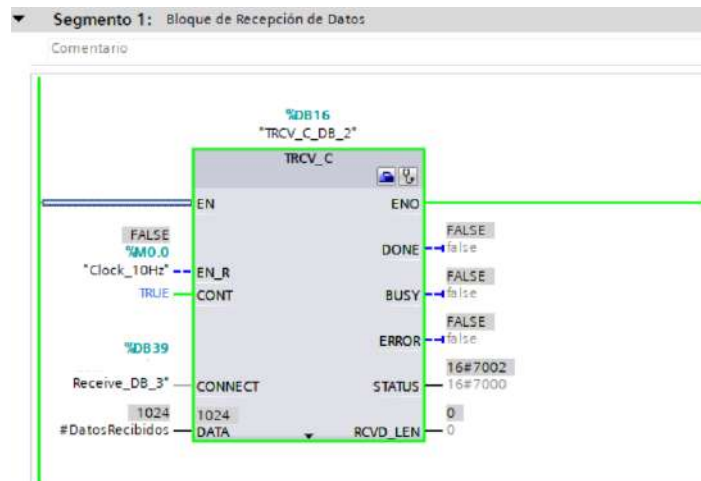
*Bloque envío de Datos.*



**Nota:** Envío de los datos del sector A hacia el PLC de sector B. Siemens AG. (10 de Enero de 2023).

**Figura 67**

*Bloque recepción de datos.*



**Nota:** Recepción de los datos del PLC del sector B. Siemens AG. (10 de Enero de 2023).

- Prueba pantallas HMI:** Como se puede observar en la figura 68, se llevó a cabo una prueba del funcionamiento de la pantalla HMI y la navegación entre imágenes. Esta prueba permite verificar que la pantalla HMI está correctamente configurada y es fácil de utilizar para los operadores, así como verificar que las imágenes y los gráficos se muestran correctamente en pantalla. Esto proporciona una interfaz sencilla y intuitiva para el monitoreo y control del sistema.

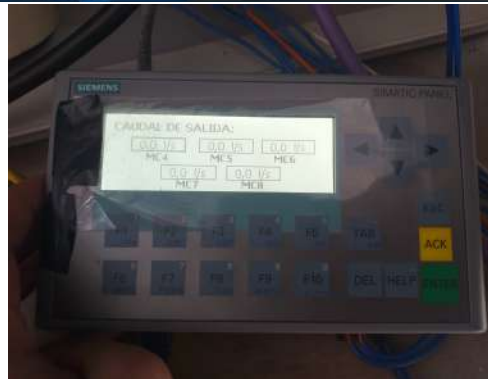
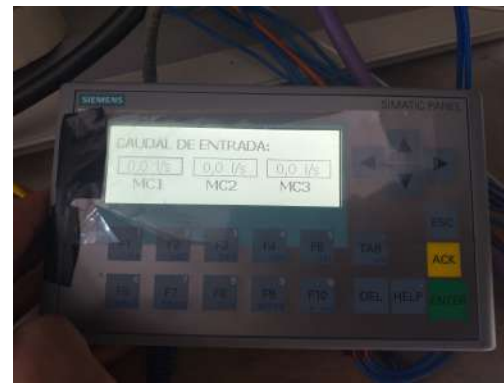
**Figura 68**

*Funcionamiento HMI*

(a) *Conexión pantalla HMI*



(b) *Visualización Caudal Entrada*



(c) *Visualización Caudal Salida*



(d) *Visualización Nivel del Tanque.*

**Nota:** Se puede observar el funcionamiento de la navegación entre ventanas de la pantalla HMI listos para ser visualizadas por el operador del sector.

## 7. Resultados

Los resultados obtenidos del funcionamiento del servidor implementado en el sistema de distribución de agua potable son positivos.

- **Ubicación:**

Se ha logrado una eficaz posicionamiento geográfico en los cuatro sectores principales de la planta. El sistema cuenta con una interfaz fácil de usar, en la cual se visualizan de manera clara e intuitiva los iconos de fallas en el sistema o fallas en la comunicación. Esto permite al operador detectar y solucionar rápidamente cualquier problema en el sistema de distribución. La figura 69 ilustra cómo se visualizan los iconos de fallas en la interfaz del sistema.

**Figura 69**

*Visualización Ubicacion de la Planta.*



**Figura 70**

*Visualización Ubicación de la Planta.*



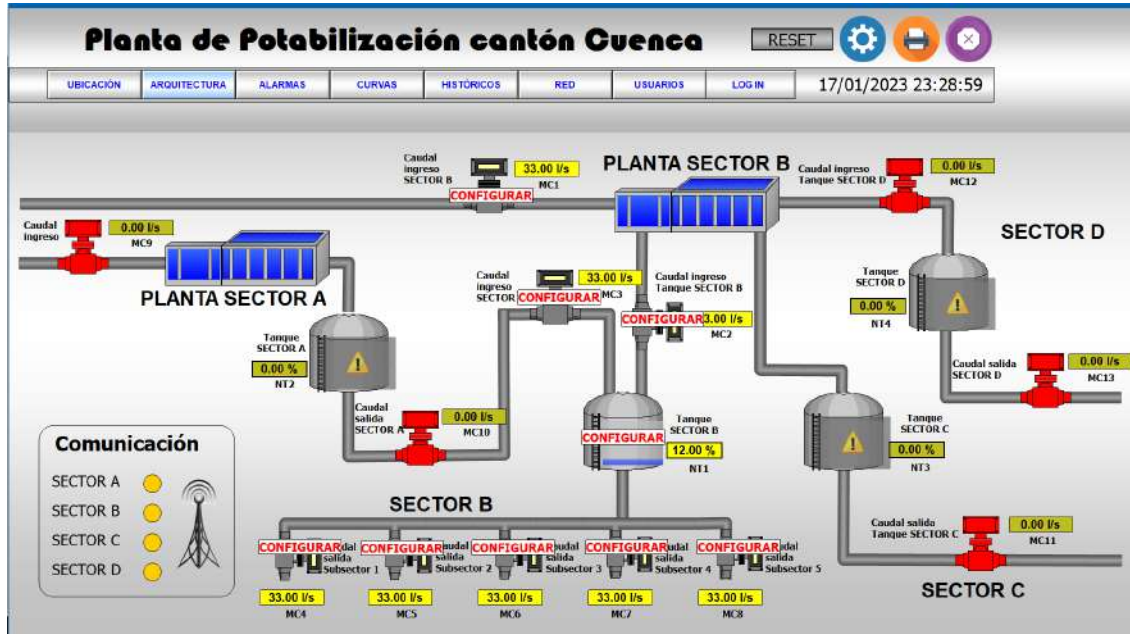
■ **Arquitectura:**

La arquitectura del sistema implementado permite al operador visualizar de manera eficiente el sistema completo de distribución de agua potable. El sistema incluye la monitorización en tiempo real de las variables de caudal en las tuberías y nivel en los tanques. Además, cuenta con un sistema de alertas que notifica al operador en caso de desconexión con los caudalímetros y sensores de nivel. Esto garantiza una mayor seguridad en el sistema y permite al operador tomar medidas rápidas para solucionar cualquier problema.

Además, el sistema permite configurar alertas para caudales y niveles máximos o mínimos, lo que es especialmente útil para garantizar el correcto funcionamiento del sistema y la calidad del agua distribuida. La figura 71 ilustra cómo se visualiza el sistema en la interfaz del operador.

Figura 71

Visualización Sistema de Distribución.

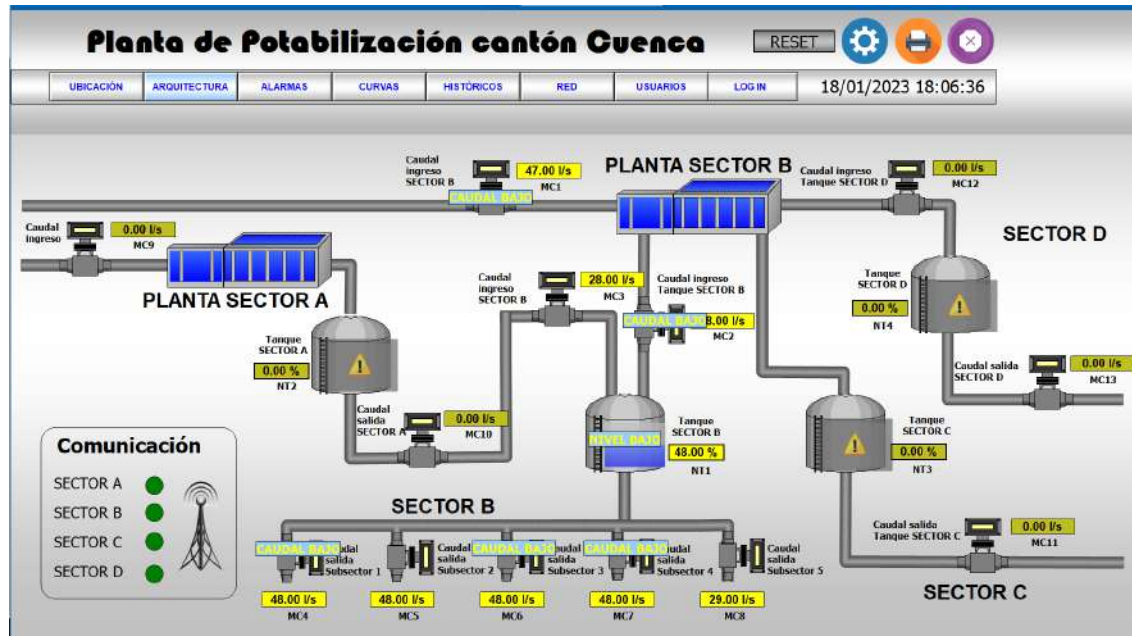


**Nota:** En la figura se puede apreciar una prueba en la que se dieron las siguientes condiciones: solo conexión del sector B, sin previo ajuste de configuraciones; validando el funcionamiento de los indicadores gráficos asociados a fallos



Figura 72

Visualización Sistema de Distribución.



**Nota:** En la figura se puede apreciar el funcionamiento de la conexión entre las antenas, la lectura de los caudalímetros del Sector B, con previo ajuste de configuraciones; validando el funcionamiento de los indicadores gráficos asociados a caudal y nivel bajo o alto

#### ■ Alarmas:

El sistema implementado cuenta con un sistema de alarmas que notifica al operador de cualquier falla en la comunicación con las antenas o desconexión con los dispositivos medidores. Esto permite al operador detectar y solucionar rápidamente cualquier problema en el sistema de distribución. Además, el sistema cuenta con alertas para niveles máximos y mínimos que ocurren durante el funcionamiento de la planta, lo que garantiza una mayor seguridad en el sistema y permite al operador tomar medidas rápidas para solucionar cualquier problema. La figura 73 ilustra cómo se visualizan las alarmas en la interfaz del operador.

**Figura 73**

*Registro Alarmas.*

Lista	Hora	Fecha	Bloque de textos de usuario 1	Archivación	Nom
1	22:02:27.686	17/01/23	DESCONEXIÓN CON ANTENA SECTOR A	X	
2	22:02:27.686	17/01/23	DESCONEXIÓN CON ANTENA SECTOR B	X	
3	22:02:27.686	17/01/23	DESCONEXIÓN CON ANTENA SECTOR D	X	
4	22:01:27.686	17/01/23	DESCONEXIÓN CON ANTENA SECTOR C	X	
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					

Lista: 4 Pendiente de acuse: 4 Oculto: 0 Lista: 4 23:29:40

■ **Curvas:**

El sistema implementado cuenta con una herramienta de visualización de curvas que permite al operador analizar de manera eficiente el comportamiento de las variables de caudal y nivel a lo largo del tiempo. Esto es especialmente útil para detectar patrones y tendencias en el sistema de distribución de agua potable. Las curvas grafican el comportamiento del flujo de agua en el sistema durante el día, lo que permite al operador analizar el rendimiento del sistema y tomar decisiones informadas. La figura 74 ilustra cómo se visualizan las curvas en la interfaz del operador.



Figura 74

Grafica de Curvas.



#### ■ Historicos:

El sistema implementado cuenta con una herramienta para la recopilación y gestión de historiales de datos, que permite al operador visualizar de manera eficiente las variables recopiladas durante el día en los 17 puntos de medición (13 caudalímetros y 4 sensores de nivel). Esto es especialmente útil para analizar el rendimiento del sistema y detectar patrones y tendencias. Los datos recopilados son exportados, respaldados y registrados para garantizar la disponibilidad y la seguridad de la información. La figura 75 ilustra cómo se visualizan los históricos de datos en la interfaz del operador.

Figura 75

Tabla de Historicos.

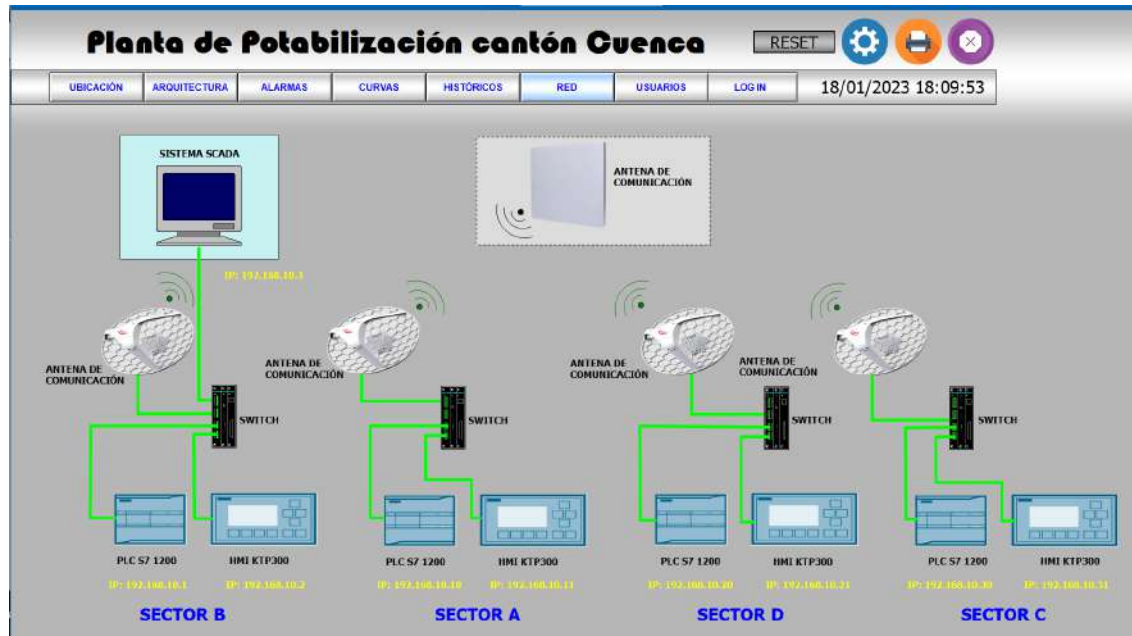
Columna de tiempo	MC1_EntradaPlanta SECTOR B	MC2_EntradaTanqueDeAgua SECTOR B	MC3_EntradaTanqueDesdeSECT	MC4_SalidaSubsector	MC5_SalidaSubsector	MC6_SalidaSubsector	MC7
1 17/01/2023 22:02:35	35,00	6,00	36,00	36,00	24,00	37,00	
2 17/01/2023 22:02:36	35,00	6,00	36,00	36,00	24,00	37,00	
3 17/01/2023 22:02:37	23,00	34,00	34,00	46,00	27,00	35,00	
4 17/01/2023 22:02:38	39,00	39,00	38,00	35,00	39,00	40,00	
5 17/01/2023 22:02:39	44,00	5,00	7,00	5,00	5,00	8,00	
6 17/01/2023 22:02:40	17,00	17,00	17,00	11,00	18,00	18,00	
7 17/01/2023 22:02:41	7,00	7,00	31,00	17,00	34,00	34,00	
8 17/01/2023 22:02:42	16,00	13,00	13,00	23,00	14,00	17,00	
9 17/01/2023 22:02:43	29,00	16,00	13,00	47,00	17,00	17,00	
10 17/01/2023 22:02:44	4,00	43,00	2,00	38,00	3,00	5,00	
11 17/01/2023 22:02:45	16,00	31,00	28,00	49,00	32,00	32,00	
12 17/01/2023 22:02:46	51,00	39,00	52,00	40,00	53,00	53,00	
13 17/01/2023 22:02:47	8,00	25,00	25,00	15,00	25,00	25,00	
14 17/01/2023 22:02:48	37,00	37,00	33,00	27,00	34,00	38,00	
15 17/01/2023 22:02:49	33,00	33,00	16,00	46,00	41,00	17,00	
16 17/01/2023 22:02:50	9,00	9,00	9,00	9,00	10,00	10,00	
17 17/01/2023 22:02:51	15,00	4,00	4,00	33,00	28,00	5,00	
18 17/01/2023 22:02:52	40,00	28,00	41,00	17,00	42,00	42,00	
19 17/01/2023 22:02:53	1,00	22,00	13,00	33,00	23,00	23,00	
20 17/01/2023 22:02:54	39,00	27,00	40,00	35,00	41,00	41,00	
21 17/01/2023 22:02:55	47,00	5,00	4,00	1,00	8,00	8,00	
22 17/01/2023 22:02:56	9,00	9,00	9,00	47,00	10,00	10,00	
23 17/01/2023 22:02:57	5,00	5,00	28,00	3,00	50,00	29,00	
24 17/01/2023 22:02:58	15,00	13,00	13,00	29,00	12,00	16,00	

■ **Red de Comunicación:**

En cuanto a la conexión de red, se logró que el operador pudiera visualizar de manera satisfactoria la comunicación de las antenas con los diferentes sectores y el servidor. Además, se logró visualizar la conexión entre el PLC de cada zona y sus respectivos sensores. El sistema también cuenta con visualizadores gráficos que informan el estado de conexión entre los diferentes elementos, cambiando el color a rojo cuando el elemento se desconecta. Como se puede observar en la figura 76, las antenas están conectadas correctamente.

Figura 76

Red de Comunicación.



■ Seguridad y Usuarios:

Se logró implementar un sistema de inicio de sesión seguro para el operador. El sistema cuenta con dos niveles de usuario: administrador y operador. El administrador tiene acceso total a todas las ventanas del sistema, mientras que el usuario operador solo tiene acceso limitado, no pudiendo acceder a la pantalla de manejo de usuarios y configuraciones del sistema. El operador pudo registrarse con éxito utilizando su nombre de usuario y contraseña personal, lo que garantiza que solo el personal autorizado de la planta puede acceder al sistema. Como prueba de ello se puede observar en las figuras 77 y 78.

Figura 77

Seguridad y Usuarios.



Usuario	Contraseña	Grupo	Tiempo de cierre de sesión
admin	*****	Administradores	tras 120 minutos de inactividad
user	*****	Usuarios	tras 120 minutos de inactividad
usuario1	*****	Usuarios	tras 120 minutos de inactividad
admin2	*****	Administradores	tras 120 minutos de inactividad

Figura 78

Inicio de Sesión.



- Configuración:

En cuanto a la configuración inicial recomendada, se logró parametrizar las variables a configurar de manera satisfactoria siendo estos los valores máximos y mínimos de los dispositivos medidores. Cada sensor cuenta con su propio valor crítico de funcionamiento, lo que garantiza un monitoreo preciso y detallado del sistema. Además, cuando se alcanzan estos valores críticos, se activan automáticamente las alarmas para alertar al personal de la planta. Sin embargo, es importante mencionar que solo los administradores del sistema tienen acceso a esta pantalla de configuración. Como prueba de ello, se puede observar en la figura 79.

**Figura 79**

*Configuración de Valores Máximos y Mínimos.*



- **Informes Semanales:**

Se logró que el operador pudiera obtener de manera satisfactoria tres informes diferentes: uno correspondiente a los 13 sensores de caudal con sus totalizadores, otro para los 4 sensores de nivel con el nivel de tanque y volumen de tanque y un tercero específico para los fallos registrados en el sistema. Estos informes son generados automáticamente al final de cada semana, permitiendo llevar un registro detallado de los eventos importantes del sistema. Además, en caso de ser necesario, también se puede extraer un informe

específico de fallos a través de la pantalla de alarmas. Como prueba de ello, se pueden apreciar en las figuras 8, 9 y 10.

**Tabla 8**

*Informe valores de Caudal.*

18/01/2023 1:00:40

**JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE**

	FECHA	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	MC7	MC8	MC9	MC10	MC11	MC12	MC13
1	1/2023 00:56:51	0,00	0,00	51,00	37,00	1,00	38,00	2,00	0,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
2	1/2023 00:56:52	23,00	31,00	51,00	32,00	52,00	24,00	24,00	52,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
3	1/2023 00:56:53	3,00	5,00	16,00	42,00	6,00	6,00	4,00	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
4	1/2023 00:56:54	3,00	3,00	28,00	27,00	29,00	4,00	4,00	29,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
5	1/2023 00:56:55	32,00	43,00	51,00	44,00	12,00	12,00	32,00	0,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
6	1/2023 00:56:56	29,00	29,00	5,00	45,00	6,00	30,00	30,00	6,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
7	1/2023 00:56:57	7,00	7,00	43,00	17,00	14,00	14,00	7,00	45,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
8	1/2023 00:56:58	26,00	15,00	15,00	15,00	16,00	37,00	37,00	16,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
9	1/2023 00:56:59	21,00	30,00	7,00	31,00	31,00	31,00	22,00	9,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
10	1/2023 00:57:00	9,00	24,00	38,00	14,00	39,00	10,00	10,00	39,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
11	1/2023 00:57:01	44,00	43,00	7,00	19,00	44,00	44,00	45,00	9,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
12	1/2023 00:57:02	32,00	32,00	17,00	5,00	18,00	33,00	33,00	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
13	1/2023 00:57:03	18,00	27,00	28,00	25,00	43,00	43,00	18,00	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
14	1/2023 00:57:04	11,00	11,00	41,00	27,00	42,00	12,00	12,00	42,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
15	1/2023 00:57:05	37,00	37,00	7,00	30,00	30,00	30,00	37,00	9,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
16	1/2023 00:57:06	15,00	44,00	44,00	0,00	45,00	16,00	16,00	45,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
17	1/2023 00:57:07	33,00	47,00	22,00	43,00	48,00	48,00	34,00	24,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
18	1/2023 00:57:08	17,00	42,00	44,00	38,00	45,00	18,00	18,00	45,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
19	1/2023 00:57:09	1,00	49,00	16,00	28,00	50,00	50,00	2,00	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
20	1/2023 00:57:10	30,00	30,00	9,00	5,00	10,00	31,00	31,00	10,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
21	1/2023 00:57:11	7,00	15,00	16,00	7,00	30,00	30,00	7,00	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
22	1/2023 00:57:12	39,00	39,00	15,00	1,00	16,00	40,00	40,00	16,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
23	1/2023 00:57:13	21,00	21,00	52,00	33,00	25,00	25,00	21,00	0,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
24	1/2023 00:57:14	50,00	29,00	29,00	35,00	30,00	51,00	51,00	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
25	1/2023 00:57:15	35,00	40,00	13,00	49,00	41,00	41,00	36,00	15,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
26	1/2023 00:57:16	44,00	24,00	20,00	11,00	21,00	45,00	45,00	21,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
27	1/2023 00:57:17	26,00	5,00	37,00	45,00	6,00	6,00	27,00	39,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
28	1/2023 00:57:18	13,00	13,00	38,00	33,00	39,00	14,00	14,00	39,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
29	1/2023 00:57:19	50,00	7,00	16,00	49,00	28,00	28,00	50,00	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
30	1/2023 00:57:20	39,00	39,00	11,00	5,00	12,00	40,00	40,00	12,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
31	1/2023 00:57:21	15,00	15,00	40,00	13,00	10,00	10,00	15,00	42,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
32	1/2023 00:57:22	28,00	1,00	1,00	11,00	2,00	29,00	29,00	2,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
33	1/2023 00:57:23	23,00	26,00	1,00	29,00	27,00	27,00	24,00	3,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
34	1/2023 00:57:24	44,00	4,00	14,00	53,00	15,00	45,00	45,00	15,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
35	1/2023 00:57:25	14,00	5,00	19,00	41,00	6,00	6,00	15,00	21,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
36	1/2023 00:57:26	24,00	24,00	9,00	7,00	10,00	25,00	25,00	10,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
37	1/2023 00:57:27	7,00	11,00	13,00	9,00	28,00	28,00	7,00	15,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
38	1/2023 00:57:28	45,00	45,00	23,00	11,00	24,00	46,00	46,00	24,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
39	1/2023 00:57:29	17,00	17,00	37,00	11,00	6,00	6,00	17,00	39,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]

**Nota:** Se puede visualizar la tabla generada del archivo informes caudal que exporta el sistema periodicamente.



**Tabla 9**

*Informe valores de Nivel.*

**JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE**

18/01/2023 1:00:32

	Columna de tiempo	NT1_TanqueSECTOR B	NT2_Tanque SECTOR	NT3_Tanque SECTOR C	NT4_Tanque SECTOR D
1	18/01/2023 0:56:51	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
2	18/01/2023 0:56:56	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
3	18/01/2023 0:57:01	7,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
4	18/01/2023 0:57:06	20,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
5	18/01/2023 0:57:11	34,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
6	18/01/2023 0:57:16	48,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
7	18/01/2023 0:57:21	27,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
8	18/01/2023 0:57:26	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
9	18/01/2023 0:57:31	32,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
10	18/01/2023 0:57:36	34,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
11	18/01/2023 0:57:41	41,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
12	18/01/2023 0:57:46	20,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
13	18/01/2023 0:57:51	14,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
14	18/01/2023 0:57:56	33,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
15	18/01/2023 0:58:01	12,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
16	18/01/2023 0:58:06	8,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
17	18/01/2023 0:58:11	30,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
18	18/01/2023 0:58:16	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
19	18/01/2023 0:58:21	5,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
20	18/01/2023 0:58:26	16,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
21	18/01/2023 0:58:31	11,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
22	18/01/2023 0:58:36	42,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
23	18/01/2023 0:58:41	4,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
24	18/01/2023 0:58:46	2,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
25	18/01/2023 0:58:51	32,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
26	18/01/2023 0:58:56	1,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
27	18/01/2023 0:59:01	45,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
28	18/01/2023 0:59:06	12,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
29	18/01/2023 0:59:11	22,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
30	18/01/2023 0:59:16	33,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
31	18/01/2023 0:59:21	18,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
32	18/01/2023 0:59:26	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
33	18/01/2023 0:59:31	1,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
34	18/01/2023 0:59:36	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
35	18/01/2023 0:59:41	41,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
36	18/01/2023 0:59:46	35,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
37	18/01/2023 0:59:51	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
38	18/01/2023 0:59:56	25,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]
39	18/01/2023 1:00:01	40,00	0,00 [u.]	0,00 [u.]	0,00 [u.]

INFORME\_TANQUES\_ESP.

**Nota:** Se puede visualizar la tabla generada del archivo informes nivel que exporta el sistema periodicamente.

**Tabla 10**

*Informe Alarmas.*

JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE			18/01/2023 1:00:52				
Id	Hora	Fecha	Bloque de textos de usuario 1	Archivación	Nombre de usuario	E	Núm
1	00:56:34	18/01/23	DESCONECCION CON ANTENA SECTOR 1				
2	00:56:34	18/01/23	DESCONECCION CON ANTENA SECTOR 2				
3	00:56:34	18/01/23	DESCONECCION CON ANTENA SECTOR 3				
4	00:56:34	18/01/23	DESCONECCION CON ANTENA SECTOR 4				

INFORME\_ALARMAS\_ESP.R

1

**Nota:** Se puede visualizar la tabla generada del archivo alarmas que se puede exportar del sistema.

- **Funcionamiento pantallas HMI:**

Los operadores encargados de su respectivo sector logra de manera satisfactoria navegar en la pantalla donde se ve las variables y alarmas importantes del sector.

- **Comparación del sistema antes y ahora:**

Gracias a la implementacion del sistema SCADA en la planta, el funcionamiento de la misma ya no sera igual que antes, demostrando los beneficios que se adquieren al tener un sistema de monitoreo.



**Tabla 11**

*Comparativa del sistema de potabilización previo al diseño y simulación.*

<b>Rendimiento del sistema sin monitoreo SCADA</b>	<b>Rendimiento del sistema con monitoreo SCADA</b>
Paros frecuentes del servicio por reparaciones.	Paros ocasionales del servicio por reparaciones.
Perdida de agua en grandes cantidades.	Reducción considerable de pérdidas de agua.
Uso excesivo de personal y cambios de turno.	Reducción de personal, justo para operaciones puntuales.
Desconocimiento del caudal y nivel de tanques en sectores estratégicos en tiempo real.	Conocimiento en tiempo real de todas las variables del sistema.
Desconocimiento en tiempo real de los fallos existentes en el sistema.	Sistema de alarmas y alertas configuradas de acción rápida.
Monitoreo in situ.	Monitoreo remoto.
Mantenimiento mayoritariamente correctivo.	Previsión de fallos y rápida respuesta a eventualidades.
Operatividad regulada en función de parámetros subjetivos, estimaciones poco precisas sobre la producción necesaria.	Operatividad en función de la estimación de parámetros de medición.

## 8. Cronograma y actividades

Objetivos Específicos	Actividades	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				Horas
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1. Identificar las variables del proceso para la medición en el proceso de distribución y almacenamiento.	Identificación de recursos disponibles	x	x																						10	
	Requerimientos del monitoreo		x	x																					10	
	Instalación de software				x	x																			10	
	Redacción documento			x	x	x																			15	
2. Diseñar el sistema SCADA para la adquisición de datos y monitoreo de las variables identificadas.	Monitoreo					x	x	x																	15	
	Supervisión								x	x															10	
	Visualización de alarmas y eventos									x	x														10	
	Seguridad de datos									x	x														10	
	Programación numérica										x	x													10	
	Adquisición de datos											x	x												10	
	Redacción documento										x	x	x												15	
3. Realizar pruebas de simulación del sistema SCADA para el monitoreo del sistema de distribución de agua	Simulación celula de monitoreo													x	x									10		
	Sensores fisicos														x	x								10		
	Sistema general															x	x							10		
	Redacción documento															x	x	x						15		
4. Generar un prototipo final para pruebas de campo.	Requerimientos extras																		x	x	x			15		
	Corrección de fallos																			x	x	x		15		
	Redacción documento																			x	x	x	x	20		
<b>TOTAL</b>																										<b>220</b>

## 9. Presupuesto

Este apartado informa sobre los costos en el diseño del sistema SCADA, con especial énfasis en las horas que se necesitaron para poder realizar sistema y el uso de laboratorios.

### 9.1. Talento Humano

**Tabla 12**

*Presupuesto talento humano.*

Cargo	Nombre	Costo Hora	Horas	Total
Tutor	Edy Ayala	20	32	640
Autor 1	Gabriel Brito	8	220	1760
Autor 2	Edgar Matute	8	220	1760
TOTAL			472	4160

**Nota:** Se puede ver las horas necesarias de los tesistas y su director de tesis.

### 9.2. Recursos Materiales

**Tabla 13**

*Presupuesto recursos.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Software	1	\$ 1000	\$ 1000
Laboratorios	1	\$ 200	\$ 200
TOTAL			\$1220

**Nota:** Se explican los costos directos e indirectos relacionados al producto generado.

## 10. Conclusiones

Se ha logrado diseñar y probar con éxito un sistema de monitoreo como parte de un SCADA para cuantificar niveles y caudales en varios puntos de medición en una planta de distribución de agua potable convencional. La medición de caudal permite conocer con exactitud la cantidad de agua distribuida para cada sector, generando así estimaciones sobre el consumo diario y a futuro. Además, se han identificado las variables críticas en el proceso de distribución de agua potable y se han establecido puntos de medición estratégicos para monitorearlas en tiempo real, generando alarmas que permiten saber eventualidades en el proceso de producción.

El sistema conecta correctamente los 4 sistemas de revisión y el centro de monitorización, permitiendo ver en cada sector y en el centro de monitorización los datos de caudal y nivel de cada sensor. El sistema cuenta con un registro de datos, usuarios y alarmas, así como la posibilidad de visualizar el estado de conexión de las zonas de revisión y sus sensores de nivel y caudal respectivos.

Sin embargo, a pesar de los avances en el diseño y pruebas del sistema de monitoreo, es importante seguir investigando y mejorando el sistema para garantizar un servicio de agua potable de alta calidad. Además, existe una necesidad de instalar más dispositivos para monitorear y controlar las variables del proceso debido a la poca instrumentación actualmente instalada en las plantas de tratamiento de agua del cantón. Es fundamental seguir investigando y mejorando las tecnologías existentes para garantizar un servicio de agua potable seguro y confiable para las comunidades y en general para el país.

## 11. Recomendaciones

Para lograr un sistema de monitoreo eficiente en un proceso de potabilización de agua, se recomienda comenzar identificando las variables críticas en el proceso y estableciendo puntos de medición estratégicos para monitorearlas en tiempo real. Asimismo, es importante diseñar una interfaz gráfica intuitiva y personalizada para el sistema SCADA que permita una visualización clara y precisa de las variables medidas.

Además de lo mencionado anteriormente, es importante obtener los equipos de medición flujo y nivel del agua lo antes posible para minimizar retrasos en la implementación del sistema y permitir realizar pruebas tempranas de los mismos. Es fundamental realizar pruebas exhaustivas de los equipos, pantallas, PLCs y la comunicación entre ellos antes de implementarlos en el sistema para garantizar su correcto funcionamiento. También es necesario crear un plan de respaldo y recuperación de los archivos de diseño del sistema SCADA para garantizar la continuidad del monitoreo en caso de fallas.

Finalmente, se recomienda construir los tableros de control de inmediato para garantizar una conexión eficiente entre los dispositivos de medición y el sistema SCADA. Además, es fundamental establecer un plan de mantenimiento preventivo para los equipos y sensores del sistema para garantizar su correcto funcionamiento a largo plazo y un plan de monitoreo y alarmas para detectar cualquier desviación en las variables críticas y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

## Referencias

- Ambiente, R. (2022). Base de datos juntas administradoras de agua potable ecuador. *Sitio Web*. Descargado de <http://rpa.ambiente.gob.ec/senagua-web/pages/public/consultaPrestadoresComunitariosAPyS.xhtml>
- Balón Quinde, A. A. (2018). *Diseño de un sistema de control para una planta de tratamiento hidrotérmico para maqgro cía. ltda.* (B.S. thesis).
- BBVA. (2021). ¿qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases? *Sitio web*. Descargado de <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-de-potabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
- Bolton, W. (2006). *Mecatrónica sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (S. d. C. 2006 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, Ed.). ALFAOMEGA.
- Chico Analuisa, L. E. (2015). *Sistema inalámbrico para control y monitoreo de la planta de tratamiento de agua potable del cantón baños* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas . . . .
- Civil, T. I. (2022). Red de distribución de agua potable: ¿abierta o cerrada? *Sitio web*. Descargado de <https://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/red-de-distribucion-de-agua-potable-abierta-o-cerrada/>
- CNA, C. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *Tlalpan, México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.*
- Cuenca, G. M. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial. *PDOT*.
- Earth, G. (2023). Juntas administradoras de agua potable cerca de azuay. *Sitio web*. Descargado de [https://earth.google.com/web/search/Junta+administradora+de+agua+potable+cerca+de+Azuay/@-2.91276369,-78.94010419,2620.38059804a,88869.44572407d,35y,0.00000149h,0.60074298t,-0r/data=CigiJgokCSvWPJNYugLAEdv0bD6vSQ\\_AGfA2RXDTX1PAIXuvPAxgMVRTA](https://earth.google.com/web/search/Junta+administradora+de+agua+potable+cerca+de+Azuay/@-2.91276369,-78.94010419,2620.38059804a,88869.44572407d,35y,0.00000149h,0.60074298t,-0r/data=CigiJgokCSvWPJNYugLAEdv0bD6vSQ_AGfA2RXDTX1PAIXuvPAxgMVRTA)
- Eduardo Andrés Espinoza Ortega, J. A. A. A. (2020). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de la concentración de manganeso en agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable tixán-etapaep. *Universidad Politécnica Salesiana*. Descargado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19576/1/UPS-CT008903.pdf>
- EP, E. (2023). Etapa ep busca ampliar y mejorar sus sistemas de agua y saneamiento. *Sitio web*.
- Fustamante, N. (2017). Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. *Cooperación Alemana al Desarrollo*.

- Gómez Pauta, W. A. (2010). *Diseño del control de las compuertas radiales, compuertas de desagüe de fondo y bombas de drenaje de la presa daniel palacios, del proyecto hidroeléctrico paute molino, asegurando la comunicación del comportamiento de las compuertas con el sistema de scada* (B.S. thesis).
- Industrial, F. (2022). Modbus que es y como funciona. *Sitio web..* Descargado de <https://www.cursosaula21.com/modbus-que-es-y-como-funciona/>
- Interserver, J. (2016). Protocolos de red comunes. Descargado de <https://www.interserver.net/tips/kb/common-network-protocols-ports/>
- López, J. M. (2022). Diferencias entre una antena direccional y una omnidireccional. *Movistar.* Descargado de <https://www.movistar.es/blog/router/antena-direccional-antenas-omnidireccionales/>
- Martínez, M. P. (2018). Comunicación serial: Conceptos generales. *Sitio web..* Descargado de <https://docplayer.es/51725239-Comunicacion-serial-conceptos-generales.html>
- Mikrotik. (2022a). Mikrotik lhg5. *Sitio web..* Descargado de <https://mikrotik.com/product/RBLHG-5nD>
- Mikrotik. (2022b). Mikrotik routerboard. *Sitio web..* Descargado de [https://mikrotik.com/product/rb4011igs\\_rm](https://mikrotik.com/product/rb4011igs_rm)
- Muñoz, D. S. (2023). *Comunicaciones industriales (ii). profibus* [Imagen]. Descargado de <https://ningenia.com/profibus/> (Recuperado de ningenia, (Enero 10, 2023))
- Palacios Ochoa, L. J., y Trelles Cabrera, F. D. (2018). *Diseño de un prototipo de sistema scada para el monitoreo y control de consumo de agua en viviendas residenciales* (B.S. thesis).
- Penin, A. R. (2013). *Sistemas scada* (Marcombo, Ed.). ALFAOMEGA.
- Pérez, L. R. (2022). Tanque de almacenamiento. *Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox.* Descargado de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/tanque-de-almacenamiento>
- Pérez-López, E. (2015). Los sistemas scada en la automatización industrial. *Tecnología en Marcha. Vol. 28, N<sup>o</sup> 4, Octubre-Diciembre. Pág 3-14..*
- Quishpe Estrada, F. d. l. Á. (2017). Diseño de un prototipo de sistemas scada para el monitoreo de captación, almacenamiento y distribución de agua potable para la ep-emapar.
- Rosero Castillo, R. (2010). Scada del sistema de distribución de agua de la empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento.
- SIEMENS. (2022a). Hmi kp300. *Sitio web..* Descargado de <https://>

support.industry.siemens.com/cs/products/6av6647-0ah11-3ax0/simatic-hmi-kp300-basic-mono-pn?pid=132185&mlfb=6AV6647-0AH11-3AX0&mf=ps&lc=en-EC

SIEMENS. (2022b). Plc s7-1200. *Sitio web..* Descargado de <https://new.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

SIEMENS. (2022c). Sitrans fm mag 5100 w. *Sitio web..* Descargado de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/process-instrumentation/flow-measurement/electromagnetic/sitrans-f-m-mag-5100-w-for-water-applications.html>

SIEMENS. (2022d). Sitrans lh100. *Sitio web..* Descargado de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10228443>

Siemens. (2023a). *Bloque de comunicaciones* [Imagen generada por software]. (Recuperado de TIA Portal, versión 16 (Enero 10, 2023))

Siemens. (2023b). *Bloque de programación* [Imagen generada por software]. (Recuperado de TIA Portal, versión 16 (Enero 10, 2023))

Siemens. (2023c). *Red sistema* [Imagen generada por software]. (Recuperado de TIA Portal, versión 16 (Enero 10, 2023))

Smet, J., y Van Wijk, C. (2003). *Small community water supplies: Technology, people and partnership [electronic resource]*. IRC International Water and Sanitation Centre.



# **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Problema	General Objetivo	General Hipótesis	General Variables	Marco Teórico
¿Se podrá diseñar un sistema SCADA para el monitoreo del proceso de distribución de agua potable?	Disenar un sistema de monitoreo como parte de un SCADA, para cuantificar niveles y caudales desde los distintos puntos de medición; y transmitir los datos a un centro de monitoreo.	Se diseñará un sistema de monitoreo como parte de un SCADA para la cunтификаcion de niveles y caudales en los puntos de medición con el fin de enviar los datos al centro de monitoreo	V ind: Diseño V dep: Monitoreo	Proceso convencional de distribución de agua potable
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas	Variables	Marco Teórico
1.- ¿Es posible identificar las variables del proceso para la medición y control del proceso de distribución del agua potable?	1.- Identificar las variables del proceso de distribución del agua potable.	1.- Se identificará las variables del proceso para la medición y control del proceso de distribución del agua potable.	V ind: Parámetros del proceso V dep: Monitoreo	Caudal, Presión, Volumen, Procesos de distribución de agua
2.- ¿Es posible diseñar el sistema SCADA para la adquisición de datos y monitoreo de las variables identificadas?	2.- Diseñar el sistema de monitoreo como parte del SCADA de las variables identificadas.	2.- Se diseñará el sistema de monitoreo como parte del SCADA para la adquisición de datos de las variables identificadas.	V ind: Diseño sistema SCADA V dep: Monitoreo	Sistema Scada, monitoreo, datos, seguridad, fallas, errores y alarmas.
3.- ¿Se podrá realizar pruebas de simulación del sistema SCADA para el monitoreo del sistema de distribución de agua potable?	3.- Realizar pruebas en el sistema de monitoreo, de la distribución de agua potable.	3.- Se realizará pruebas en el sistema de monitoreo, de la distribución de agua potable.	V ind: Diseño sistema SCADA V dep: Monitoreo	Comunicación, Conexión Profibus
4.- ¿Se generará proponer un prototipo para pruebas de campo que recolecte, guarde y monitoree los puntos de medición en tiempo real?	4.- Generar un prototipo para pruebas de campo que adquiera, guarde y monitoree los puntos de medición en tiempo real.	4.- Se generará un prototipo para pruebas de campo que adquiera, guarde y monitoree los puntos de medición en tiempo real.	V ind: Prototipo V dep: Monitoreo	Sensor de presión hidrostático, Caudalímetro

## Anexo B: Operacionalización de Variables

Se presenta la operacionalización de las variables de nivel y caudal, críticas en el proceso; correspondientes al sensado para el proceso de monitoreo en las tuberías y tanques de almacenamiento.

**Tabla 14**

*Parámetros de análisis, agua por tuberías*

Variable independiente (Parámetros iniciales)				
Características	Definición	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición
Radio	Tuberías de distribución de agua en el proceso de potabilización	Longitud	$m$	Cinta métrica
Densidad Fluido		Densidad	$\frac{kg}{m^3}$	Densímetro
Caudal max		Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Caudalímetro
Caudal min		Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Caudalímetro

**Nota:** Se listan los parámetros de mayor relevancia sobre las tuberías, donde se instalaran caudalímetros.

**Tabla 15**

*Parámetros de análisis, nivel de agua en tanques de almacenamiento*

Variable independiente (Parámetros iniciales)				
Características	Definición	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición
Radio	Tanques de reserva para el almacenamiento de agua tratada	Longitud	$m$	Flexómetro
Densidad Fluido		Densidad	$\frac{kg}{m^3}$	Densímetro
Altura		Longitud	$m$	Cinta métrica
Presión max		Presión	$Pa$	Presión hidrostática
Presión min		Presión	$Pa$	Presión hidrostática

**Nota:** Se listan los parámetros de mayor relevancia sobre los tanques de almacenamiento, donde se instalaran sensores de nivel.

**Tabla 16***Criterios de selección para sensor de presión hidrostático*

Variable independiente (Parámetros iniciales)				
Características	Definición	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición
Protocolo Comunicación	Se debe seleccionar un	-	-	“Compatibilidad”
Presión max	sensor de presión hidrostático	Presión	$Pa$	Fabricante
Presión min	para la toma de	Presión	$Pa$	Fabricante
Precisión	datos adecuada.	Presión	$Pa$	Fabricante
Protecciones		-	-	Fabricante

**Nota:** Se listan los parámetros de mayor relevancia que se debería considerar en el sensor de nivel.

**Tabla 17***Criterios de selección para sensor de caudal*

Variable independiente (Parámetros iniciales)				
Características	Definición	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición
Protocolo Comunicación	Se debe seleccionar un	-	-	“Compatibilidad”
Flujo max	sensor de caudal para la toma de	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Fabricante
Flujo min	datos adecuada.	Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Fabricante
Precisión		Caudal	$\frac{m^3}{s}$	Fabricante
Protecciones		-	-	Fabricante

**Nota:** Se listan los parámetros de mayor relevancia que se debería considerar en el sensor de caudal.