

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAAGUAZÚ
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**



PROYECTO FINAL DE GRADO

DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA TEBICUARYMI DE LA ESSAP, UBICADA EN EL DISTRITO DE YATAITY, DPTO DE GUAIRÁ.

Autor: Anibal Marcelo Rotela Garcete

TUTOR: Ing. Víctor Leonardo Leguizamón Centurión

CORONEL OVIEDO, DICIEMBRE DE 2024



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.



Usted es libre de:

- **Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
- **Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material

Bajo los siguientes términos:

- **Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
- **NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DERECHO DE AUTOR

Quien suscribe, Anibal Marcelo Rotela Garcete, autor del trabajo de investigación titulado **“DISEÑO DE UN SISTEMA SCADA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA TEBICUARYMI, UBICADA EN EL DISTRITO DE YATAITY, DPTO DE GUAIRÁ.”**, declara que voluntariamente cede a título gratuito en forma pura y simple ilimitada e irrevocablemente a favor de la Facultad de Ciencias y Tecnologías – UNCA, el derecho de autor de contenido patrimonial, que le corresponde sobre el trabajo de referencia. Conforme a lo anteriormente expresado, esta sesión le otorga a la FCyT la Facultad de comunicar la obra divulgarla, publicarla y reproducirla en soportes analógicos o digitales en la oportunidad que así lo estime conveniente. La FCyT deberá indicar qué autoría o creación del trabajo corresponde a mi persona y hará referencia al autor y a las personas que hayan colaborado en la realización del presente trabajo de investigación.

En la ciudad de Coronel Oviedo a los , del mes de del 2024

.....

Firma



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo de fin de grado para la obtención del Título de Ingeniero Electrónico, aprobado en representación de la Facultad Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional de Caaguazú, por el Tribunal Examinador constituido por los siguientes profesores y con la siguiente nota final:

CALIFICACIÓN FINAL: _____

ACTA N°: _____

FECHA : _____

 Prof. Ing.

 Prof. Ing.

 Prof. Ing.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

DEDICATORIA

Primero, quiero dedicar este logro a Dios, quien me ha dado la fortaleza y ha sido mi guía en todo momento. A Él sea toda la gloria.

A mis padres, pilares fundamentales en mi vida, quienes siempre me han brindado ánimo y fuerzas en los momentos más difíciles. Todo lo que he logrado es, en gran parte, gracias a ellos.

A mi hija, mi mayor fuente de inspiración y energía, quien me impulsa a seguir adelante y superarme cada día.

Y a mi novia, que ha estado siempre a mi lado, ofreciéndome su apoyo incondicional, confianza y seguridad en cada paso del camino.

Para mi gran amigo y compañero Max, nunca te olvidaré



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por todas las bendiciones que me ha dado y por guiarme en cada paso de mi camino.

A la Bioquímica Gloria María Battaglia y al Técnico Electromecánico Juan Pablo, por su amabilidad, paciencia y el buen trato que me brindaron.

A mi tutor, por compartir generosamente su conocimiento y guiarme a lo largo de mi formación académica.

A todos los docentes que contribuyeron a mi desarrollo, tanto personal como profesional, dejando en mí una huella imborrable.

Y, por último, a mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado, apoyándome y guiándome durante todo este proceso.

.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

RESUMEN

El presente proyecto consiste en diseñar un sistema SCADA para la automatización de la planta de tratamiento de agua Tebicuarymi, operada por la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP). Donde enfrenta desafíos operativos relacionados con la dependencia de tareas manuales, riesgos para los operarios y limitaciones en la precisión y monitoreo de variables claves, como el pH y el caudal.

Para ello, se utilizó una investigación de tipo aplicada con metodología mixta, para la recolección de datos se usó técnicas de observación estructurada y entrevistas. Se diseñó una arquitectura de comunicación basada en PROFINET, integrando controladores lógicos programables (PLC) para la supervisión y control de variables críticas. Se realizó la programación, la interfaz gráfica y las simulaciones en softwares especializado como TIA Portal V17, WinCC Professional y PLCSIM, respectivamente.

Entre los resultados más destacados, se encuentra la automatización del monitoreo del pH y caudal, la rotación programada de bombas para prolongar su vida útil, y la automatización para la captación de agua.

El sistema diseñado demostró su viabilidad técnica a través de las simulaciones, así como también se desarrollaron interfaces gráficas intuitivas que permiten un control eficiente y la generación de reportes automáticos basados en datos centralizados. Su implementación no solo mejorará la eficiencia operativa de la planta, sino que también garantizará estándares más altos de calidad del agua y seguridad.

Palabras claves: Control y automatización Industrial, Agua limpia y saneamiento, SCADA, control, monitoreo



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.
VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ABSTRACT

The present project involves designing a SCADA system for the automation of the Tebicuarymi water treatment plant, operated by the Paraguayan Sanitary Services Company (ESSAP). The plant faces operational challenges related to reliance on manual tasks, risks to operators, and limitations in the accuracy and monitoring of key variables such as pH and flow rate.

To address these issues, applied research with a mixed methodology was conducted, using structured observation and interviews for data collection. A communication architecture based on PROFINET was designed, integrating programmable logic controllers (PLCs) for the supervision and control of critical variables. Programming, graphical interfaces, and simulations were carried out using specialized software such as TIA Portal V17, WinCC Professional, and PLCSIM, respectively.

Key results include the automation of pH and flow monitoring, scheduled pump rotation to extend their lifespan, and automation of water intake processes. The designed system demonstrated its technical feasibility through simulations and included the development of intuitive graphical interfaces, enabling efficient control and automatic report generation based on centralized data. Its implementation will not only improve the plant's operational efficiency but also ensure higher standards of water quality and safety.

Keywords: Industrial control and automation, Clean water and sanitation, SCADA, control, monitoring.



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
1. Objetivos.....	3
1.1. Objetivo General	3
1.2. Objetivos Específicos	3
2. Marco Teórico.....	4
2.1. TIA PORTAL	4
2.2. WinCC.....	4
2.3. VISUAL BASIC Y TIA PORTAL.....	4
2.4. BASE DE DATOS	5
2.4.1. Tipos de bases de datos.....	5
2.4.2. INTEGRACION DE BASES DE DATOS CON TIA PORTAL.....	5
2.5. WinCC con Excel	6
2.6. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	6
2.6.1. Captación.....	6
2.6.2. Desarenadores	6
2.6.3. Canal de Parshall.....	6
2.6.4. Coagulación – Floculación.....	7
2.6.5. Decantación.....	7
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	8
3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS.....	8
3.2.1. Entrevista.....	8
3.2.2. Descripción operativa de la planta	8



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

3.2.3.	Análisis y recomendaciones basada en la entrevista.....	10
3.3.	SELECCIÓN DE CONTROLADORES Y COMPONENTES.....	11
3.3.1.	Sensor de Nivel.....	11
3.3.2.	Electroválvulas.....	11
3.3.3.	Relé de estado solido	11
3.3.4.	Sensor de Ph	11
3.3.5.	Controladores	12
3.4.	DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE COMUNICACION.....	12
3.5.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	13
3.5.1.	Esquema de conexión	13
3.5.2.	17
3.5.3.	DESCRIPCION DE LA INTERFAZ GRAFICA	17
3.7.	PRUEBAS Y AJUSTES DEL SISTEMA MEDIANTE SIMULACIONES.....	26
3.8.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	27
	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	29
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
	BIBLIOGRAFÍA.....	31
	ANEXOS	1
	ANEXO I: TABLAS DE CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS ..	1
	ANEXO II: RECOLECCION DE DATOS	9
	ANEXO III SCRIPTS	13
	ANEXO 4: Cálculo para el escalado de las señales analógicas de los caudalímetros.	
	17



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: RED DE CONEXIONES ENTRE DISPOSITIVOS	13
FIGURA 2: VISTA SATELITAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	14
FIGURA 3: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL SIMATIC ET 200SP	15
FIGURA 4: CONEXIÓN DE CIRCUITO DE CONTROL.....	16
FIGURA 5: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DEL S7-1200	17
FIGURA 6: PANTALLA DE INICIO DE SESIÓN	18
FIGURA 7: PANTALLA DE LA VISTA GENERAL DE LA PLANTA	20
FIGURA 8: PANTALLA DE ALARMAS.....	21
FIGURA 9: PANTALLA DE CONTROL DE ELECTROVÁLVULAS	22
FIGURA 10: PANTALLA DE CONTROL DE BOMBAS	23
FIGURA 11: PANTALLA DE SENSOR DE PH.....	24
FIGURA 12: PANTALLA DE CAUDALÍMETRO	24
FIGURA 13: PANTALLA DE REPORTES.....	25
FIGURA 14: PANTALLA DE GESTIÓN DE USUARIOS	26
FIGURA 15: VÁLVULAS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUA	9
FIGURA 16: SALA DE BOMBEO	9
FIGURA 17: PANEL DE CONTROL DE LA SALA DE BOMBEO	10
FIGURA 18: SENSOR DE NIVEL DE LA SALA DE BOMBEO.....	10
FIGURA 19: CANAL DE PARSHALL	11
FIGURA 20: CAUDALÍMETRO DE LA ENTRADA A LA PLANTA.....	11
FIGURA 21: CAUDALÍMETRO DE LA ENTRADA A LA PLANTA.....	11
FIGURA 22: SALA DE ENVÍO	12
FIGURA 23: PANEL DE CONTROL DE LA SALA DE ENVÍO.....	12

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PRESUPUESTO DE COMPONENTES Y MATERIALES.....	28
TABLA 2: PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA	28
TABLA 3: CARACTERÍSTICA DEL SENSOR DE NIVEL.....	1
TABLA 4: CARACTERÍSTICAS DE LA ELECTROVÁLVULA.....	2



MISIÓN: Formar profesionales excelentes con conocimientos científicos y tecnológicos, competentes, con sentidos crítico, ético y responsabilidad Social.

VISIÓN: Ser una Facultad líder, con excelencia en la formación de profesionales que contribuya al desarrollo del País.

TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DEL RELÉ DE ESTADO SOLIDO	3
TABLA 6: CARACTERÍSTICA DEL SENSOR DE PH	3
TABLA 7: PLC S7-1200, CPU 1215C.....	4
<i>TABLA 8: MÓDULO SM 1231 AI 8 X 13 BITS</i>	<i>4</i>
TABLA 9: MÓDULO SM 1221, 8 DI, 24 V DC.....	4
TABLA 10: ET 200 SP; IM 155-6 PN HF.....	5
TABLA 11: CARACTERÍSTICAS DE DI 8X24VDC ST	5
TABLA 12: CARACTERÍSTICAS DE DQ 4X24..230VAC/2A ST	6
TABLA 13: CARACTERÍSTICA DE AI 4XI 2-,4-WIRE ST	7
TABLA 14: CARACTERÍSTICA DEL DI 4X120..230VAC ST	7
TABLA 15: CARACTERÍSTICAS DE DQ 8X24VDC/0.5A ST.....	8

INTRODUCCIÓN

La planta de tratamiento de agua Tebicuarymi, operada por la Empresa de Servicios Sanitarios del Paraguay (ESSAP), se encuentra a 22 kilómetros de la ciudad de Coronel Oviedo y es responsable de procesar agua extraída del río Tebicuary para distribuirla a localidades como Villarrica, Mbocayaty, Yataity, y Coronel Oviedo. Esta planta tiene la capacidad de producir 12,300 metros cúbicos de agua potable por día, beneficiando a unos 53,000 usuarios [1]. No obstante, enfrenta diversas dificultades operativas en varias fases de su proceso, tales como la captación del agua, la sala de bombeo, el canal de Parshall, y el envío de agua tratada hacia la planta de distribución en Coronel Oviedo.

En la fase de captación de agua, la planta utiliza dos válvulas manuales que controlan el flujo del agua según el nivel del río Tebicuary. Estas válvulas, ubicadas en zonas propensas a inundaciones durante la temporada de lluvias, requieren intervenciones manuales que representan riesgos significativos para los operarios. En el canal de Parshall, el monitoreo del pH del agua se realiza mediante observación directa y colorimetría, un método propenso a errores, que ocasiona imprecisiones en la dosificación de sulfato de aluminio y cal, afectando la calidad del agua tratada, cuyo pH debe mantenerse entre 6.5 y 7.5 para ser apta para el consumo humano.

La sala de bombeo y envío también presentan dificultades, ya que el manejo manual de las bombas y el desplazamiento constante del personal para realizar estas operaciones ralentiza el proceso, disminuyendo la eficiencia general de la planta.

Por otro lado, la planta dispone de tres caudalímetros ubicados en puntos estratégicos: en la entrada de la planta, en el reservorio y en la salida hacia la red de distribución. Aunque estos equipos son esenciales para detectar pérdidas en el sistema, los datos se registran manualmente cada hora, lo que incrementa la probabilidad de errores de transcripción y dificulta el análisis en tiempo real. Además, la falta de una base de datos centralizada limita la capacidad de identificar patrones y tomar decisiones rápidas ante problemas operativos.

Con este proyecto se pretende disminuir las operaciones manuales de los distintos procesos en la planta de Tebicuarymi que no solo afecta la eficiencia y la calidad del agua tratada, sino que también expone a los operarios a condiciones de riesgo. Además, se propone la instalación de sensores de pH para realizar mediciones precisas y en tiempo real. Del mismo modo, las lecturas de los caudalímetros se automatizarán, eliminando la necesidad de registros manuales. Ambos datos serán almacenados en una

base de datos centralizada, lo que permitirá su análisis posterior y la generación de reportes de manera eficiente.

En conjunto, un sistema SCADA con una base de datos adecuada no solo optimizaría la eficiencia operativa y la calidad del agua, sino que garantizaría estándares de seguridad y calidad en beneficio de la salud de la población.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar un sistema SCADA para la automatización de la planta de tratamiento de agua Tebicuarymi, en el distrito de Yataity, dpto. de Guairá.

1.2. Objetivos Específicos

- Realizar un relevamiento de datos de los procesos a ser automatizados e identificar las principales variables a ser controladas.
- Analizar y seleccionar los componentes y controladores idóneos para la automatización del sistema.
- Diseñar la arquitectura de la red de comunicación, esquema de conexiones y el sistema SCADA para el manejo de la planta.
- Ejecutar la simulación del sistema SCADA y realizar los ajustes requeridos para su correcto funcionamiento.
- Elaborar el presupuesto del sistema SCADA diseñado.

2. Marco Teórico

2.1. TIA PORTAL

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), desarrollado por Siemens, es una plataforma de ingeniería integral y centralizada que permite la programación, configuración, monitoreo y mantenimiento de sistemas de automatización industrial. Su diseño proporciona una interfaz unificada para todos los aspectos de la ingeniería de control, integrando múltiples herramientas en una sola plataforma que permite el diseño de sistemas de automatización avanzados para diversas industrias. Esta integración optimiza la ingeniería de proyectos al facilitar una mayor interoperabilidad entre dispositivos y la escalabilidad del sistema, elementos esenciales en un proyecto de automatización para una planta industrial [2].

2.2. WinCC

WinCC (Windows Control Center), desarrollado por Siemens, es un sistema SCADA (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) diseñado para entornos de automatización industrial. WinCC permite a los ingenieros de control monitorear y operar sistemas industriales complejos en tiempo real. Su integración con TIA Portal y la familia de productos Siemens permite una configuración eficiente de interfaces hombre-máquina (HMI), permitiendo la supervisión centralizada de todos los elementos de un sistema automatizado. [3].

2.3. VISUAL BASIC Y TIA PORTAL

Visual Basic para Aplicaciones (VBA) y Visual Basic .NET son herramientas de desarrollo que permiten crear aplicaciones personalizadas y añadir funcionalidades avanzadas en TIA Portal. Dentro del entorno de TIA Portal, Visual Basic se utiliza principalmente para la creación de scripts y la automatización de procesos, permitiendo un control detallado sobre las funciones SCADA en WinCC y sobre los flujos de trabajo de ingeniería. La capacidad de Visual Basic para manejar eventos, crear scripts, gestionar bases de datos y manipular objetos del entorno SCADA hace que sea una herramienta fundamental en la personalización de soluciones de automatización industrial.

2.4. BASE DE DATOS

Una base de datos es un sistema estructurado de almacenamiento y gestión de datos diseñado para organizar, almacenar y recuperar información de manera eficiente. Su uso es fundamental en múltiples campos, ya que permite acceder, modificar y analizar grandes volúmenes de datos de manera controlada y en tiempo real.

2.4.1. Tipos de bases de datos

Las bases de datos pueden clasificarse en varias categorías en función de su estructura, propósito y método de acceso. Algunas de las arquitecturas más relevantes son:

- **Bases de Datos Relacionales (RDBMS):** Utilizan una estructura de tablas con filas y columnas para organizar los datos. En ellas, se establece un conjunto de relaciones entre las tablas, optimizando la organización y la búsqueda de información. Este tipo de bases de datos se accede generalmente a través del lenguaje SQL (Structured Query Language), y su organización permite cumplir con los principios de normalización para evitar redundancias y mantener la integridad de los datos [4].
- **Bases de Datos NoSQL:** A diferencia de las bases de datos relacionales, las bases NoSQL están diseñadas para almacenar datos no estructurados o semiestructurados y soportar operaciones de gran velocidad y escalabilidad [5].
- **Bases de Datos en Memoria:** Estos sistemas, como Redis y SAP HANA, almacenan los datos principalmente en la memoria RAM, lo que permite un acceso extremadamente rápido a los datos.
- **Data Warehouses:** Los almacenes de datos son bases de datos especializadas diseñadas para el análisis y la consolidación de grandes volúmenes de información histórica provenientes de múltiples fuentes [6].

2.4.2. INTEGRACION DE BASES DE DATOS CON TIA PORTAL

La conexión de bases de datos con TIA Portal permite que los sistemas automatizados puedan registrar, analizar y recuperar datos históricos, como valores de sensores, eventos, alarmas y estadísticas de producción. Esto se logra al vincular TIA Portal con bases de datos relacionales o NoSQL a través de interfaces de comunicación,

como OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) o mediante scripts en lenguajes compatibles (Visual Basic o scripts en C# en WinCC).

2.5. WinCC con Excel

La integración entre WinCC Professional y Excel se logra a través de scripts que permiten intercambiar datos entre el sistema SCADA y la hoja de cálculo. Estos scripts, escritos generalmente en VBScript o C#, se configuran en el entorno de WinCC y aprovechan las funciones de automatización de Excel para exportar o importar datos.

2.6. GENERALIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA

2.6.1. Captación

En la captación de aguas provenientes de fuentes superficiales, el tipo de obra a implementar se define según las características geológicas, hidrológicas y topográficas del área o cuenca. En estas fuentes, el agua destinada al sistema de abastecimiento puede estar almacenada mediante una presa o fluir libremente en el cauce del río. Donde su componente esencial es el dispositivo de toma o ingreso del agua, que puede consistir en un conducto, un orificio u otros elementos similares [7].

2.6.2. Desarenadores

Un desarenador constituye la primera unidad de tratamiento en el proceso de potabilización del agua destinada al consumo humano, ofreciendo un tratamiento de naturaleza "física". Esta estructura es esencial en los sistemas de abastecimiento de agua superficial, especialmente cuando el flujo de agua transporta una alta carga de sedimentos. Por lo general, el desarenador se presenta como un tanque rectangular, notablemente más largo que ancho, diseñado para que el agua fluya a una velocidad muy reducida.

2.6.3. Canal de Parshall

El canal Parshall, también conocido como medidor Parshall, es una estructura hidráulica diseñada para medir el caudal de agua que fluye a través de una sección específica de un canal. Este tipo de medidor de régimen crítico es ampliamente utilizado debido a su precisión y eficiencia en el monitoreo de flujos de agua. Además, su diseño permite minimizar las pérdidas de energía hidráulica y adaptarse a diversas condiciones de

caudal, siendo adecuado para sistemas de riego, plantas de tratamiento y otras aplicaciones relacionadas con la gestión del agua.

2.6.4. Coagulación – Floculación

La coagulación es un proceso químico que implica la adición de coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua, facilitando su eliminación. Este fenómeno ocurre en cuestión de segundos y está influenciado por factores como la concentración del coagulante utilizado y el pH final de la mezcla. Por otro lado, la floculación es un proceso físico-químico en el que las partículas previamente desestabilizadas colisionan entre sí, formando estructuras más grandes llamadas flóculos, que son más fáciles de separar del agua.

2.6.5. Decantación

La decantación es un proceso físico que permite separar o remover las partículas en suspensión presentes en el agua, aprovechando la acción de la gravedad. Estas partículas deben tener una densidad mayor que la del agua para sedimentarse de manera efectiva. Como resultado, se obtiene un fluido más claro y una concentración mayor de partículas en el fondo. La eliminación de estas partículas puede lograrse mediante sedimentación, filtración o combinando ambos métodos de forma consecutiva, lo que hace que ambos procesos sean considerados complementarios.

3. METODOLOGÍA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

El tipo de investigación utilizada en este proyecto fue de tipo investigación de campo por el hecho de la extracción de datos e informaciones directamente de la planta de tratamiento de agua Tebicuarymi. De la misma forma fue de tipo mixta debido a que se abarcó lo cualitativo para recopilar y analizar experiencias, así como comprender conceptos, y también cuantitativo debido a que se procesaron valores de mediciones de los parámetros relacionados al tratamiento del agua. Del mismo modo se realizó una investigación aplicada por la implementación de una solución de automatización al proceso de tratamiento de agua con los conocimientos adquiridos con la carrera.

Para la recolección de datos se utilizó la técnica de observación, así también la entrevista. Para la técnica de observación fue de forma estructurada con la ayuda de la jefa y los operadores para la identificación de los diferentes procesos que se presentan en la planta de tratamiento de agua y el registro de manera descriptiva. Entre tanto la entrevista se realizó a los operadores de manera semiestructurada que permitió obtener información sobre el funcionamiento del sistema, los problemas que enfrentan y las posibles soluciones que se implementaron.

3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1. Entrevista

Se llevó a cabo una entrevista con la bioquímica y el técnico responsables de la planta de tratamiento de agua de ESSAP. Durante esta reunión, se recopiló información clave sobre los procesos operativos, las prácticas actuales que realizan y las limitaciones que enfrenta el sistema en su estado actual.

3.2.2. Descripción operativa de la planta

La planta de tratamiento de agua de la ESSAP emplea un sistema de captación formado por dos tubos de 900mm dispuestos uno sobre otro, cada uno está equipado con su propia válvula de regulación, de operación manual e independiente la cual se manipulan de acuerdo con el nivel del río. Cuando el nivel del río es alto, se abre la válvula del tubo superior y se cierra la del tubo inferior. En caso de que el nivel sea bajo, se invierte el proceso cerrando la válvula del tubo superior y abriendo la del tubo inferior.

Tras la captación, el agua pasa por las desarenadoras para remover partículas pesadas y luego se dirige a la sala de bombeo, donde están instaladas cuatro electrobombas sumergibles de 40HP equipadas con arrancadores suaves. De estas bombas, tres se mantienen operando y uno en reposo de manera simultánea para asegurar un flujo continuo de agua. Adicionalmente, cada lunes, miércoles y viernes se rota una bomba diferente, permitiendo distribuir el uso y reducir el desgaste, lo que el operador debe realizar manualmente mediante un selector en el panel de control. Además, la sala está equipada con un sensor de nivel en el reservorio donde se encuentran las bombas, el cual interrumpe su funcionamiento si el nivel de agua cruda desciende demasiado.

El agua proveniente de la planta de bombeo es enviada a la planta encargada de abastecer a la ciudad de Coronel Oviedo. Al ingresar, el agua pasa por el canal de Parshall, donde los operadores realizan una medición manual del pH mediante colorimetría, lo que permite ajustar, si es necesario, la dosificación de sulfato de aluminio y cal.

A continuación, el agua fluye hacia un caudalímetro ubicado en la entrada de la planta, donde se registra el caudal procesado en esta etapa inicial. Posteriormente, el agua tratada continua su recorrido hacia los estanques de floculación, donde se fomenta la formación de flóculos que facilitan la sedimentación de partículas. Luego, el agua pasa a las piscinas de decantación, donde los flóculos sedimentados son eliminados.

Desde las piscinas de decantación, el agua pasa por un caudalímetro en la entrada para monitorear el flujo, que se dirige hacia dos reservorios, donde cada uno está equipado con un sensor de nivel. Una vez almacenada en los reservorios, el agua es conducida a la sala de envío que esta sala está equipada con cuatro electrobombas de 150 HP con sus arrancadores suaves, las cuales operan de manera rotativa los lunes, miércoles y viernes con un esquema de rotación igual al de la sala de bombeo. Finalmente, el agua es distribuida a la ciudad de Coronel Oviedo.

Para monitorear el flujo de salida, un tercer caudalímetro está instalado en un tubo de 400mm, que se dirige a la planta de distribución de Coronel Oviedo. Los datos registrados por los tres caudalímetros (ubicados en la entrada de la planta, en los reservorios y en el tubo de salida) son anotados manualmente por los operadores en planillas cada hora. Este registro permite un control detallado del caudal procesado en cada etapa del sistema.

Finalmente, los operadores solicitaron que los paneles de control instalados no se vean afectados por las mejoras, para seguir utilizándolos tanto de manera local como remota, sin interrupciones.

3.2.3. Análisis y recomendaciones basada en la entrevista

Con base en los datos recopilados, se definió la incorporación de dos electroválvulas para permitir la operación telecomandada en la fase de captación. Además, se integrará un sensor de nivel sumergible diseñado para monitorear el nivel del río y facilitar un control automático de las electroválvulas

En la sala de bombeo y envío se utilizarán los sensores de nivel ya instalados en los reservorios, del mismo modo, cada bomba cuenta con un arrancador suave que proporciona información clave sobre el consumo de corriente, fallas, alimentación del motor y alarmas térmicas. Atendiendo al pedido de los operadores durante la entrevista, se incorporará un relé de estado sólido en serie con el pulsador de parada de cada bomba, permitiendo su operación remota desde los paneles de control mientras se mantiene intacta su funcionalidad original.

El sistema actual enfrenta inconvenientes importantes debido a la medición manual del pH y al registro manual de los datos de los caudalímetros. La medición de pH mediante colorimetría, realizada por los operadores a través de la observación directa, es altamente susceptible a errores humanos y limita la frecuencia de las mediciones. Esto repercute directamente en la capacidad de ajustar de manera oportuna la dosificación de sulfato de aluminio y cal, lo que podría comprometer la calidad del agua tratada.

Por otro lado, el registro manual de los datos provenientes de los caudalímetros, realizado en planillas cada hora, presenta problemas de eficiencia y precisión. Este método no permite un monitoreo en tiempo real, ya que los datos no están disponibles de inmediato para su análisis. Además, la dependencia de anotaciones manuales aumenta el riesgo de inconsistencias y errores, lo que dificulta la toma de decisiones rápidas frente a variaciones en el caudal procesado.

Para superar estas limitaciones, se incorporarán dos sensores de pH, que serán instalados estratégicamente en el canal de Parshall y después de la mezcla de sulfato de aluminio y cal lo que permitirá un control continuo y preciso de la calidad del agua. Asimismo, se aprovecharán los caudalímetros ya instalados en tres puntos clave (la entrada a la planta de tratamiento, el acceso al reservorio de envío y la salida de la planta) para que sus datos puedan ser integrados y visualizados directamente en el sistema de monitoreo. Los datos recolectados por los sensores de pH y los caudalímetros serán almacenados en una base de datos centralizada, lo que permitirá generar reportes detallados de manera automatizada para análisis y gestión operativa.

3.3. SELECCIÓN DE CONTROLADORES Y COMPONENTES

En función del análisis realizado tras la entrevista y considerando las necesidades del sistema, se seleccionaron los siguientes equipos electrónicos. Esta elección se basó en la capacidad de integración con los sistemas actuales de la planta, y cumpliendo los requerimientos operativos del proyecto. Las tablas de las características técnicas se encuentran en el ANEXO I

3.3.1. Sensor de Nivel

Dado que el sensor operará en un entorno fluvial a las orillas del río Tebicuarymi, se ha seleccionado un sensor de nivel conductivo por su alta fiabilidad, precisión y adaptabilidad a este tipo de aplicaciones. La elección se basa en su capacidad para operar de manera efectiva en condiciones de inmersión y su facilidad de instalación y mantenimiento.

Para la implementación, se instalarán dos sensores de nivel, ubicados estratégicamente a la altura correspondiente de los dos caños destinados a la captación de agua.

3.3.2. Electroválvulas

La implementación de la electroválvula permitirá automatizar el control del flujo de agua proveniente del río Tebicuary. Actualmente, el sistema cuenta con una válvula de accionamiento manual. La electroválvula será instalada en línea, aguas abajo de la válvula manual existente. Se seleccionó la válvula de mariposa con actuador neumático, que se controlará mediante una válvula solenoide 5/2 monoestable. Esta configuración permitirá la operación remota y automática de la válvula, mientras que se incluye un accionamiento manual en caso de emergencia.

3.3.3. Relé de estado solido

Para permitir el apagado remoto de los motores sin afectar el panel de control existente, se requiere la instalación de un relé de estado sólido (SSR) normal cerrado en serie con el pulsador de parada del panel de control. Este relé operará en paralelo con el pulsador, permitiendo que su activación desconecte el motor a distancia. Este diseño combina la funcionalidad local y remota.

3.3.4. Sensor de Ph

Para la medición del pH, se instalarán dos sensores, ubicados antes y después de la etapa de mezcla de sulfato de aluminio y cal, lo que permitirá evaluar el pH del agua

tanto en su estado natural, en el río, como después del tratamiento, asegurando el control de calidad para el consumo.

3.3.5. Controladores

El controlador elegido para gestionar los diferentes procesos de la planta es el s7-1200, con el CPU 1215C, AC/DC/RLY, la cual será el PLC central y estará ubicado en la sala del operador.

Debido a que usaremos señales analógicas y señales de bajo nivel para la recepción de datos de las bombas y los sensores de nivel del reservorio de la sala de envío, se eligieron los módulos SM 1231 AI 8 x 13 bits y SM 1221, 8 DI, 24 V DC.

Debido a que existe una distancia considerable entre la sala de bombeo y la sala de envío como se puede observar en la Figura 2, se optó por usar un periférico descentralizado SIMATIC ET 200SP con módulo de interfaz IM 155-6 PN ST.

Es necesario incorporar módulos de expansión para recibir señales similares a las de la sala de envío descritos anteriormente. Además, se requiere recibir las señales del sensor de nivel del río y controlar las electroválvulas para la captación del agua, por lo tanto, se optó por la utilización de los siguientes módulos: dos DI 8x24VDC ST, un DI 4x120..230VAC ST, un AI 4x1 2-,4-wire ST, un DQ 4x24..230VAC/2A ST y un DQ 8x24VDC/0.5A ST.

También es necesario incorporar dos fuentes de alimentación de 24VDC para abastecer tanto el módulo descentralizado y sus módulos asociados, como el sensor de nivel instalado en el río. Además, se utilizará una fuente de alimentación adicional junto al PLC central para alimentar los sensores de pH y su módulo de expansión.

3.4. DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE COMUNICACION

Esta red estará basada en una combinación jerárquica maestro-esclavo con interacción cliente-servidor, estructurada sobre el protocolo de comunicación Profinet basado en Ethernet industrial, garantizando una comunicación rápida y segura.

En esta arquitectura, el PLC central actúa como maestro, coordinando y gestionando las operaciones de la periferia descentralizada, representada por el ET 200SP. Este dispositivo periférico se comporta como esclavo, ejecutando órdenes y reportando datos al controlador central a través de Profinet.

La estación SCADA, por su parte, opera bajo un modelo cliente-servidor. En este esquema, el SCADA actúa como cliente al solicitar información del PLC y enviarle comandos específicos. El PLC funciona como servidor intermedio, procesando estas solicitudes y actuando como el puente entre el SCADA y la periferia descentralizada.

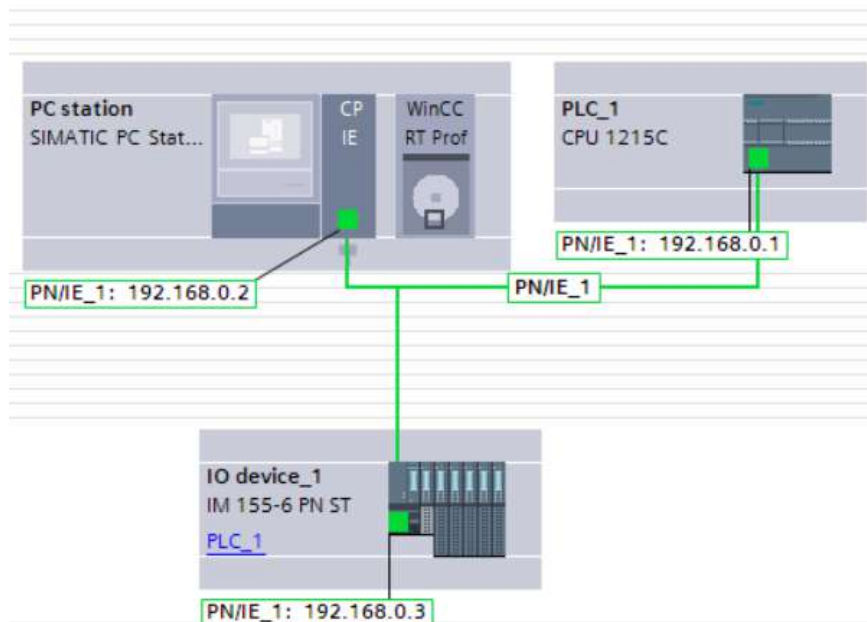


Figura 1: Red de Conexiones entre dispositivos

3.5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

El diseño del sistema de control se desarrolló utilizando el software TIA Portal V17, una herramienta utilizada para la configuración de controladores, dispositivos periféricos y redes industriales. Para la supervisión y operación del sistema, se utilizó WinCC Professional, integrado en TIA Portal, para crear una interfaz gráfica del SCADA, que permite la visualización y el control de los procesos en tiempo real.

3.5.1. Esquema de conexión

Dado que la planta está organizada en dos secciones separadas por una considerable distancia física, se han identificado como sala de bombeo y sala de envío, tal como se ilustra en la Figura 2. Debido a la separación física entre las dos secciones de la planta, se decidió adoptar una configuración que optimiza tanto el cableado como la transmisión de señales. En la sala de bombeo, los sensores y actuadores están conectados a un sistema periférico descentralizado, el SIMATIC ET 200SP, que permite procesar las señales de manera local. Este sistema envía los datos al PLC S7-1200 a través de un único cable de comunicación PROFINET, utilizando un cable Ethernet estándar de categoría 5e o superior. Esta solución reduce significativamente las pérdidas de señal y

simplifica la infraestructura de comunicación, lo que es crucial para cubrir la distancia entre las dos salas.

Por otro lado, en la sala de envío, que está ubicada cerca de la sala de control del operador, se optó por una configuración más directa. Todas las señales de esta área se integran directamente al PLC central y sus módulos de expansión. Esta configuración fue seleccionada porque ofrece un equilibrio entre eficiencia operativa y economía en infraestructura, minimizando el costo y la complejidad del cableado.

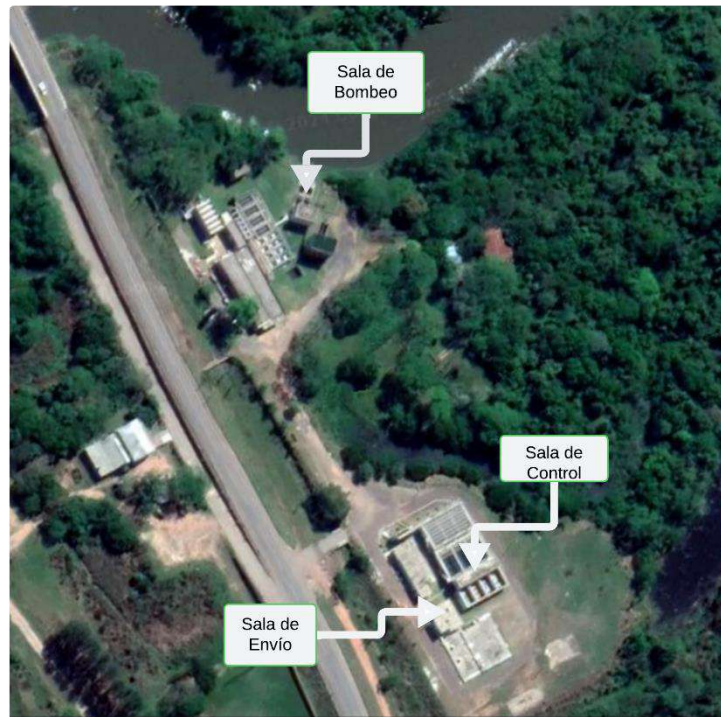


Figura 2: Vista Satelital de la planta de tratamiento

Como se puede apreciar en la Figura 3 los sensores y actuadores que se encuentran en la sala de bombeo estarán conectados a los módulos del periférico descentralizado SIMATIC ET 200SP. Las señales que salen de los bornes de control (Alarma térmica, Falla de motor y Estado del motor) de cada arrancador suave de los motores, como también las señales de los sensores de nivel proveniente del río irán conectado al módulo DI 8x24VDC ST, que recibe señales de 24VDC. Luego están las salidas analógicas del amperaje que consume cada motor que sale del borne de control de cada arrancador suave, este va conectado por el módulo AI 4x1 2-,4-wire ST, que es capaz de recibir estas señales analógicas. Así también los sensores de nivel del reservorio donde están las bombas sumergibles estarán conectados al modulo DI 4x120..230VAC ST. A continuación, tenemos las salidas del controlador que están conectados a las dos electroválvulas, estas estarán equipadas con un actuador neumático y un solenoide que

opera a 220V. Finalmente las señales de activación y desactivación de las bombas estarán conectadas al módulo DQ 8x24VDC/0.5A ST que funciona a 24V. El controlador enviará una señal al circuito de control, debajo del pulsador de marcha para autoenclavar los motores correspondientes. Si es necesario apagar la bomba, se enviará una señal al relé de estado sólido para que abra su contacto normal cerrado y así desenclavar el motor. Este proceso no afectará el funcionamiento del panel de control existente en la planta, que seguirá operando de manera normal, como se puede observar en la Figura 4. Además, el sistema podrá ser controlado tanto de forma remota, a través de telecomando, como de manera local, según la situación y las necesidades operativas del momento.

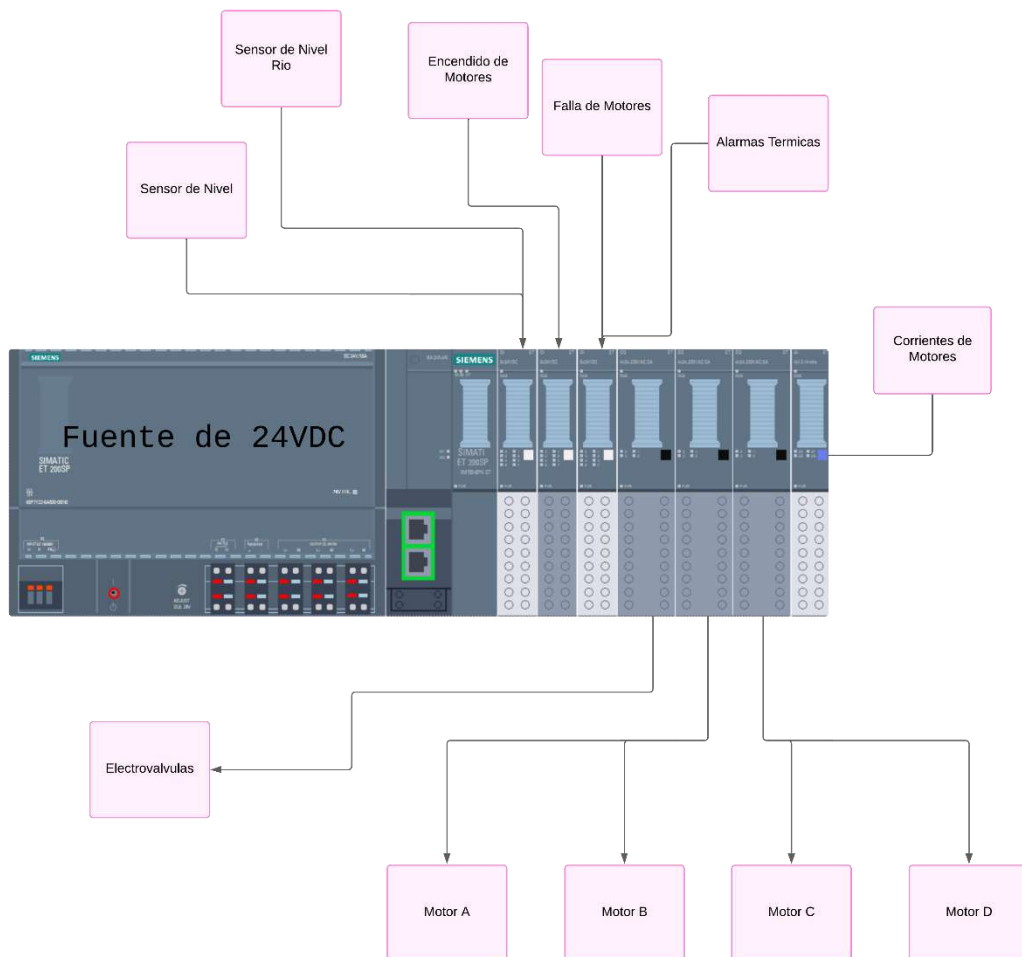


Figura 3: Diagrama de Conexión del SIMATIC ET 200SP

En la Figura 4 se muestran las conexiones correspondientes al PLC S7-1200 y sus módulos expansibles. Las señales provenientes del borne de control de los arrancadores suaves y los sensores de nivel del reservorio están conectadas al módulo DI 16x24VDC, que opera a 24VDC. Estos arrancadores suaves envían señales digitales que indican el estado de los motores (encendido, apagado o fallo), mientras que los sensores de nivel proporcionan la información necesaria para el control del agua en el reservorio.

A continuación, las señales analógicas, que incluyen las mediciones de los dos sensores de Ph y los tres caudalímetros, así como las señales de amperaje, están conectadas al módulo AI 8x13BIT, capaz de recibir y procesar señales analógicas. Este módulo permite la lectura precisa de los valores de pH, caudal y el consumo de corriente. Donde estos datos serán enviados en tiempo real a la pantalla del sistema SCADA.

Por último, los actuadores, que tienen la misma funcionalidad y conexiones explicadas anteriormente, están integrados al sistema, con la diferencia de que no se incluye el control de las electroválvulas en este caso. Los actuadores están conectados directamente al CPU 1215C, que es el PLC principal encargado de la ejecución de los procesos de control, actuando sobre los sistemas de manera automatizada según las señales recibidas.

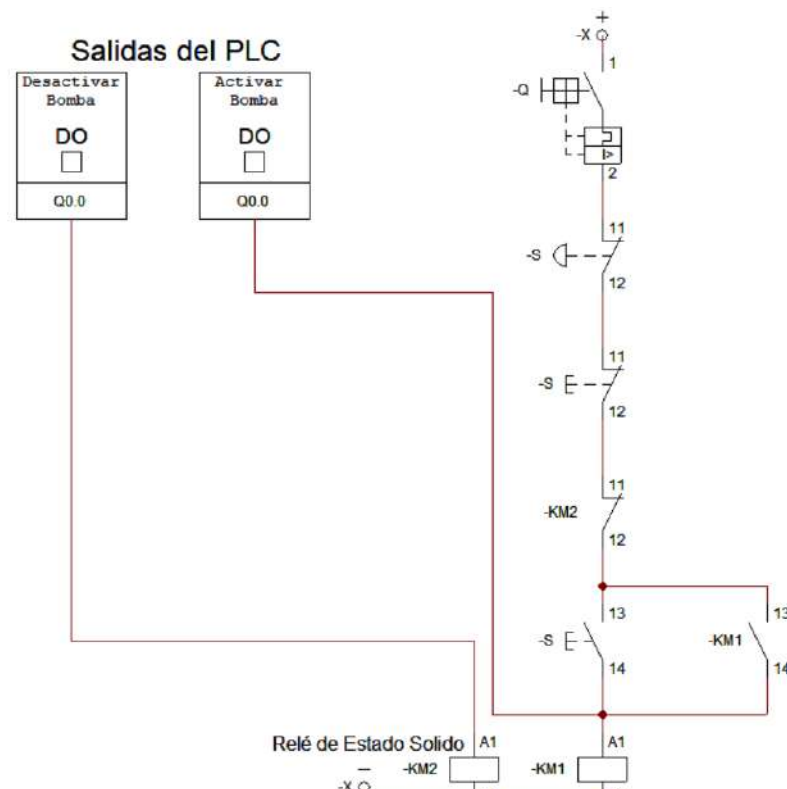


Figura 4: Conexión de circuito de control

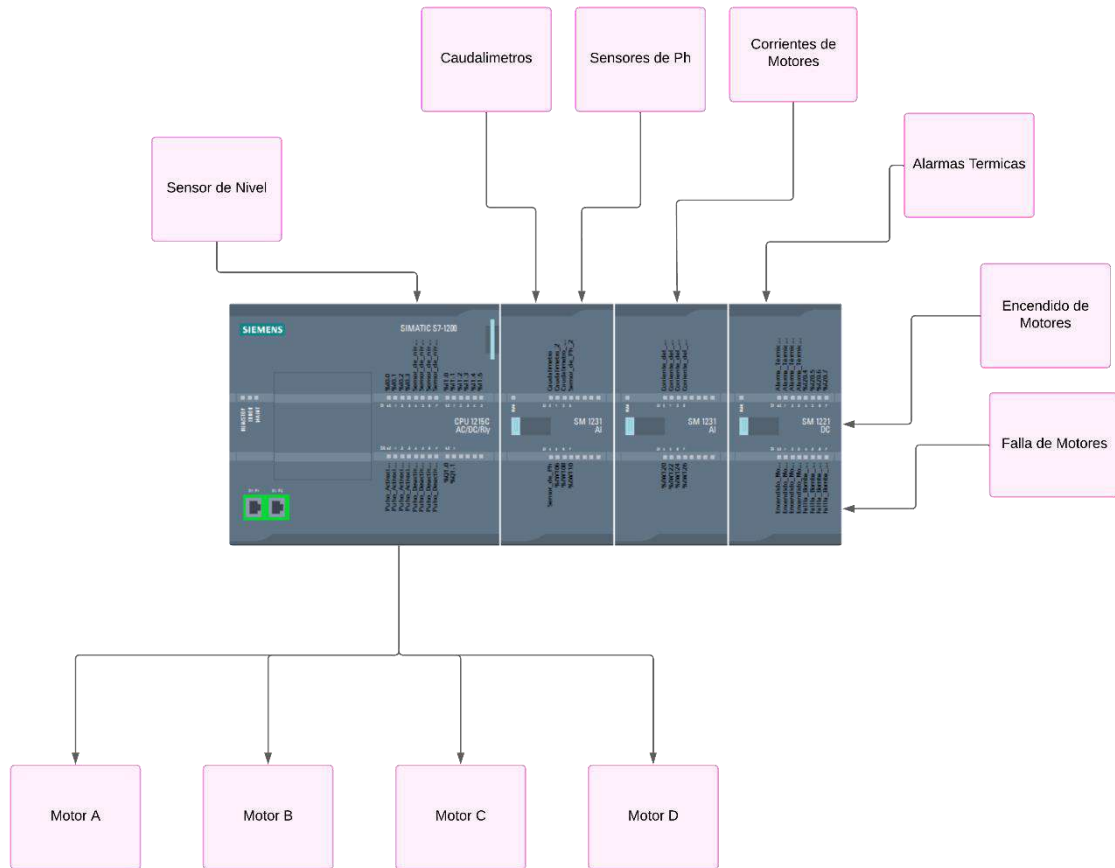


Figura 5: Diagrama de Conexión del S7-1200

3.5.3. DESCRIPCION DE LA INTERFAZ GRAFICA

La interfaz gráfica del sistema fue diseñada mediante pantallas específicas en WinCC Professional. Cada pantalla tiene un propósito particular y está configurada para controlar o visualizar ciertos datos, permitiendo un monitoreo efectivo de los procesos de la planta. Las pantallas incluyen funcionalidades como la visualización de parámetros en tiempo real, el control de dispositivos como bombas y válvulas, y la visualización de alarmas o estados críticos.

Cada pantalla está estructurada para que los operadores puedan acceder rápidamente a la información relevante de cada sección del sistema. Esta disposición permite a los usuarios tomar decisiones informadas de manera ágil, basándose en los datos actualizados proporcionados por los sensores y actuadores.

3.5.3.1. Inicio de Sesión

En la Figura 5 se presenta la pantalla de inicio de sesión del sistema SCADA, que permite el acceso exclusivo a los usuarios registrados. Para iniciar sesión, los usuarios deben

ingresar su nombre y contraseña, y presionar el botón correspondiente. El registro de usuarios se clasifica en tres niveles: operadores, supervisores y personal de mantenimiento. Los operadores tienen acceso a los comandos de control para encender y apagar los actuadores. Los supervisores, por su parte, solo pueden visualizar los estados del sistema sin tener acceso a los comandos de control. Finalmente, los usuarios de mantenimiento tienen acceso completo al sistema, incluyendo la capacidad de editar los usuarios y contraseñas.

El funcionamiento de la pantalla de inicio es sencillo, al presionar el botón central, se abre una ventana emergente para ingresar el nombre y la contraseña. Si los datos son correctos, el usuario obtiene acceso al menú principal en la parte superior de la pantalla, lo que le permite navegar por el sistema SCADA.

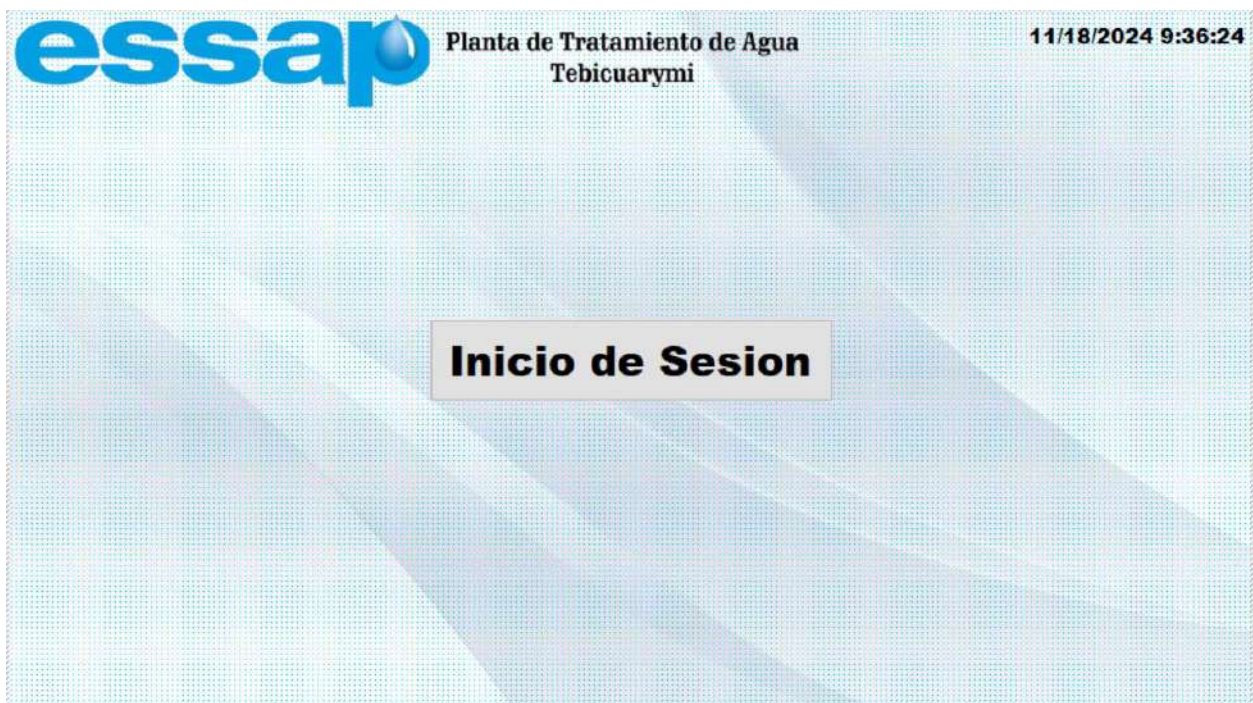


Figura 6: Pantalla de inicio de sesión

3.5.3.2. Información General de la Planta

Al acceder al menú ubicado en la parte superior y seleccionar el botón "Vista General", se despliega la pantalla principal del sistema SCADA, como se muestra en la Figura 6. Esta interfaz proporciona una visión integral del estado actual de la planta, mostrando en tiempo real el estado de los actuadores y los valores registrados por los sensores. En el caso de los actuadores, su estado se indica mediante un código de color: rojo para indicar que están apagados y verde para señalar que están en funcionamiento. Además, se

visualizan los datos proporcionados por los sensores, incluyendo las lecturas de los tres caudalímetros, los dos sensores de pH y la corriente consumida por cada bomba.

La pantalla incluye un tablero de control con opciones clave como la puesta en marcha y parada de la planta, además de un botón de parada de emergencia. A la derecha, se encuentran las opciones de configuración de las electroválvulas y las bombas de la sala de bombeo y de la sala de envío, donde el operador puede seleccionar entre los modos manual y automático.

En el caso de las electroválvulas cuando se selecciona el modo manual, los operadores pueden controlar directamente la apertura o cierre de las mismas desde la interfaz gráfica del SCADA. Por otro lado, en el modo automático, las electroválvulas responden a los datos enviados por el sensor de nivel del río, operando automáticamente según lo indicado en la entrevista.

Para las bombas de la sala de bombeo y la sala de envío, también se puede optar entre los modos manual y automático. En el modo manual, el operador tiene control directo para encender o apagar cada bomba según lo requiera la operación. En el modo automático, el sistema gestiona el encendido de tres bombas simultáneamente, dejando una en reposo. Este patrón de operación sigue un ciclo rotativo que cambia cada lunes, miércoles y viernes.

En la parte inferior izquierda de la pantalla se encuentra un visualizador de alarmas, diseñado para alertar al operador sobre cualquier anomalía o evento relevante en el sistema.

El funcionamiento general del sistema comienza con la activación del botón de marcha, que inicia el proceso operativo. A continuación, el operador debe configurar el modo de funcionamiento de las electroválvulas. Una vez configuradas las electroválvulas, se procede a seleccionar el modo de funcionamiento de las bombas sumergibles, tanto de la sala de bombeo como de la sala de envío. Si el operador necesita detener el sistema completo, puede pulsar el botón de parada, que desactiva tanto las bombas como las electroválvulas, aunque los sensores continuarán monitoreando y mostrando los datos en tiempo real. En caso de emergencia, el pulsador de parada de emergencia detiene inmediatamente toda la planta y bloquea el botón de marcha hasta que se reactive el pulsador de emergencia.

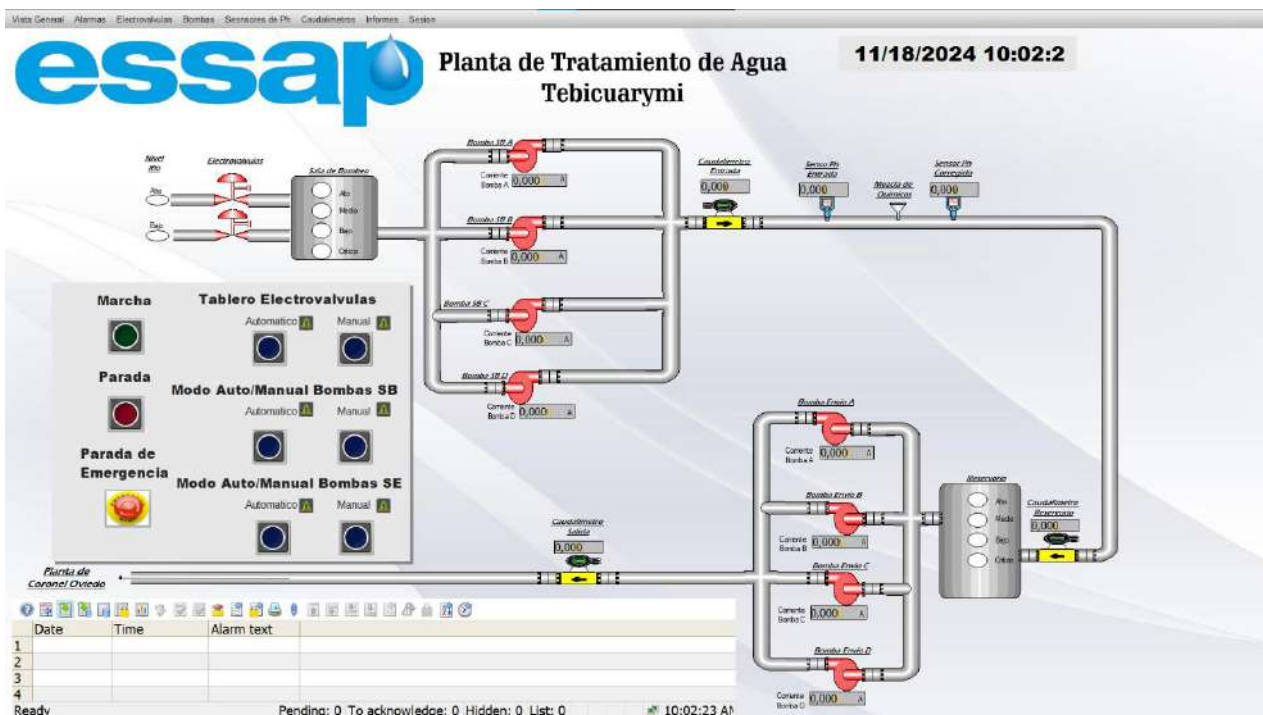


Figura 7: Pantalla de la vista general de la planta

3.5.3.3. Alarmas

La pantalla de alarmas, ilustrada en la Figura 7, está diseñada para facilitar la supervisión y el diagnóstico de eventos críticos en el sistema. En el lado izquierdo de esta pantalla, se encuentra el panel de alarmas activas, que muestra en tiempo real las alarmas que se han activado y están generando inconvenientes en la operación. Este panel permite a los operadores identificar rápidamente problemas que requieren atención inmediata.

En el lado derecho, se presenta el histórico de alarmas, donde se registran todas las alarmas que han ocurrido, incluso aquellas que ya han sido atendidas o resueltas. Este registro incluye información detallada como la fecha y hora de activación, el tipo de alarma, y, en su caso, el usuario que gestionó la situación. Este historial es útil para realizar análisis posteriores, detectar patrones recurrentes y garantizar que las acciones correctivas hayan sido implementadas.



Figura 8: Pantalla de alarmas

3.5.3.4. Control de Electroválvulas

En esta sección se detalla únicamente el funcionamiento en modo manual de las electroválvulas, ya que el modo automático fue explicado previamente. La Figura 8 ilustra la pantalla dedicada a este propósito, diseñada con una estructura y lógica de operación idénticas a las del tablero en la pantalla de información general. La diferencia radica en que esta pantalla se centra exclusivamente en el control de las electroválvulas, ofreciendo un enfoque más específico para el operador. Cuando se selecciona el modo manual, la pantalla habilita los botones de Marcha y Parada, permitiendo al operador activar o desactivar directamente cada electroválvula desde la interfaz. Esta funcionalidad es especialmente útil para realizar pruebas operativas o intervenir en situaciones específicas. El diseño asegura que estos controles sean fácilmente accesibles y claramente identificables, minimizando el riesgo de errores.

Por otro lado, al cambiar al modo automático, los botones de Marcha y Parada se ocultan automáticamente. Este comportamiento está diseñado para evitar activaciones accidentales y garantizar que las electroválvulas funcionen únicamente bajo el control del sistema automático, basado en los datos proporcionados por los sensores.



Figura 9: Pantalla de control de electroválvulas

3.5.3.5. Control de Bombas

Esta pantalla, ilustrada en la Figura 9, está dedicada al control de las bombas ubicadas en la sala de bombeo y en la sala de envío. Su diseño permite gestionar el funcionamiento de las bombas seleccionando entre dos modos de operación: manual y automático. Cuando el operador selecciona el modo manual, la interfaz habilita los botones de Marcha y Parada para cada bomba lo que permite activar o desactivar las bombas de manera individual y directa desde el sistema SCADA.

Al seleccionarse el modo automático, el sistema asume el control de las bombas, gestionando su funcionamiento como se describió previamente. En este modo, los botones de marcha y parada desaparecen de la pantalla para evitar que se activen accidentalmente.

El funcionamiento de esta pantalla es similar al del control de las electroválvulas, manteniendo la misma lógica y diseño para facilitar la familiarización del operador.

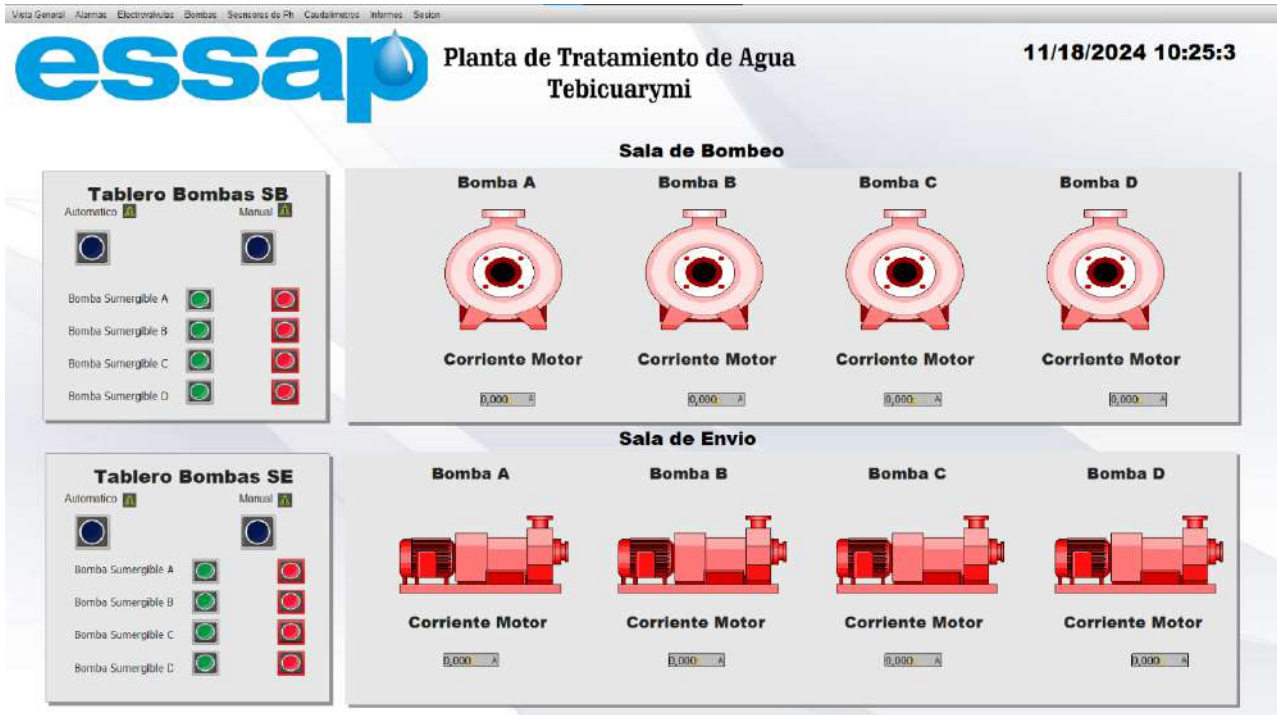


Figura 10: Pantalla de control de bombas

3.5.3.6. Visualización del Caudalímetro y Sensor de Ph

Las pantallas dedicadas al monitoreo de los caudalímetros y sensores de pH, representadas en las Figuras 11 y 12, permiten una visualización detallada y en tiempo real de los datos captados por los sensores. Estos datos se muestran tanto en formato numérico como gráfico, proporcionando una representación clara de los valores actuales y sus variaciones a lo largo del tiempo.

La actualización de los valores es de 500 ms, lo que asegura una observación precisa y continua de las fluctuaciones que puedan ocurrir en los parámetros monitoreados. Además, mediante la tarea programada que nos brinda el software y con el uso de script, los datos generados por los sensores se almacenan automáticamente en una base de datos cada cinco minutos, lo que garantiza la conservación y posterior consulta de los registros para análisis o auditorías.

Este enfoque de visualización permite a los operadores tener un control más eficiente de las condiciones del sistema, facilitando la toma de decisiones en tiempo real y asegurando que cualquier cambio o irregularidad en los parámetros sea detectado y registrado de manera oportuna.

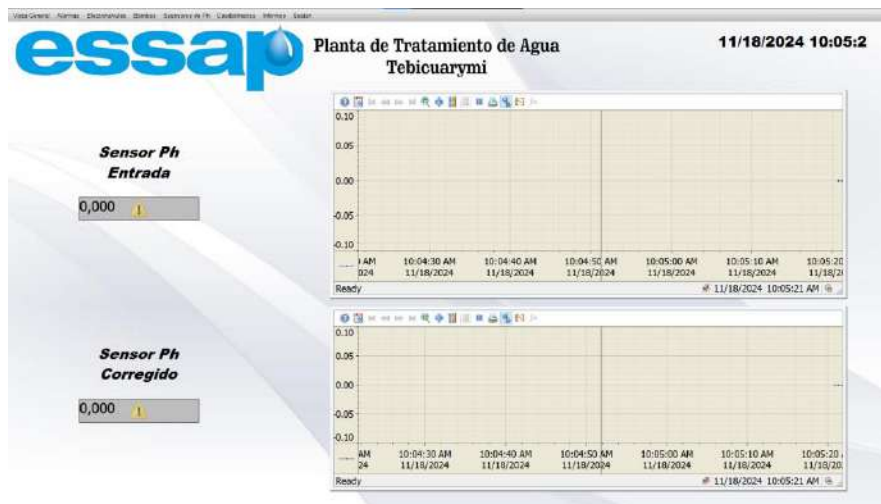


Figura 12: Pantalla de Sensor de Ph

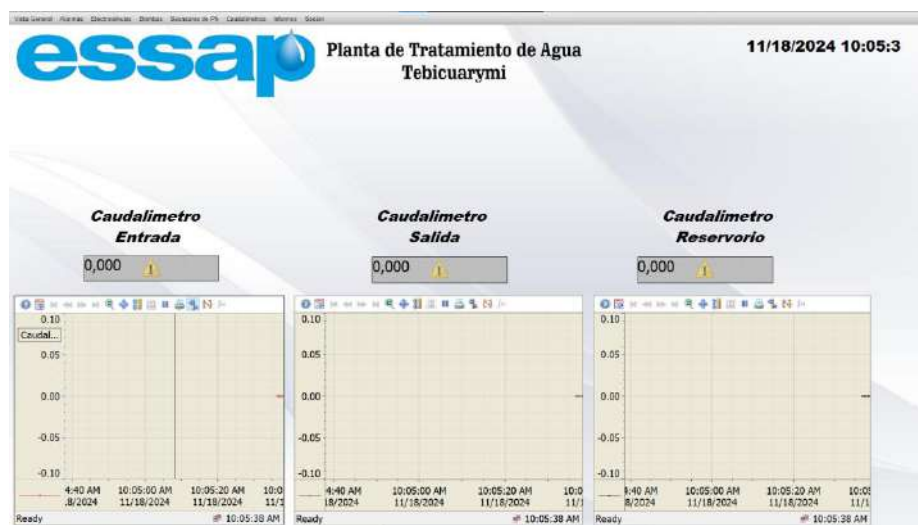


Figura 11: Pantalla de caudalímetro

3.5.3.7. Reportes

Se decidió generar un archivo en formato Excel con los datos almacenados en la base de datos, empleando un script preconfigurado que automatiza el proceso de extracción. La programación de este script se encuentra en el Anexo 3. Como se muestra en la Figura 13, la interfaz permite al usuario seleccionar un rango de fechas, ingresando la fecha de inicio y fin en el formato mes/día/año. Una vez definidas las fechas, el usuario debe pulsar el botón verde de "Generar" para iniciar el proceso de extracción de datos. En la parte inferior de la pantalla, se encuentra un cuadro de información que muestra posibles errores durante el proceso. Si el sistema detecta un error, se visualizará un mensaje explicativo dentro de este cuadro, permitiendo al usuario identificar el problema. El sistema utiliza este rango de fechas para extraer los datos correspondientes y los

organiza en una plantilla predefinida de Excel, facilitando el análisis y la presentación de los datos de manera estructurada.

Este proceso automatizado garantiza la recopilación eficiente de datos históricos para su análisis posterior, contribuyendo a la toma de decisiones basadas en información precisa y actualizada.

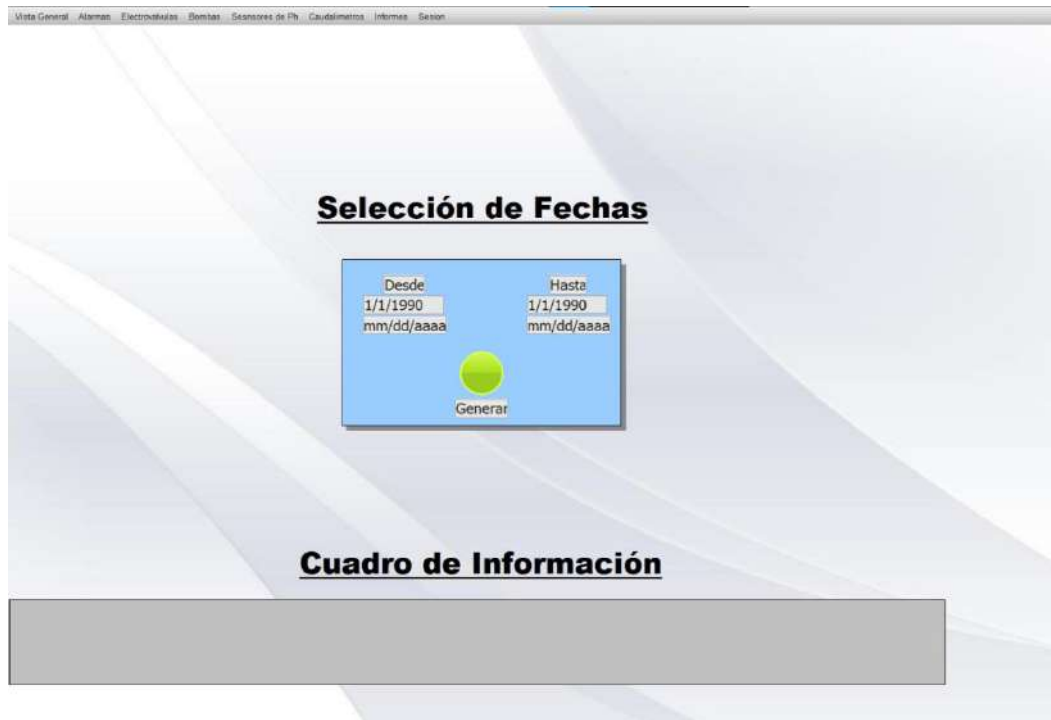


Figura 13: Pantalla de reportes

3.5.3.8. Gestión de Usuarios

A través de la pantalla mostrada en la Figura 14, el personal autorizado, como el encargado de mantenimiento o el programador, puede agregar o eliminar usuarios del sistema SCADA. Esta funcionalidad está restringida a un grupo selecto de usuarios para evitar cambios no autorizados. El proceso de modificación de usuarios se realiza sin necesidad de interrumpir la operación de la planta, permitiendo mantener el funcionamiento continuo del sistema mientras se gestionan los permisos de acceso.

De esta manera, las configuraciones de usuario pueden ser actualizadas de forma segura y eficiente sin que sea necesario detener el sistema. Esto asegura que la gestión de accesos sea flexible y que no afecte la operación de la planta en ningún momento.

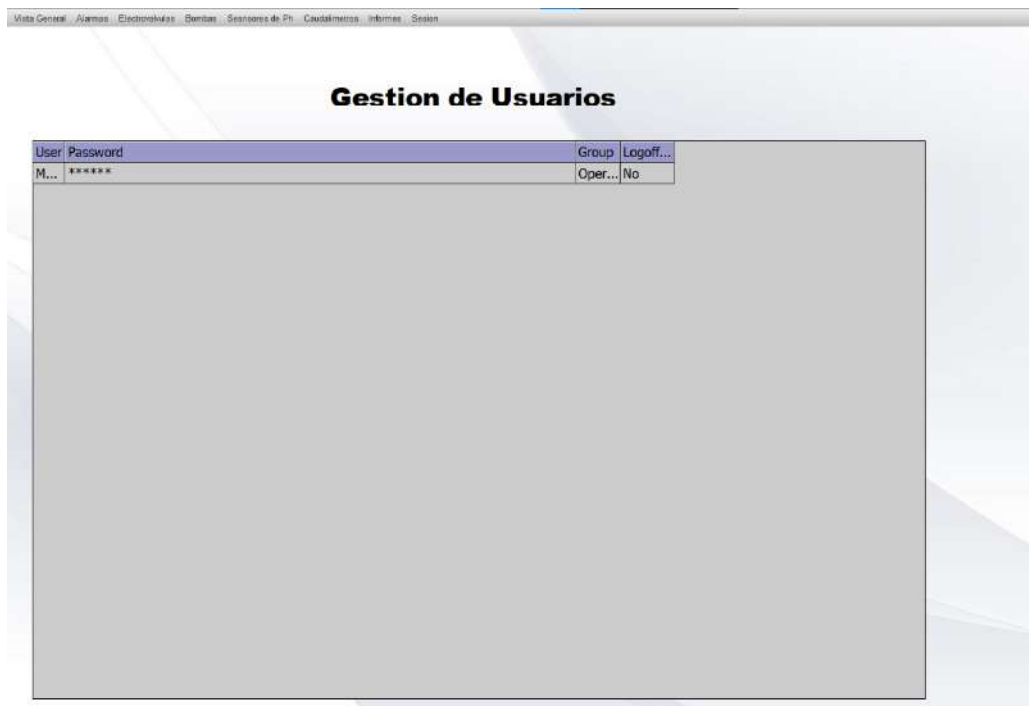


Figura 14: Pantalla de gestión de usuarios

3.7. PRUEBAS Y AJUSTES DEL SISTEMA MEDIANTE SIMULACIONES

Para la simulación del sistema, se emplearon los softwares PLCSIM y WinCC Runtime, ambos integrados en TIA Portal. Estas herramientas permiten simular el funcionamiento de un PLC sin necesidad de contar con un equipo físico, además de replicar la interacción con la interfaz gráfica del sistema SCADA.

Mediante las simulaciones, se pudo ejecutar la programación desarrollada y evaluar la respuesta del sistema frente a señales simuladas enviadas por los sensores. Durante las pruebas, se identificaron problemas en la rotación de las bombas, ya que estas no operaban correctamente en los días programados, al utilizar temporizadores. Además, en los días de rotación programados o tras un corte de operación, las bombas no reiniciaban de manera adecuada, lo que provocaba que las rotaciones se ejecutaran varias veces provocando conflictos en la activación de las mismas.

Para resolver estos inconvenientes, se utilizó un bloque de datos configurado para aprovechar el reloj interno del PLC, lo que permitió establecer un control más preciso y confiable sobre la rotación. Adicionalmente, se implementó una variable que almacena un valor específico después de cada cambio de rotación, evitando que las acciones se

repitan innecesariamente. Estas soluciones corrigieron el problema y garantizaron el correcto funcionamiento del sistema de rotación de las bombas.

Adicionalmente, las simulaciones revelaron que el escalamiento de las señales analógicas de los caudalímetros requería cálculos específicos para interpretar correctamente los valores obtenidos. Este procedimiento fue detallado en el Anexo 4, donde se explica el enfoque adoptado para garantizar la correcta lectura y procesamiento de estas señales.

Gracias a esta metodología, se logró depurar el programa y ajustar los parámetros del sistema, asegurando su correcto desempeño antes de implementarlo en un entorno real.

3.8. FACTIBILIDAD ECONÓMICA

A continuación, se elaboró el presupuesto del proyecto, que incluirá el costo de los materiales necesarios, los cuales serán adquiridos específicamente para este proyecto. Cabe destacar que no se incorporarán los materiales previamente disponibles en la planta de tratamiento de agua de ESSAP. Además, se calculó el costo de la mano de obra requerida para la ejecución completa del proyecto.

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	PLC Siemens S7-1200	\$649	\$ 649,00
2	2	SM 1231 AI 8 x 13 bits	\$501	\$ 1.002,00
3	1	SM 1221, 8 DI, 24 V DC	\$139	\$ 139,00
4	1	ET 200 SP, IM 155-6 PN ST	\$398	\$ 398,00
5	2	DI 8x24VDC ST	\$85	\$ 170,00
6	1	AI 4xl 2-,4-wire ST	\$300	\$ 300,00
7	1	DQ 4x24..230VAC/2A ST	\$220	\$ 220,00
8	1	DI 4x120..230VAC ST	\$350	\$ 350,00
9	1	DQ 8x24VDC/0.5A ST	\$110	\$ 110,00
10	1	Sensor de Nivel	\$400	\$ 400,00
11	2	Electroválvula	\$5000	\$ 10.000,00
12	8	Relé de estado sólido	\$30	\$ 240,00
13	2	Sensor de Ph	\$400	\$ 800,00
14	2	Fuente 24V	\$246	\$ 492,00

15	1	Software TIA Portal	\$3.500	\$ 3.500,00
16	1	PC	\$1000	\$ 1.000,00
17	1	Rack de Pared	\$600	\$ 600,00
18	2	Rieles DIN 35mm	\$1	\$ 2,00
Total				\$ 20.372,00

Tabla 1: Presupuesto de componentes y materiales

A continuación, se detallan los honorarios correspondientes a la mano de obra necesaria para la ejecución del proyecto. Teniendo en cuenta las horas de programación y análisis que conlleva la realización del sistema y de la mano de obra técnica necesaria para la realización del trabajo.

Ítem	Cantidad	Unidad	Designación de Trabajo	Costo Unitario	Costo Total
1	520	Hs	Ingeniero	\$ 20	\$ 10.400
2	30	Días	Técnico Electricista	\$ 45	\$ 1.350
Total					\$ 11.750

Tabla 2: Presupuesto de mano de obra

Se estima que el gasto en mano de obra asciende a \$11,750 dólares. De esta forma, el costo total proyectado para la implementación del sistema alcanza un monto aproximado de \$32,122 dólares.

Este presupuesto representa una inversión considerable, pero se considera viable para un ente público, dado que está alineado con los objetivos y necesidades de este tipo de instituciones. La suma requerida podría ser asumida dentro de los recursos disponibles, justificándose por los beneficios que el proyecto aportará en términos de eficiencia operativa y calidad del servicio.

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se diseñó con éxito un sistema SCADA para la automatización de la planta de tratamiento de agua de la ESSAP, combinando el control centralizado mediante el PLC S7-1200, la periférica descentralizada ET 200SP y un sistema de visualización permitiendo supervisar y gestionar en tiempo real todos los procesos críticos de la planta de forma eficiente y coordinada.

La automatización de la planta, junto con el control centralizado mediante el sistema SCADA, demostró ser altamente eficiente para reducir la intervención manual y minimizar posibles errores humanos.

La integración de sensores de pH y caudalímetros eliminó la necesidad de registros manuales, proporcionando datos precisos y en tiempo real.

Se implementó un algoritmo de rotación automática de bombas, configurado para operar en ciclos programados los lunes, miércoles y viernes. Las pruebas de simulación confirmaron el correcto funcionamiento de este esquema.

Se diseñaron interfaces gráficas intuitivas en WinCC Professional, organizadas en pantallas funcionales para control de electroválvulas, bombas, visualización de parámetros críticos y alarmas.

La simulación validó que la programación y el diseño del sistema funcionan de manera eficiente, cumpliendo con las especificaciones operativas verificando la funcionalidad tanto del control telecomandado como la operación automática de los equipos, demostrando la viabilidad técnica del sistema para un entorno real.

Los datos recolectados por sensores y caudalímetros fueron integrados en una base de datos centralizada, facilitando la generación de reportes automáticos en formato Excel.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diseño del sistema SCADA, validada mediante simulación, cumple con los objetivos planteados en el proyecto.

Mediante la entrevista se llevó a cabo un análisis exhaustivo de los procesos operativos, lo que permitió identificar las principales variables críticas a controlar.

La elección de los controladores, resultó ser óptima para integrar los sensores y actuadores al sistema asegurando la compatibilidad de los componentes seleccionados con los elementos de la planta.

La arquitectura de comunicación, basada en Profinet, aseguro una interacción confiable entre los dispositivos y el sistema SCADA.

El diseño de la interfaz gráfica desarrollada en WinCC resultó intuitiva y funcional, facilitando el uso del sistema por parte de los operadores.

Por otro lado, la programación implementada cumple eficazmente con los requerimientos de automatización.

Las simulaciones realizadas validaron la viabilidad técnica tanto de la programación como del diseño general.

Aunque la implementación representa una inversión elevada, su impacto positivo en la calidad del servicio y en la eficiencia operativa justifica su adopción, especialmente en el contexto de una empresa pública.

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento preventivo que incluya revisiones periódicas de los sensores y la red de comunicación.

Se recomienda realizar pruebas de campo con herramientas de diagnóstico para monitorear en tiempo real la estabilidad de la red Profinet y la calibración de los sensores.

Además, se sugiere integrar el caudalímetro de la planta de distribución de ESSAP en Coronel Oviedo al sistema SCADA, lo que permitirá detectar de manera temprana las pérdidas de agua entre ambas plantas.

Finalmente se recomienda realizar capacitaciones técnicas para el personal encargado de operar el sistema SCADA, asegurando un uso eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] ESSAP, «Planta tratadora de agua potable en Coronel Oviedo». [En línea].
Disponible en: www.essap.com.py
- [2] «TIA Portal», Siemens México. Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea].
Disponible en: <https://www.siemens.com/mx/es/productos/automatizacion/descubre-tia-portal.html>
- [3] J. Martínez Torres, y J. M. Diez, *Aprenda WinCC*, Primera. Editorial Universitat Politècnica de València www.editorial.upv.es, 2011. Accedido: 11 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://riunet.upv.es:443/bitstream/handle/10251/72397/TOC_0931_03_01.pdf?sequence%3D5&isAllowed=y
- [4] A. Silberschatz, H. F. Korth, y S. Sudarshan, *Database system concepts*, 6th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2011.
- [5] R. Cattell, *Scalable SQL and NoSQL data stores*, vol. 39. SIGMOD, 2010. [En línea].
Disponible en: <https://doi.org/10.1145/1978915.1978919>
- [6] M. Jarke, *Fundamentals of data warehouses*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [7] USAID, *Manual de operacion y mantenimiento de sistemas de agua potable por gravedad*. Honduras, Tegucigalpa: RILMAC Impresores.
- [8] J. M. de A. Netto, G. A. A. ALVAREZ, y G. A. Alvarez, *Manual de hidraulica*. Harla, 1976.

ANEXOS

ANEXO I: TABLAS DE CARACTERISTICAS DE LOS EQUIPOS ELECTRONICOS

Parámetro	Descripción
Principio de operación	Detección de nivel basada en la conductividad eléctrica del líquido entre electrodos.
Material del electrodo	Acero inoxidable 316L, Hastelloy, o titanio, resistente a la corrosión.
Tensión de alimentación	24 VDC.
Tipo de salida	Señal digital.
Temperatura de operación	De -10 °C a 80 °C
Presión máxima	Hasta 10 bar,
Compatibilidad del líquido	Líquidos conductivos con una conductividad mínima de 10 $\mu\text{S/cm}$
Grado de protección	IP68 para inmersión total.
Conexión eléctrica	Cable sellado, resistente al agua.
Montaje	Rosca, brida o montaje suspendido
Características adicionales	Protección contra inversión de polaridad, salida a prueba de fallos.

Tabla 3: Característica del sensor de nivel

Características	Válvula de Mariposa DG376KE81	Actuador Neumático	Válvula Solenoide 5/2 Monoestable
Diámetro	DN900	-	-
Material	EPDM	-	-
Presión nominal	PN10	3-8 bar (presión de trabajo)	-
Conexión	Flange estándar JIS10K100A	Conexión NAMUR	Conexión NAMUR para actuadores neumáticos

		compatible con válvulas NAMUR	
Tiempo de actuación	-	Menos de 10 segundos	-
Aplicación	Control de flujo de agua, aplicaciones industriales	Control de válvulas neumáticas	Control de aire a actuadores neumáticos, regulación de flujo
Temperatura de trabajo	-20°C a 80°C	-10°C a 80°C	-10°C a 80°C
Vida útil	Larga duración, diseño robusto para uso continuo	Alta vida útil, hasta 1 millón de ciclos	Larga vida útil (ciclos frecuentes sin mantenimiento)
Conexión eléctrica	No aplica	No aplica	220V AC
Corriente / Potencia de la Bobina	No aplica	No aplica	Corriente: 0.18 A / Potencia: 40 VA

Tabla 4: Características de la electroválvula

Características	Especificación
Voltaje de Entrada	3-32V DC (para operación con 24V DC)
Corriente de Salida	40A
Tiempo de Conmutación	1-10 milisegundos
Voltaje de Activación	3-32V DC
Temperatura de Operación	-40°C a +85°C
Tipo de Carga	Resistiva, inductiva, cargas de motor
Aislamiento	Aislamiento óptico entre la entrada y la salida
Tipo de Salida	Salida DC, NC (Normalmente Cerrado)
Protección	Protección contra sobrecarga, sobrevoltaje y sobre corriente
Voltaje de Control	24V DC (para sistemas de 24V)
Tipo de Montaje	Montaje en riel DIN o panel (dependiendo del modelo)

Durabilidad Mecánica	Sin partes móviles, vida útil prolongada comparado con relés mecánicos
Frecuencia de Conmutación	Hasta 20Hz (dependiendo del modelo)
Corriente de Control	Por debajo de 10mA

Tabla 5: Características del Relé de estado solido

Característica	Descripción
Rango de Medición	0 - 14 pH
Tipo de Sensor	Electrodos de combinación (referencia y medición)
Salida	Analógica (4-20 mA)
Material de la Carcasa	PVDF o PBT (Poliéster Termoplástico) resistente a la corrosión y abrasión
Temperatura de Operación	0 - 60 °C
Presión Máxima	6 bar
Suministro de Energía	24 VDC
Conexión	Conexión roscada o conector rápido (opcional, dependiendo de la instalación)
Material del Electrodo	Vidrio de alta calidad y referencia de calomelanos (KCl)
Certificación	CE, IP67
Mantenimiento	Requiere calibración periódica (cada 3-6 meses) y limpieza del electrodo

Tabla 6: Característica del sensor de Ph

Especificaciones	Detalles
Tipo de CPU	Compacta AC/DC/Relé
Puertos PROFINET	2 puertos
Entradas Digitales (DI)	14 DI 24 V DC
Salidas Digitales (DO)	10 DO, relé 2 A
Entradas Analógicas (AI)	2 AI 0-10 V DC
Salidas Analógicas (AO)	2 AO 0-20 mA DC
Alimentación	AC 85-264 V AC con 47-63 Hz

Memoria de Programas/Datos	200 KB
-----------------------------------	--------

Tabla 7: PLC S7-1200, CPU 1215C

Especificación	Detalles
Tipo de Módulo	Módulo de Entradas Analógicas
Número de Entradas	8 entradas analógicas
Resolución	13 bits
Rango de Señal	0-10 V, ±10 V, 0-20 mA, 4-20 mA
Precisión	Alta precisión para señales analógicas
Diagnósticos	Diagnósticos integrados
Conexión	Bornes extraíbles
Compatibilidad	Compatible con S7-1200

Tabla 8: Módulo SM 1231 AI 8 x 13 bits

Especificación	Detalles
Tipo de Módulo	Módulo de Entradas Digitales
Número de Entradas	8 entradas digitales
Tensión de Entrada	24 V DC
Estado de Entrada	Indicador LED por canal
Tiempo de Respuesta	Rápido, ideal para procesos rápidos
Diagnósticos	Diagnósticos básicos integrados
Conexión	Bornes extraíbles
Compatibilidad	Compatible con S7-1200

Tabla 9: Módulo SM 1221, 8 DI, 24 V DC

Especificación	Detalles
Familia	ET 200SP
Protocolos de Comunicación	PROFINET IO, IRT
Número de Módulos de Periferia	Hasta 64 módulos ET 200SP
Conexiones PROFINET	2 puertos RJ45 con switch integrado
Velocidad de Comunicación	10/100 Mbps
Compatibilidad con IO Devices	Compatible con controladores SIMATIC y otros dispositivos PROFINET

Hot Swapping	Soporta intercambio en caliente de módulos
Diagnósticos	Diagnósticos integrados accesibles vía PROFINET
Tensión de Alimentación	24 V DC (rango de operación: 19.2 - 28.8 V DC)
Consumo de Corriente	~140 mA a 24 V DC
Temperatura de Operación	-25 °C a +60 °C
Montaje	Montaje en riel DIN
Dimensiones (L x A x H)	35 mm x 75 mm x 117 mm
Grado de Protección	IP20

Tabla 10: ET 200 SP; IM 155-6 PN HF

Parámetro	Descripción
Modelo	DI 8x24VDC ST
Tipo de módulo	Módulo de entrada digital (8 canales)
Canales de entrada	8 canales de entrada digital
Tipo de señal de entrada	Señal digital, detección de contacto (ON/OFF)
Tensión de entrada	24 V DC ($\pm 20\%$)
Corriente de entrada por canal	3 mA (máxima)
Consumo de corriente	Aproximadamente 30 mA (sin carga adicional)
Tiempo de respuesta	Aproximadamente 10 ms por canal
Conexión al PLC	Conexión a través de la unidad de rack del PLC S7-1200, montaje en carril DIN
Protección	Protección contra sobrecarga y cortocircuito en las entradas digitales
Grado de protección	IP20 (protegido contra contacto accidental y objetos de tamaño mayor a 12 mm)
Temperatura de operación	-20 °C a +60 °C
Diagnóstico	Indicadores LED de estado para cada canal de entrada
Certificaciones	CE, UL, CSA

Tabla 11: Características de DI 8x24VDC ST

Parámetro	Descripción
Modelo	DQ 4x24..230VAC/2A ST
Canales de salida	4 canales de salida digital

Tipo de señal de salida	Salida de relé, con contactos para corriente alterna (AC) o continua (DC) en 24..230 V AC
Rango de salida (AC)	24..230 V AC, ajustable por el sistema
Corriente máxima de salida	2 A por canal (hasta un máximo de 8 A total por módulo)
Tipo de contacto	Contactos tipo relé, NO
Frecuencia de salida (AC)	47..63 Hz (para señales de salida en corriente alterna)
Tensión de alimentación	24 V DC
Consumo de corriente	Aproximadamente 50 mA (sin carga adicional)
Conexión al PLC	Conexión a través de la unidad de rack del PLC S7-1200, montaje en carril DIN
Protección	Protección contra sobrecarga y cortocircuito en las salidas digitales
Grado de protección	IP20 (protegido contra contacto accidental y objetos de tamaño mayor a 12 mm)
Temperatura de operación	-20 °C a +60 °C
Diagnóstico	Indicadores LED de estado para cada canal de salida
Certificaciones	CE, UL, CSA

Tabla 12: Características de DQ 4x24..230VAC/2A ST

Parámetro	Descripción
Modelo	AI 4xI 2-, 4-wire ST
Tipo de módulo	Módulo de entrada analógica (4 canales)
Configuración de cableado	Entrada de 2 hilos o 4 hilos (según tipo de señal y configuración de la fuente)
Rango de entrada (mA)	0/4-20 mA (configurable por canal)
Rango de entrada (V)	0-10 V, ±10 V, 0-5 V, 0-1 V (configurable por canal)
Resolución	16 bits (de 0 a 65535 valores)
Precisión	±0.05% de la escala completa (según el modelo y configuración de entrada)

Tensión de alimentación	24 V DC
Consumo de corriente	Aproximadamente 100 mA (sin carga adicional)
Conexión al PLC	Conexión a través de la unidad de rack del PLC S7-1200, montaje en carril DIN
Tiempo de actualización	Aproximadamente 50 ms por canal
Protección	Protección contra sobrecarga, cortocircuito y valores de entrada fuera de rango
Grado de protección	IP20 (protegido contra contacto accidental y objetos de tamaño mayor a 12 mm)
Temperatura de operación	-20 °C a +60 °C
Diagnóstico	Indicadores LED de estado para cada canal de entrada
Certificaciones	CE, UL, CSA

Tabla 13: Característica de AI 4xI 2-,4-wire ST

Característica	Descripción
Número de entradas	4 entradas digitales
Rango de voltaje	120...230 V AC
Tipo de conexión	Entrada de 2 hilos o 3 hilos
Consumo de energía	1.6 W
Rango de temperatura operativa	-20 a +60°C
Grado de protección	IP20
Corriente de entrada máxima	4 A por canal
Indicadores LED	LEDs para diagnóstico (verde para funcionamiento normal, rojo para error)
Montaje	Montaje en carril DIN
Norma de seguridad	Cumple con las normativas IEC 61131 para entradas digitales

Tabla 14: Característica del DI 4x120..230VAC ST

Especificación	Detalles
-----------------------	-----------------

Tipo de módulo	Módulo de salida digital
Cantidad de salidas	8 salidas digitales
Voltaje de operación	24 VDC (rango: 19.2–28.8 VDC)
Corriente máxima por salida	0.5 A
Tipo de salida	PNP (sourcing)
Protección contra cortocircuitos	Sí, con umbral de respuesta de 1 A
Frecuencia de conmutación (resistiva)	100 Hz máxima
Frecuencia de conmutación (inductiva)	2 Hz máxima
Frecuencia de conmutación (lámpara)	10 Hz máxima
Protección contra polaridad inversa	Sí
Diagnóstico	Canal, cables interrumpidos, cortocircuitos, fallos de suministro
Indicación LED	Estado de canal (verde), diagnóstico (verde/rojo), estado de fuente de alimentación
Consumo de corriente (sin carga)	35 mA
Pérdida de potencia típica	1 W
Temperatura de operación	-30 °C a 60 °C
Compatibilidad con software	TIA Portal (desde V14), STEP 7 (desde V5.5 SP3)

Tabla 15: Características de DQ 8x24VDC/0.5A ST

ANEXO II: RECOLECCION DE DATOS



Figura 15: Válvulas para la captación de agua



Figura 16: Sala de bombeo



Figura 17: Panel de Control de la Sala de Bombeo



Figura 18: Sensor de nivel de la sala de bombeo



Figura 19: Canal de Parshall



Figura 20: Caudalímetro de la entrada a la planta



Figura 22: Sala de Envío



Figura 23: Panel de Control de la Sala de Envío

ANEXO III SCRIPTS

Programación para la generación del reporte

```
0001
0002 Sub Generar_Reporte(ByRef ESSAP, ByVal Fecha_Reporte_Desde, ByVal Fecha_Reporte_Hasta)
0003
0004 Dim connect, record
0005 Dim DBnombre, TableName, ErrorV
0006 Dim SQLQuery
0007 Dim xlApp, xlWorkbook, xlWorksheet
0008 Dim row
0009 Dim diaDesde, mesDesde, anoDesde, diaHasta, mesHasta, anoHasta
0010
0011 ' Ajustar las fechas de inicio y fin al formato YYYY-MM-DD
0012 diaDesde = Split(Fecha_Reporte_Desde, "/") (0)
0013 mesDesde = Split(Fecha_Reporte_Desde, "/") (1)
0014 anoDesde = Split(Fecha_Reporte_Desde, "/") (2)
0015 Fecha_Reporte_Desde = anoDesde & "-" & mesDesde & "-" & diaDesde
0016
0017 diaHasta = Split(Fecha_Reporte_Hasta, "/") (0)
0018 mesHasta = Split(Fecha_Reporte_Hasta, "/") (1)
0019 anoHasta = Split(Fecha_Reporte_Hasta, "/") (2)
0020 Fecha_Reporte_Hasta = anoHasta & "-" & mesHasta & "-" & diaHasta
0021
0022 ' Definir los valores de la base de datos y la tabla
0023 DBnombre = "ESSAP_Datos"
0024 TableName = "Valores_Sensores"
0025
0026 ' Crear objetos de conexión y recordset
0027 Set connect = CreateObject("ADODB.Connection")
0028 Set record = CreateObject("ADODB.Recordset")
0029
0030 On Error Resume Next
0031 ' Abrir la conexión a la base de datos
0032 connect.Open "Provider=MSDASQL;Initial Catalog=" & DBnombre & ";DSN=" & ESSAP
0033 If Err.Number <> 0 Then
0034 ErrorV = "Error de conexión: " & Err.Description & " (" & Err.Number & ")"
0035 SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0036 Set connect = Nothing
0037 Exit Sub
0038 End If
0039
0040 ' Construir la consulta SQL para seleccionar los registros en el rango de fechas
0041 SQLQuery = "SELECT fecha_hora, Ph_Rio, Ph_Corregido, Caudalimetro_Entrada, Caudalimetro_Reservorio, Caudalimetro_Salida " &
0042 "FROM " & TableName & " WHERE CONVERT(DATE, fecha_hora) BETWEEN '" & Fecha_Reporte_Desde & "' AND '" & Fecha_Reporte_Hasta & "'"
0043
0044 ' Ejecutar la consulta
0045 record.Open SQLQuery, connect
0046 If Err.Number <> 0 Then
0047 ErrorV = "Error en la consulta SQL: " & Err.Description & " (" & Err.Number & ")"
0048 SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0049 Set connect = Nothing
0050 Exit Sub
0051 End If
0052
0053 ' Crear una instancia de Excel y cargar la plantilla
0054 Set xlApp = CreateObject("Excel.Application")
0055 Set xlWorkbook = xlApp.Workbooks.Open("C:\Users\Marcelo\Documents\Plantillas_personalizadas_de_Office\ReporteSensores.xltx") ' Cambia la ruta a la ubicación de tu plantilla
0056 Set xlWorksheet = xlWorkbook.Sheets(1)
0057
0058 ' Insertar los datos a partir de la fila 4
0059 row = 4
0060 Do While Not record.EOF
0061 xlWorksheet.Cells(row, 1).Value = record.Fields("fecha_hora").Value
0062 xlWorksheet.Cells(row, 2).Value = record.Fields("Ph_Rio").Value
0063 xlWorksheet.Cells(row, 3).Value = record.Fields("Ph_Corregido").Value
0064 xlWorksheet.Cells(row, 4).Value = record.Fields("Caudalimetro_Entrada").Value
0065 xlWorksheet.Cells(row, 5).Value = record.Fields("Caudalimetro_Reservorio").Value
0066 xlWorksheet.Cells(row, 6).Value = record.Fields("Caudalimetro_Salida").Value
0067 row = row + 1
0068 record.MoveNext
0069 Loop
0070
0071 ' Guardar el archivo de Excel con el nuevo nombre y cerrar
0072 xlWorkbook.SaveAs "C:\Users\Marcelo\Desktop\Reporte_Sensores_" & Fecha_Reporte_Desde & "_a_" & Fecha_Reporte_Hasta & ".xlsx"
0073 xlWorkbook.Close
0074 xlApp.Quit
0075
0076 ' Limpiar objetos y cerrar conexión
0077 Set record = Nothing
0078 connect.Close
```

```
0079 Set connect = Nothing
0080 Set xlWorksheet = Nothing
0081 Set xlWorkbook = Nothing
0082 Set xlApp = Nothing
0083
0084 MsgBox "Reporte generado exitosamente."
0085
0086
0087 End Sub
```


Programación para la generacion de tablas dentro de la base de datos

```
0001
0002 Sub Base_Datos_Sensores2(ByRef ESSAP)
0003 Dim connect , record
0004 Dim DBnombre , TableName , ErrorV
0005 Dim Column1 , Column2 , Column3 , Column4 , Column5
0006 Dim Value1 , Value2 , Value3 , Value4 , Value5
0007 Dim SQLTable
0008
0009 ' Definir los valores de la base de datos y la tabla
0010 DBnombre = "ESSAP_Datos"
0011 On Error Resume Next
0012 TableName = "Valores_Sensores"
0013
0014 ' Definir los nombres de las columnas y sus valores
0015 Column1 = "Ph_Rio"
0016 Column2 = "Ph_Corregido"
0017 Column3 = "Caudalimetro_Entrada"
0018 Column4 = "Caudalimetro_Reservorio"
0019 Column5 = "Caudalimetro_Salida"
0020
0021 Value1 = SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Sensor_PH")
0022 Value2 = SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Sensor_PH_2")
0023 Value3 = SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro")
0024 Value4 = SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro_2")
0025 Value5 = SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro_3_Envio")
0026
0027 ' Crear objetos de conexión y recordset
0028 Set connect = CreateObject("ADODB.Connection")
0029 Set record = CreateObject("ADODB.Recordset")
0030
0031 If Err.Number <> 0 Then
0032 ErrorV = Err.Description & "(" & Err.Number & ")"
0033 SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0034 Set connect = Nothing
0035 Exit Sub
0036 End If
0037 ' Abrir la conexión a la base de datos
0038 connect.Open "Provider=MSDASQL;Initial Catalog=" & DBnombre & ";DSN=" & ESSAP
0039 If Err.Number <> 0 Then
0040 ErrorV = Err.Description & "(" & Err.Number & ")"
0041 SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0042 Set connect = Nothing
0043 Exit Sub
0044 End If
0045 ' Construir la sentencia SQL para crear la tabla y insertar los valores
0046 SQLTable = "CREATE TABLE " & TableName & " (fecha_hora DATETIME, " & _
0047 Column1 & " FLOAT, " & Column2 & " FLOAT, " & Column3 & " FLOAT, " & _
0048 Column4 & " FLOAT, " & Column5 & " FLOAT)"
0049
0050 ' Ejecutar la sentencia SQL para crear la tabla
0051 connect.Execute SQLTable
0052
0053 ' Construir la sentencia SQL para insertar los valores
0054 SQLTable = "INSERT INTO " & TableName & " VALUES (NOW(), " & _
0055 Value1 & ", " & Value2 & ", " & Value3 & ", " & Value4 & ", " & Value5 & ")"
0056
0057 ' Ejecutar la sentencia SQL para insertar los valores
0058 connect.Execute SQLTable
0059
0060 ' Cerrar la conexión
0061 connect.Close
0062
0063 ' Limpiar los objetos
0064 Set connect = Nothing
0065 Set record = Nothing
0066
0067
0068 End Sub
```

Programación para el guardado de los datos a la base de datos

```
0003 Sub Reportes_Periodicos(ByRef ESSAP)
0004 Dim connect , record
0005 Dim DEncmbre , TableName , ErrorV
0006 Dim Column1 , Column2 , Column3 , Column4 , Column5
0007 Dim Value1 , Value2 , Value3 , Value4 , Value5
0008 Dim SQLTable
0009
0010 ' Definir los valores de la base de datos y la tabla
0011 DEncmbre = "ESSAP_Datos"
0012 On Error Resume Next
0013 TableName = "Valores_Sensores"
0014
0015 ' Definir los nombres de las columnas y sus valores
0016 Column1 = "Ph_Rio"
0017 Column2 = "Ph_Corregido"
0018 Column3 = "Caudalimetro_Entrada"
0019 Column4 = "Caudalimetro_Reservorio"
0020 Column5 = "Caudalimetro_Salida"
0021
0022 Value1 = Replace(SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Sensor_PH"), ",", ".")
0023 Value2 = Replace(SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Sensor_PH_2"), ",", ".")
0024 Value3 = Replace(SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro"), ",", ".")
0025 Value4 = Replace(SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro_2"), ",", ".")
0026 Value5 = Replace(SmartTags("DB_Marcas_SE_Entradas_SE_Valor_de_Caudalimetro_3_Envio"), ",", ".")
0027
0028
0029 ' Crear objetos de conexión y recordset
0030 Set connect = CreateObject("ADODB.Connection")
0031 Set record = CreateObject("ADODB.Recordset")
0032
0033 If Err.Number <> 0 Then
0034     ErrorV = Err.Description & "(" & Err.Number & ")"
0035     SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0036     Set connect = Nothing
0037     Exit Sub
0038 End If
0039
0040 ' Abrir la conexión a la base de datos
0041 connect.Open "Provider=MSDASQL;Initial Catalog=" & DEncmbre & ";DSN=" & ESSAP
0042 If Err.Number <> 0 Then
0043     ErrorV = Err.Description & "(" & Err.Number & ")"
0044     SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0045     Set connect = Nothing
0046     Exit Sub
0047 End If
0048
0049 ' Construir la sentencia SQL para insertar los valores
0050 SQLTable = "INSERT INTO " & TableName & " VALUES (GETDATE(), " & _
0051 Value1 & ", " & Value2 & ", " & Value3 & ", " & Value4 & ", " & Value5 & ")"
0052
0053 ' Ejecutar la sentencia SQL para insertar los valores
0054 connect.Execute SQLTable
0055 If Err.Number <> 0 Then
0056     ErrorV = Err.Description & "(" & Err.Number & ")\n " & SQLTable
0057     SmartTags("ErrorV") = ErrorV
0058     Set connect = Nothing
0059     Exit Sub
0060 End If
0061
0062 ' Cerrar la conexión
0063 connect.Close
0064
0065 ' Limpiar los objetos
0066 Set connect = Nothing
0067 Set record = Nothing
0068
0069 End Sub
```

Hoja de Reporte en Excel



**Planta de Tratamiento de Agua
Tebicuarymi**

Fecha y hora	Ph_Rio	Ph_Corregido	Caudalimetro Entrada	Caudalimetro_Reservorio	Caudalimetro_Salida
8/11/2024 21:53	0	0	0	0	0
8/11/2024 21:57	0	0	0	0	0
8/11/2024 22:16	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:48	0	0	0	0	0
8/11/2024 22:48	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:49	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:50	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:51	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
8/11/2024 22:51	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
9/11/2024 00:18	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
9/11/2024 01:18	0	0	0	0	0
9/11/2024 22:05	4,795284	3,644314	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:06	4,795284	3,644314	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:07	4,795284	3,644314	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:08	4,795284	3,644314	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:09	9,398655	10,74154	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:10	9,398655	10,74154	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:11	9,398655	10,74154	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:15	7,480034	9,97338	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:18	7,670428	9,97338	1779,876	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:19	7,670428	9,97338	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:21	7,670428	9,97338	3012,514	2602,72	2876,519
8/11/2024 22:21	3,260489	4,987196	1506,8	1918,041	2466,001
9/11/2024 22:04	4,795284	3,644314	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:03	0	0	0	0	0
9/11/2024 22:12	9,398655	10,74154	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:13	7,480034	7,86386	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:14	7,480034	9,97338	3699,364	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:17	7,480034	9,97338	1779,876	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:23	7,669415	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:24	7,669415	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:16	7,480034	9,97338	1779,876	3288,122	4521,123
9/11/2024 22:20	7,670428	9,97338	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:22	9,588036	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:25	7,669415	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:26	7,669415	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519
9/11/2024 22:27	7,669415	9,589048	3012,514	2602,72	2876,519

ANEXO 4: Cálculo para el escalado de las señales analógicas de los caudalímetros.

Para el cálculo correspondiente del caudalímetro de salida de la planta, donde el diámetro del caño es de 400mm, por lo tanto, su área es de

$$A = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

$$A = \pi * \left(\frac{0.4m}{2}\right)^2$$

$$A = 0.1256 m^2$$

Una vez obtenido su área se procede a calcular su caudal volumétrico máximo, para eso debemos saber que se trata de un caudalímetro magnético, por lo tanto, la velocidad máxima típica para un medidor electromagnético es de 10 m/s.

$$Q = A * v$$

$$Q = 0.1256m^2 * 10 m/s$$

$$Q = 1,256m^3/s$$

Ahora convertimos a metros cúbicos por hora.

$$Q = 4561m^3/h$$

Por lo tanto, el caudal máximo que puede captar el caudalímetro es de 4561 m³/h, por lo tanto, cuando el caudal del agua este a ese valor, el sensor mandara su corriente máximo.

Ahora para el cálculo del caudalímetro de entrada debemos saber que este caudalímetro tiene un sensor ultrasónico, además se encuentra en el canal de Parshall con una altura máxima de 1.5 m, según [8] podemos utilizar la siguiente formula:

$$Q = K \cdot h^n$$

Donde:

- Q : Caudal en m³/s.
- K : Constante del canal, depende del ancho de la garganta (W).
- h : Nivel del agua medido por el sensor (en m), ubicado aguas arriba del estrechamiento.
- n : Exponente, constante que depende de W .

Como las constantes K y n dependen del ancho del canal donde está ubicado el sensor, y estos valores están representado en una tabla. Podemos extraer que para $W = 0.5 m$,

los valores son $K = 0.5296 \frac{m^3}{s}$ y $n = 1.48$

Por tanto, la ecuación queda:

$$Q = 0.5296m^3 \cdot 1.08^{1.48}$$

$$Q = 0.600 \frac{m^3}{s}$$

Ahora pasamos a metros cúbicos por hora:

$$Q = 2160 m^3/h$$

Este es el caudal máximo que puede medir el caudalímetro.

Por último, calculamos el caudalímetro de entrada al reservorio, cuenta con un sensor ultrasónico ubicado en un canal de Parshall, similar al caudalímetro de entrada, por lo tanto, se utilizan las mismas formulas y datos. Por lo cual el caudal máximo que pasa es de:

$$Q = 2160 m^3/h$$

Este es el caudal máximo que puede medir el caudalímetro.