UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Diseño de un sistema Telemetría empleando el protocolo OPC UA para una planta de almacenamiento de agua potable

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR(ES)

Ramirez Cardenas, Maria De Los Angeles	0000-0001-9582-6419
Roca Moscoso, Miguel Angel	0000-0001-7990-9038

ASESOR(ES)

Klusmann Vieira, Hermann Mirko	0000-0003-3340-0126

Lima, 6 de noviembre 2024

DEDICATORIA

A mi querida madre, por ser mi constante fuente de fortaleza e inspiración. Te agradezco por tus sacrificios, tu apoyo incondicional y por siempre haber confiado en mí; este logro es tan tuyo como mío. A mis docentes, quienes con su paciencia, sabiduría y compromiso han iluminado mi camino durante esta carrera. Gracias por compartir sus conocimientos, por sus enseñanzas valiosas y por cultivar en mí la pasión por esta profesión.

Maria de los Angeles Ramirez

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido mi pilar fundamental en todo momento. A mis padres, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y sacrificios que me han permitido llegar hasta aquí. A mis hermanos, por su constante motivación y respaldo. Este logro es el reflejo de la fortaleza y el amor que ustedes me han brindado. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi mayor fuente de inspiración en cada paso de este camino.

Miguel Roca

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las instituciones y personas que han sido clave para el desarrollo y la finalización de este trabajo de suficiencia profesional. Agradecemos a la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas por ofrecernos la oportunidad de formarnos profesionalmente en un entorno académico de alta calidad. También queremos reconocer a todos nuestros docentes, quienes con su dedicación y esfuerzo han influido de manera significativa en nuestro crecimiento como estudiantes y profesionales.

De manera especial, extendemos nuestra gratitud a nuestro asesor de tesis, Hermann Mirko Klusmann Vieira, por su orientación, paciencia y valiosos consejos a lo largo de este proceso. Su apoyo ha sido fundamental para el exitoso término de este trabajo.

A nuestros familiares, les debemos un profundo agradecimiento por su apoyo incondicional y por ser nuestra mayor fuente de motivación. Gracias por estar siempre a nuestro lado, impulsándonos en cada paso de este recorrido.

Por último, queremos agradecer a nuestros amigos, quienes han constituido nuestra red de apoyo durante los momentos difíciles y con quienes hemos compartido innumerables experiencias a lo largo de esta etapa. Su amistad ha sido un pilar esencial en este viaje.

A todos ustedes, les ofrecemos nuestro más sincero agradecimiento.

RESUMEN

Este trabajo de suficiencia profesional desarrolla el diseño e implementación de un sistema de telemetría basado en el protocolo OPC UA, destinado a optimizar el monitoreo y control de una planta de almacenamiento de agua potable. La propuesta se enfoca en la supervisión de variables críticas del proceso, como el nivel, flujo y presión del agua, mediante el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC) y un sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA) que permite visualizar y gestionar en tiempo real el estado de la planta. El diseño de la arquitectura incorpora tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y comunicación segura a través de una red privada virtual (VPN), lo que asegura la interoperabilidad entre dispositivos y facilita la escalabilidad del sistema en futuras implementaciones.

Además, el proyecto sigue estándares industriales como el IEC 62541, que establece la arquitectura para el protocolo OPC UA, y normativas de seguridad de la información como la ISO/IEC 27001, garantizando así la protección de los datos y la continuidad operativa. La implementación de esta solución permite una integración flexible de equipos de distintos fabricantes, superando las limitaciones de sistemas de control tradicionales basados en radiofrecuencia y mejorando la confiabilidad de la comunicación y la eficiencia operativa.

Se espera que este sistema facilite la toma de decisiones informadas, reduzca los costos operativos y optimice el uso de recursos al proporcionar información en tiempo real y asegurar una conectividad robusta. Este diseño no solo satisface las necesidades actuales, sino que también prepara a la organización para futuras innovaciones en automatización industrial y el crecimiento hacia una planta inteligente.

Palabras clave: Telemetría; Protocolo OPC UA; Planta de almacenamiento de agua potable; SCADA; IoT.

Design of a Telemetry system using the OPC UA protocol for a drinking water storage plant

ABSTRACT

This professional proficiency project presents the design and implementation of a telemetry system based on the OPC UA protocol, aimed at optimizing the monitoring and control of a potable water storage plant. The system focuses on supervising critical process variables, such as water level, flow, and pressure, through the use of a Programmable Logic Controller (PLC) and a SCADA system that allows real-time visualization and management of the plant's operational status. The architecture design incorporates Internet of Things (IoT) technologies and secure communication via a Virtual Private Network (VPN), ensuring device interoperability and system scalability for future upgrades.

Furthermore, the project adheres to industrial standards like IEC 62541, which defines the architecture for the OPC UA protocol, and information security regulations like ISO/IEC 27001, safeguarding data protection and operational continuity. This solution enables flexible integration of equipment from different manufacturers, overcoming the limitations of traditional control systems based on radiofrequency, while enhancing communication reliability and operational efficiency.

The system is expected to facilitate informed decision-making, reduce operational costs, and optimize resource usage by providing real-time information and ensuring robust connectivity. This design not only meets current needs but also prepares the organization for future innovations in industrial automation and evolution toward a smart plant.

Keywords: Telemetry; OPC UA Protocol; Potable Water Storage Plant; SCADA; IoT.

Trabajo_70539943.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	1%
3	documentop.com Fuente de Internet	<1%
4	rdi.uncoma.edu.ar Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	idus.us.es Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.ulima.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	

TABLA DE CONTENIDOS

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO 9

1.1 ANTECEDENTES 9

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN 10

1.3 ANÁLISIS DEL PROBLEMA 13

1.4 OBJETIVOS 15

1.4.1 Objetivo General 15

1.4.2 Objetivo Específicos 15

1.5 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO 15

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 17

2.1 MARCO CONCEPTUAL 17

2.1.1 Telemetría en la Automatización Industrial: 17

2.1.1.1 Medición de entrada física: 17

2.1.1.2 Canal de comunicación: 17

2.1.1.3 Unidad de control: 17

2.1.2 Niveles de Automatización (Pirámide de Automatización) 18

2.1.2.1 Nivel de Acción (Dispositivos de Campo): 18

2.1.2.1.1 Sensor de Flujo Electromagnético con Transmisor remoto 19

2.1.2.1.2 Transmisor de Presión Piezoresistivo 19

2.1.2.1.3 Sensor de Nivel Tipo Ultrasónico con Transmisor Remoto 20

2.1.2.1.4 Transmisor de Presión para medición nivel Hidrostático 21

2.1.2.1.5 Interruptor de Rebose 21

2.1.2.2 Nivel de Control (Controladores Lógicos Programables): 22

2.1.2.3 Nivel de Supervisión (Sistema SCADA): 23

2.1.3 Protocolos de comunicación Industrial 24

2.1.3.1 Protocolos de comunicación Industrial físicos: 24

2.1.3.1.1 Profibus DP 24

2.1.3.1.2 Ethernet Industrial 24

2.1.3.2 Protocolos de comunicación Industrial inalámbricos: 25
2.1.3.2.1 OPC UA sobre Wireless 25
2.2 ESTÁNDARES, FRAMEWORKS Y BUENAS PRÁCTICAS 25
2.2.1 IEC 62541 25
2.2.2 IEC 61131-3 26
2.2.3 ISO/IEC 27001 26
2.3 BASES LEGALES Y MARCO NORMATIVO 26
2.3.1 Bases Legales 26
2.3.1.1 Ley General de Servicios de Saneamiento (Ley N° 26338) 26
2.3.1.2 Ley de Promoción de la Eficiencia Energética (Ley N° 27345) 26
2.3.2 Marco Normativo 27
2.3.2.1 ISO 9001 - Sistema de Gestión de la Calidad 27
2.3.2.2 Norma Técnica Peruana NTP 339.102:2006 - Telemetría en Redes de Agua Potable 27
3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO 28
3.1 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 28
3.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA 28
3.2.1 Diagrama de P&ID 28
3.2.2 Diagrama de Control 29
3.2.3 Esquema de Comunicación 29
3.3 LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA. 30
3.4 FILOSOFÍA DE CONTROL DEL SCADA: 35
3.5 RESULTADOS ESPERADOS 36
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 38
4.1 CONCLUSIONES 38
4.2 RECOMENDACIONES 38
5 REFERENCIAS 39
6 ANEXOS 41
6.1 ANEXO 1: PLANO P&ID 41
6.2 ANEXO 2: DIAGRAMA DE CONTROL 42

6.3 ANEXO 3: LISTADO DE SEÑAL DEL PLC 43

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 HM Ingenieros Consultores S.A. **11**

FIGURA 2 Organigrama simplificado de la Empresa..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

FIGURA 3 Árbol de problemas..... **14**

FIGURA 4 Diagrama de Gantt..... **16**

FIGURA 5 Pirámide de Automatización..... **18**

FIGURA 6 Sensor de Flujo Electromagnético con Transmisor remoto..... **19**

FIGURA 7 Transmisor de Presión Piezoresistivo..... **20**

FIGURA 8 Sensor de Nivel Tipo Ultrasónico con Transmisor Remoto..... **20**

FIGURA 9 Sensor y Transmisor de Presión para medición de nivel Hidrostático **21**

FIGURA 10 Interruptor de Rebose **22**

FIGURA 11 PLC Simatic S7-1500 ..... **23**

FIGURA 12 Sistema de comunicación con el SCADA **30**

FIGURA 13 Diagrama de Flujo del Proceso de almacenamiento de agua..... **31**

FIGURA 14 Diagrama de Flujo del Proceso Telemetría..... **32**

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

La automatización industrial en los procesos de redes de abastecimiento de agua potable responde a la necesidad del Estado de garantizar el acceso de toda la población a servicios de agua potable y saneamiento. Esta necesidad se fundamenta en la importancia que estos servicios tienen para el cuidado de la salud pública, la superación de la pobreza, la dignidad humana, el desarrollo económico y la protección del medio ambiente (Oblitas, 2010).

Dentro de la automatización, la comunicación industrial juega un papel clave en la eficiencia de los procesos, ya que permite el control, la supervisión, la evaluación de calidad, el mantenimiento y la integración de sistemas de gestión en los procesos de producción y manufactura. En este contexto, el protocolo OPC UA ha ganado popularidad en los últimos años, siendo ampliamente adoptado debido a su versatilidad y su capacidad de facilitar la interoperabilidad entre sistemas industriales. Además, se proyecta como uno de los protocolos más prometedores a futuro, con un creciente número de aplicaciones en diversos sectores industriales.

Es crucial, por lo tanto, desarrollar un sistema que permita la interconexión de los sistemas empresariales para optimizar la eficiencia operativa, especialmente en empresas de servicios públicos dedicadas al almacenamiento y procesamiento de agua. Un sistema bien diseñado puede mejorar la eficiencia de los recursos, reducir costos operativos y contribuir al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible en relación con el agua y el saneamiento.

Marc Ladegourdie y Jonathan Kua (2022) subrayan la importancia de la interoperabilidad de los sistemas industriales en aplicaciones que adoptan la tecnología 4.0. Los autores destacan la efectividad del protocolo OPC UA, que ofrece una amplia gama de funciones y cumple con todos los requisitos de un estándar de interoperabilidad independiente de la plataforma, permitiendo la transferencia de datos e información desde el nivel de producción hasta la empresa. Su arquitectura escalable lo posiciona bien para futuras implementaciones en dispositivos inteligentes integrados y facilita la integración de productos OPC heredados basados en estándares anteriores.

En comparación con los sistemas de control y monitoreo actuales, que se basan en la transferencia de datos a través de sistemas de radiofrecuencia, la propuesta del sistema IOT-OPC UA ofrece mayor flexibilidad, escalabilidad y menores costos de implementación. Se plantea que este sistema puede tener un impacto significativo en las empresas de servicios públicos, mejorando la visibilidad de la red, la fiabilidad de la comunicación, los plazos de entrega de proyectos, la seguridad de la red y la accesibilidad de la información, además de ofrecer ventajas adicionales como la escalabilidad e interoperabilidad.

1.2 Descripción de la Organización

HM Ingenieros Consultores S.A. es una empresa peruana de carácter privado que se dedica a la prestación de servicios de consultoría especializada tanto para el sector privado como para el público. La compañía fue fundada con el objetivo de ofrecer soluciones integrales en el ámbito de la ingeniería, abarcando desde la elaboración de estudios preliminares hasta la supervisión de la ejecución de proyectos y obras de alta complejidad. Desde su creación, HM Ingenieros Consultores ha centrado sus esfuerzos en proporcionar servicios técnicos de calidad, destinados a satisfacer las necesidades de sus clientes y a superar sus expectativas.

La empresa está conformada por un equipo multidisciplinario de profesionales altamente capacitados, quienes aportan una amplia gama de conocimientos y experiencias en diversas disciplinas de la ingeniería. Este enfoque multidisciplinario permite a HM Ingenieros Consultores abordar proyectos complejos de manera integral, asegurando que cada fase del proyecto esté respaldada por el conocimiento técnico adecuado y que los resultados sean óptimos en términos de eficiencia, costo y calidad.

En el logotipo de la empresa (ver Figura 1), se puede observar un diseño sencillo y profesional que refleja los valores de solidez y confiabilidad que caracterizan a la organización.

Figura 1
HM Ingenieros Consultores S.A.

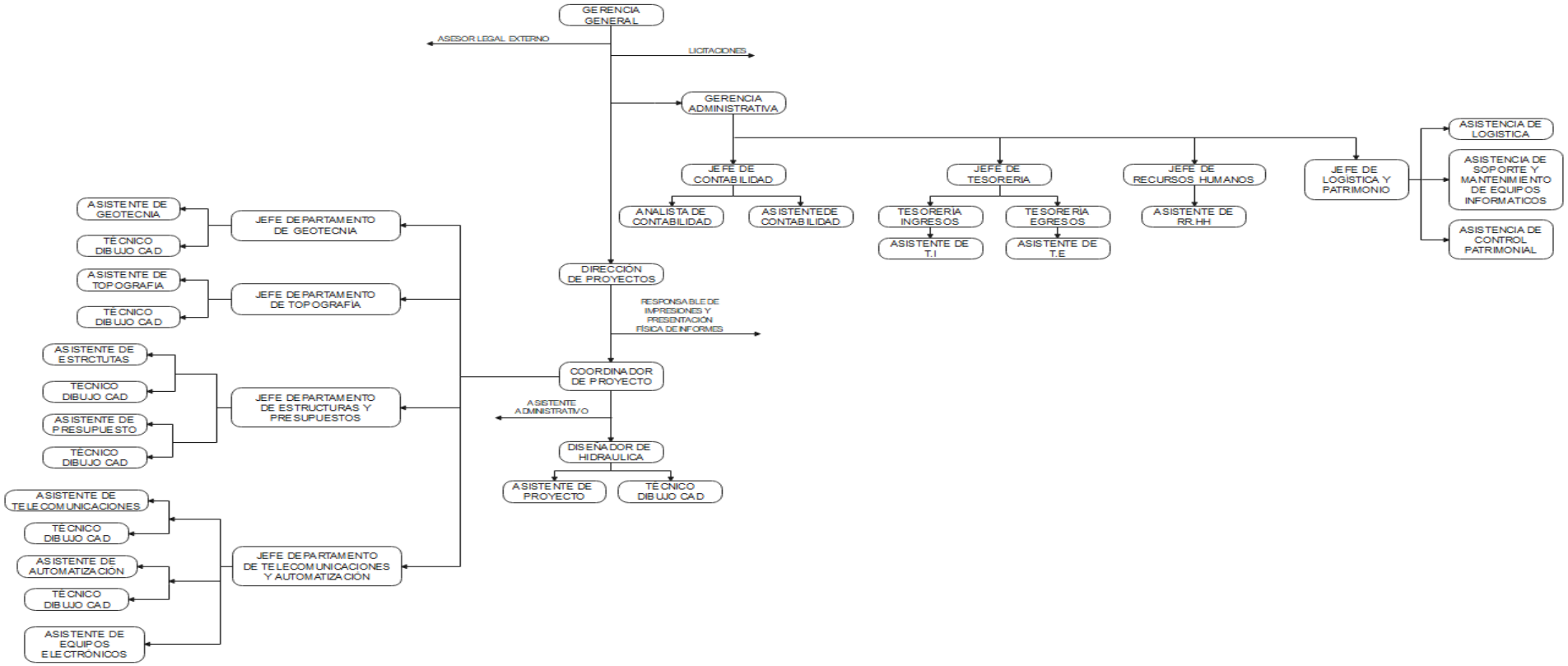
Nota. De "Logo de empresa HM", por H&M Ingenieros Consultores 2022 (http://www.hmingenieros.com/logo).

A lo largo de su trayectoria, HM Ingenieros Consultores ha participado activamente en proyectos relacionados con la infraestructura de agua potable y saneamiento, un sector de vital importancia para el desarrollo sostenible del país. Además, la empresa ha expandido su alcance a otros sectores, incluyendo la infraestructura vial, urbana, y obras hidráulicas como represas e irrigaciones. Este amplio espectro de actividades ha permitido a la empresa consolidarse como un referente en el mercado de la consultoría de ingeniería en el Perú.

La estructura organizacional de HM Ingenieros Consultores está diseñada para permitir una gestión eficiente y efectiva de sus proyectos. La empresa cuenta con diversas áreas y departamentos especializados, como se muestra en el organigrama de la Figura 2.

Figura 2

Organigrama simplificado de la Empresa



Uno de los aspectos que distingue a HM Ingenieros Consultores es su capacidad para formar alianzas estratégicas a través de consorcios con otras empresas, lo que le ha permitido participar en más de 35 consorcios en diversas regiones del país. Estos consorcios han abordado proyectos de gran envergadura, lo que ha reforzado la reputación de la empresa como un socio confiable y capaz de gestionar proyectos complejos en diferentes sectores y condiciones geográficas.

La misión de HM Ingenieros Consultores es proporcionar servicios integrados de ingeniería que no solo cumplan, sino que superen las expectativas de sus clientes. Esto se logra mediante una gestión eficiente y la integración de conocimientos adquiridos a través de la experiencia, la investigación y la formación continua de su equipo profesional. La empresa se compromete a ofrecer soluciones innovadoras y efectivas que aborden los desafíos específicos de cada proyecto, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar de las comunidades a las que sirve.

La visión de HM Ingenieros Consultores es consolidarse como una empresa líder en el sector de la consultoría de ingeniería, reconocida por su capacidad para atraer y retener a los mejores talentos, y por su compromiso con la calidad, la responsabilidad y la satisfacción del cliente. La empresa busca ser un referente en el mercado, no solo por la excelencia de sus servicios, sino también por su contribución al desarrollo personal y profesional de sus empleados y por su capacidad para cumplir con los objetivos más exigentes en cada proyecto que emprende.

1.3 Análisis del Problema

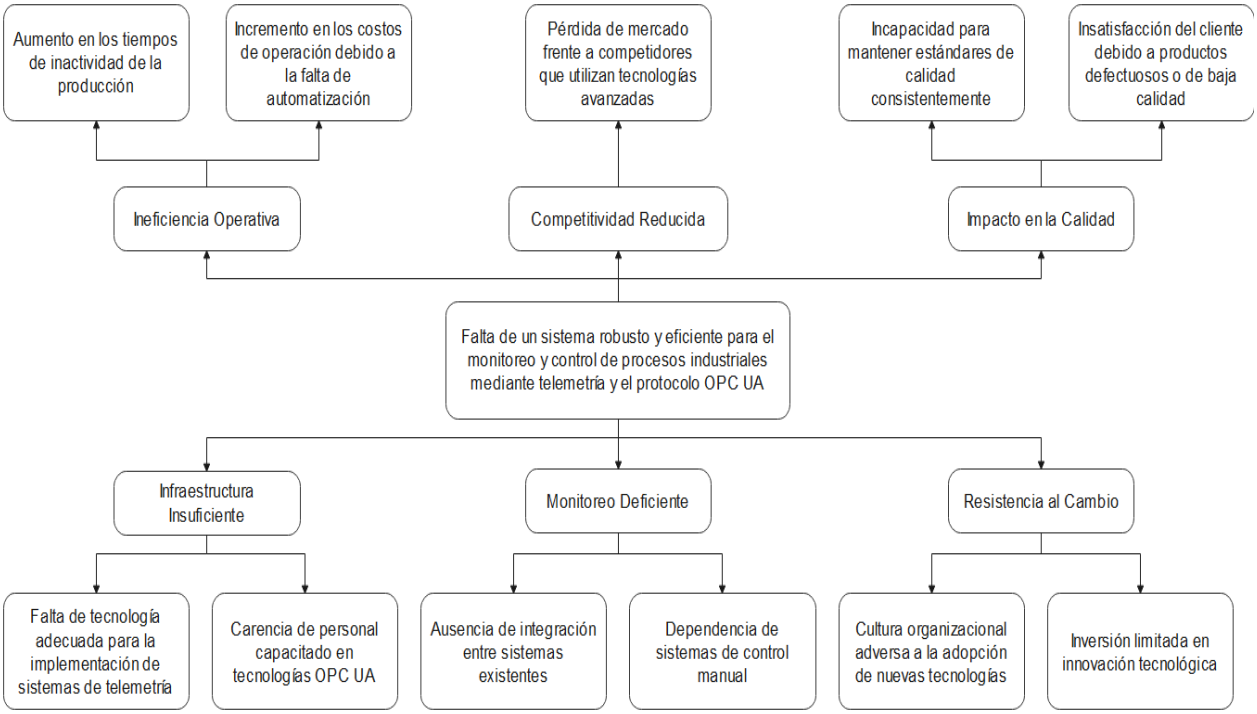
Hoy en día, las empresas presentan la necesidad de optimizar y automatizar sus procesos industriales por la alta demanda de eficiencia, precisión y control en las distintas áreas de trabajo. Sin embargo, una gran brecha en este objetivo es la falta de un sistema global que contempla el monitoreo y control de todos los procesos industriales en un solo sistema. La alta complejidad de los sistemas de monitoreo actuales que permiten el control en tiempo real genera un desafío a la problemática actual debido a la necesaria integración de nuevas tecnologías a sistemas de telemetría desfasados en el tiempo.

El problema abortado en este presente trabajo es la necesidad de diseñar un sistema de Telemetría empleando el protocolo OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) para una planta de almacenamiento de agua potable. Este nuevo protocolo asegura la conectividad entre diferentes tipos de sistemas y dispositivos de un proceso

industrial. Sin embargo, la falta de ella conlleva a la ineficiencia de las operaciones, un aumento en el tiempo de inactividad y la incapacidad para responder rápidamente ante un fallo del proceso.

Los motivos principales por la falta de implementación de este protocolo son debido a la ausencia de infraestructura adecuada, la ausencia de un sistema de monitoreo integrador y la resistencia a los nuevos cambios tecnológicos. Debido a estos factores, los procesos industriales actuales no cuentan con monitoreo y control de manera eficiente, lo que conlleva a una producción subóptima, mayores costos operativos, pérdida de ingresos por la ineficiencia operativa, disminución de la competitividad de la empresa y en algunos casos la inhabilidad para cumplir con los estándares de calidad requeridos en el mercado.

Figura 3
Árbol de problemas



1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo y control por telemetría basado en el protocolo OPC UA para un reservorio de agua.

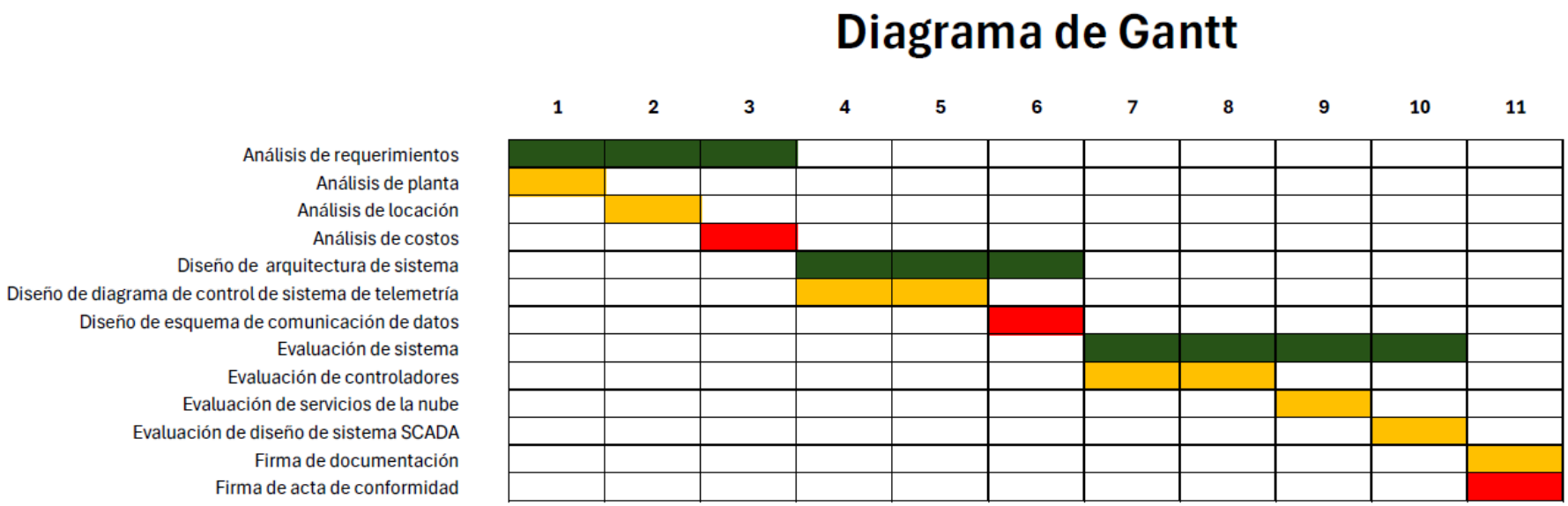
1.4.2 Objetivo Específicos

1. Analizar los requerimientos de los procesos dentro del sistema reservorio de agua para implementar sistemas de telemetría basados en IoT.
2. Diseñar la arquitectura del sistema de telemetría.
3. Evaluar las especificaciones necesarias para seleccionar el hardware para la implementación del sistema.

1.5 Planificación del Proyecto

Como se puede observar en la Figura 3, el proyecto se implementó a lo largo de 11 semanas y cuenta con los siguientes hitos importantes:

Figura 4
Diagrama de Gantt



2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

En este capítulo, se abordarán los fundamentos teóricos esenciales para el entendimiento y desarrollo del presente trabajo.

2.1.1 Telemetría en la Automatización Industrial:

La telemetría es la medición remota de cualquier entrada física o química y el posterior envío de esa información a través de un canal de comunicación inalámbrica con la finalidad de tener un registro, control y monitorización de un proceso (Marín, 2020). Cualquier sistema de telemetría tiene al menos tres partes: la entrada física a medir, un canal de comunicación y una unidad de control.

2.1.1.1 Medición de entrada física:

Un sistema de telemetría emplea para su funcionamiento un transductor o sensor como dispositivo de entrada, convirtiendo una entrada física, como la temperatura, la presión o el tiempo, en una señal eléctrica correspondiente, para posteriormente ser almacenado los datos en dispositivos de adquisición de datos como los DAQ o PLC que se encargan de recibir los datos de los sensores para finalmente ser mandados a una unidad de terminal remota encargada de transmitir los datos a la unidad central.

2.1.1.2 Canal de comunicación:

El canal de comunicación es el medio por el cual se transmiten los datos entre los dispositivos de campo (sensores, RTUs, PLCs) y el centro de control. La elección del canal depende de factores como la distancia, el entorno industrial, la cantidad de datos, la velocidad de transmisión requerida, y la seguridad.

2.1.1.3 Unidad de control:

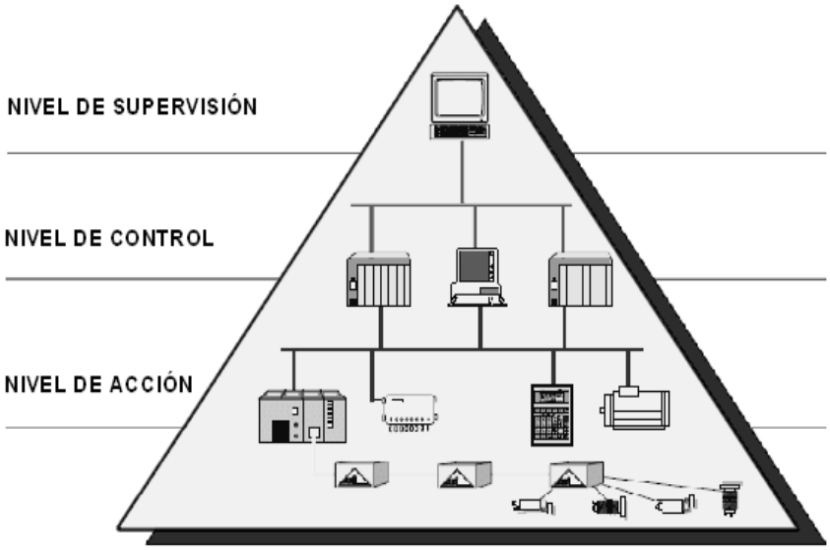
La unidad de control es el componente central que gestiona la recopilación, procesamiento, análisis y control de los datos provenientes de los sensores y otros dispositivos de campo. Su principal función es garantizar el funcionamiento correcto

del sistema, ejecutar acciones automatizadas, y tomar decisiones basadas en los datos recopilados.

2.1.2 Niveles de Automatización (Pirámide de Automatización)

Para la elaboración del diseño del sistema de telemetría mediante el protocolo OPC UA nos ceñiremos en los niveles comprendidos en la figura 5, el cual facilita la organización y compresión del flujo de información y control de los dispositivos de campo hasta los sistemas de supervisión.

Figura 5
Pirámide de Automatización



Nota. De "Estructura jerárquica de la Pirámide de la automatización CIM", por Alvis Cabrera, 2008 (https://www.researchgate.net/figure/Estructura-jerarquica-de-la-Piramide-de-la-automatizacion-CIM_fig39_347590726)

Como se detalla en la figura 5, la automatización se divide en tres niveles los cuales comprenden las siguientes:

2.1.2.1 Nivel de Acción (Dispositivos de Campo):

En este apartado se ve la base de la pirámide el cual está conformado por los dispositivos de campo, que incluyen los sensores y actuadores instalados en la planta. Estos dispositivos son los encargados de la interacción con los procesos físicos, realizando las mediciones y ejecución de acciones de control.

En una planta de almacenamiento de agua potable, los sensores juegan un papel fundamental para la recolección de datos en tiempo real. Los sensores utilizados en el proyecto serán los siguientes:

2.1.2.1.1 Sensor de Flujo Electromagnético con Transmisor remoto

El sensor de flujo electromagnético es de tipo industrial y diseñado para diámetros variables según planos, con un transmisor remoto para montaje en pared, como se muestra en la figura 6. Sus características técnicas incluyen la medición bidireccional de velocidades entre 0 y 10 m/s, con comunicación basada en el protocolo Profibus DP v1. Funciona con una alimentación de 24VDC y soporta compensación de temperatura en un rango de 0 a 50°C, además de contar con capacidad de calibración remota.

Figura 6
Sensor de Flujo Electromagnético con Transmisor remoto

Nota. De "OPTIFLUX 5300", por Krohne, 2024 (https://pe.krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalimetros/caudalimetros-electromagneticos/optiflux-5300)

2.1.2.1.2 Transmisor de Presión Piezoresistivo

El transmisor de presión como se muestra en la figura 7 es de tipo Piezoresistivo y está diseñado para uso industrial. Su rango de operación varía entre 0 y 300 psi, dependiendo de la instalación, y ofrece una precisión del 0.25 % del SPAN. La comunicación se realiza mediante el protocolo Profibus DP V1. Su alimentación es de 24 VDC y debe configurarse con una única contraseña modificable por el usuario.

Figura 7
Transmisor de Presión Piezoresistivo

Nota. De "Cerabar PMP71B: transmisor de presión", por Endress+Hauser, 2024 (https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/cerabar-PMP71B-transmisor-de-presion?t.tabId=product-overview)

2.1.2.1.3 Sensor de Nivel Tipo Ultrasónico con Transmisor Remoto

El transmisor de nivel como se muestra en la figura 8 es responsable de comunicar las mediciones recibidas del sensor de nivel, cumpliendo con diversas características técnicas con alimentación de 24 VDC, debe ser instalado de manera remota en la pared.

Figura 8
Sensor de Nivel Tipo Ultrasónico con Transmisor Remoto

Nota. De "Sensor de nivel ultrasónico Ecuador", por VVA Industrial Supplies & Services, 2024 (https://vvaindustrial.com/sensor-de-nivel-ultrasonico/sensor-de-nivel-ultrasonico-ecuador/)

2.1.2.1.4 Transmisor de Presión para medición nivel Hidrostático

El sensor de nivel es un dispositivo compacto diseñado para la medición continua de nivel, independiente de los cambios en los medios, temperatura, y con amortiguación de gases y vapores en contenedores. La salida de señal se realiza mediante Profibus DP v1, con una curva característica ascendente y un inicio de escala en 0 bar.

Figura 9

Sensor y Transmisor de Presión para medición de nivel Hidrostático

Nota. De "Rosemount™ 3051T Transmisor de presión en línea Emerson", por Inpro Supplier, 2024 (https://ingprosuppliers.com/producto/3051t-rosemount-3051t-transmisor-de-presion-en-linea-3051t/)

2.1.2.1.5 Interruptor de Rebose

El interruptor de rebose, diseñado para ser libre de mantenimiento y de pequeñas dimensiones, cuenta con contactos de alta capacidad de interrupción. Su carcasa está fabricada en polipropileno, al igual que el flotador. Su instalación se realiza en posición horizontal, y dispone de contactos NA y NC con una resistencia de contacto de máximo 80mOhm.

Figura 10
Interruptor de Rebose

Nota. De “Tipo TCL001 - Interruptor de flotador sencillo”, por Burkert Fluid Control Systems, 2024 (https://www.burkert.es/es/type/TCL001)

2.1.2.2 Nivel de Control (Controladores Lógicos Programables):

Para llevar a cabo el proceso de automatización en la planta de almacenamiento de agua potable, se ha seleccionado un Controlador Lógico Programable (PLC) que facilite el monitoreo de variables del proceso y que ofrezca la capacidad de adaptabilidad mediante módulos adicionales para la integración de puertos y protocolos de comunicación. Para este trabajo, se ha elegido el S7-1500 con CPU 1516-3 PN/DP como se observa en la figura 11, un dispositivo reconocido por su fiabilidad y versatilidad en aplicaciones industriales.

El S7-1500 es una solución ideal debido a varias características destacadas. Su capacidad para integrar múltiples componentes en una sola plataforma permite una gestión centralizada de los procesos. La flexibilidad que ofrece, junto con su gran capacidad de control de señales, lo hace especialmente adecuado para el monitoreo y control de las variables críticas en la planta.

Para el diseño del sistema, el PLC estará equipado con una serie de módulos que optimizarán su funcionamiento. En particular, se dispondrá de dos módulos de entrada digital, un módulo de salida digital, un módulo de comunicación PROFIBUS DP y un

módulo Ethernet. Esta configuración permitirá un monitoreo eficiente del proceso en el reservorio y la interacción con otros dispositivos en la red.

Un aspecto importante para resaltar es la disponibilidad de bloques de función PID (Proporcional, Integral, Derivativo) en el PLC, los cuales son fundamentales para implementar los lazos de control necesarios en la regulación de parámetros críticos, como el nivel de agua y la calidad. Estos bloques de función permitirán ajustar con precisión los procesos en tiempo real, asegurando que las condiciones del agua se mantengan dentro de los parámetros óptimos.

Figura 11
PLC Simatic S7-1500

Nota. De "6ES7516-3AP03-0AB0", por Siemens, 2022 (https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7516-3AP03-0AB0)

2.1.2.3 Nivel de Supervisión (Sistema SCADA):

El **Nivel de Supervisión** en un sistema de automatización, comúnmente representado por un **Sistema SCADA** (Supervisory Control and Data Acquisition), es la capa encargada de supervisar, monitorear y controlar en tiempo real los procesos industriales. A través de este sistema, los operadores pueden interactuar con los sensores y actuadores instalados en el reservorio y otros puntos críticos de la planta. El SCADA ofrece una interfaz gráfica intuitiva que permite visualizar el estado operativo de todos

los componentes, así como gestionar alarmas y eventos en caso de que alguna variable se desvíe de los parámetros establecidos.

Además, el sistema SCADA genera reportes detallados, los cuales pueden ser almacenados en una base de datos para el análisis posterior. Estos reportes permiten el seguimiento continuo del desempeño del sistema, facilitando la toma de decisiones informadas y oportunas. De esta manera, el SCADA no solo contribuye al monitoreo en tiempo real, sino también a la optimización y control eficiente del proceso, mejorando la seguridad y eficiencia operativa de la planta.

2.1.3 Protocolos de comunicación Industrial

Un protocolo de comunicación industrial permite que dispositivos y sensores en la planta, como controladores lógicos programables (PLC), unidades terminales remotas (RTU) y sistemas SCADA, intercambien información en tiempo real. Esto es especialmente importante en una planta de almacenamiento de agua potable, donde es vital monitorear variables críticas como el nivel, el flujo y nivel del agua. Por lo tanto, se necesita un protocolo confiable que garantice la interoperabilidad entre equipos de distintos fabricantes y que asegure una transmisión de datos de manera segura y eficiente.

A continuación, se examinan los principales tipos de protocolos de comunicación industrial que se utilizan en la telemetría y automatización de plantas:

2.1.3.1 Protocolos de comunicación Industrial físicos:

2.1.3.1.1 Profibus DP

Profibus DP es una variante del protocolo PROFIBUS que se utiliza principalmente para la comunicación rápida y eficiente entre sistemas de automatización y dispositivos de campo descentralizados, como sensores, actuadores, y dispositivos de entrada/salida. Está diseñado específicamente para aplicaciones donde se necesita una alta velocidad de transmisión y una baja latencia.

2.1.3.1.2 Ethernet Industrial

Ethernet es uno de los protocolos de comunicación más utilizados en la tecnología de redes en general, y su versión industrial ha ganado popularidad en la automatización

debido a su velocidad y capacidad para manejar grandes volúmenes de datos. En sistemas de telemetría, Ethernet industrial se utiliza para conectar dispositivos como PLCs, RTUs y sistemas SCADA, ofreciendo una comunicación eficiente y en tiempo real.

2.1.3.2 Protocolo de comunicación Industrial inalámbricos:

2.1.3.2.1 OPC UA sobre Wireless

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) es un estándar de comunicación industrial diseñado para facilitar la interoperabilidad entre diferentes sistemas y dispositivos en entornos de automatización. Desarrollado por la organización OPC Foundation, OPC UA se basa en un modelo de arquitectura orientado a servicios, lo que permite la transmisión de datos en tiempo real y el acceso a información estructurada de manera independiente del hardware y del sistema operativo.

Este estándar se caracteriza por su capacidad para soportar la comunicación entre dispositivos de múltiples fabricantes, asegurando que puedan intercambiar información de manera efectiva y segura. OPC UA integra características avanzadas de seguridad, como cifrado y autenticación, lo que lo hace ideal para aplicaciones industriales donde la protección de los datos y la confiabilidad de la comunicación son esenciales. Además, su modelo de datos flexible permite representar información compleja y facilita la integración de dispositivos en arquitecturas de Internet de las Cosas (IoT) y fábricas inteligentes.

2.2 Estándares y buenas prácticas

En el diseño e implementación de un sistema de telemetría para plantas de almacenamiento de agua potable, es esencial seguir estándares y buenas prácticas que garanticen la seguridad, la interoperabilidad y la eficiencia operativa. A continuación, se presentan los principales estándares, frameworks y buenas prácticas que deben considerarse en el desarrollo de este tipo de sistemas.

2.2.1 IEC 62541

Este estándar internacional define la arquitectura del protocolo OPC UA, que garantiza la interoperabilidad y seguridad en sistemas industriales. El estándar proporciona las especificaciones técnicas para la transmisión segura de datos entre diferentes dispositivos en una planta de agua potable.

2.2.2 IEC 61131-3

Este estándar define los lenguajes de programación para los Controladores Lógicos Programables (PLCs), asegurando que los controladores utilizados en la planta de agua potable sean compatibles con un sistema de telemetría OPC UA.

2.2.3 ISO/IEC 27001

Normativa para la gestión de la seguridad de la información. Su implementación es esencial para proteger la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos que se transmiten en el sistema de telemetría de la planta de agua potable.

2.3 Bases Legales y Marco Normativo

2.3.1 Bases Legales

La implementación de un sistema de telemetría en una empresa de distribución de agua en Perú se enmarca en una serie de leyes y normativas que regulan tanto el uso de los recursos hídricos como la gestión y protección de la información.

2.3.1.1 Ley General de Servicios de Saneamiento (Ley N° 26338)

Esta ley regula los servicios de agua potable, alcantarillado y disposición de aguas residuales, y establece la responsabilidad de las empresas prestadoras de garantizar la continuidad, calidad y eficiencia en la prestación del servicio. La implementación de un sistema de telemetría permitirá a la empresa monitorear en tiempo real el estado de la red de distribución, mejorando la eficiencia y reduciendo las pérdidas de agua, en concordancia con los principios de eficiencia establecidos en el artículo 2 de esta ley.

2.3.1.2 Ley de Promoción de la Eficiencia Energética (Ley N° 27345)

Esta ley promueve el uso eficiente de la energía en diversas industrias, incluida la gestión del agua. La implementación de un sistema de telemetría contribuye a la optimización del uso de energía, ya que permite monitorear y controlar de manera eficiente dispositivos como válvulas y otros equipos utilizados en la distribución de agua. Al seguir esta ley, se garantiza que la empresa mejore su eficiencia energética, contribuyendo al desarrollo sostenible del sector.

2.3.2 Marco Normativo

Además de las leyes nacionales mencionadas, la implementación de un sistema de telemetría para la distribución de agua en Perú debe cumplir con ciertos estándares internacionales y normativas técnicas que garantizan la calidad, seguridad y eficiencia del sistema.

2.3.2.1 ISO 9001 - Sistema de Gestión de la Calidad

La norma ISO 9001 proporciona un marco para asegurar la calidad en los procesos operativos. En el caso de un sistema de telemetría para la gestión del agua, esta norma es relevante porque garantiza que los procesos de monitoreo, control y análisis de datos se realicen bajo altos estándares de calidad, permitiendo la mejora continua de la operación de la empresa.

2.3.2.2 Norma Técnica Peruana NTP 339.102:2006 - Telemetría en Redes de Agua Potable

Esta norma peruana específica regula la implementación de sistemas de telemetría en redes de distribución de agua potable. Es fundamental que el sistema propuesto cumpla con los lineamientos técnicos establecidos en esta norma, lo que asegura que la telemetría funcione correctamente en el monitoreo del estado de las redes de distribución y en la toma de decisiones para mejorar la operación.

3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Diseño de la Solución

El diseño del sistema de telemetría del presente proyecto está dirigido para el monitoreo eficiente y en tiempo real de los componentes mediante el protocolo OPC UA el cual garantiza una comunicación segura, escalable y de alto rendimiento, teniendo en consideración los parámetros de operación para el reservorio.

En primer lugar, se realiza una estimación del plano de la planta, teniendo en cuenta la disposición de los sensores y actuadores de control para las tuberías de entrada y salida. El plano del sistema incluirá los puntos de monitoreo de variables críticas como el nivel de agua, flujo y presión.

Con respecto al sistema de telemetría, el protocolo OPC UA es el encargado de la integración de los dispositivos previamente seleccionados y facilitará la comunicación entre ellos en tiempo real, lo que permite que los datos de los diversos sensores sean accesibles en un único sistema centralizado promoviendo la flexibilidad y compatibilidad entre componentes de diferentes marcas. Además, de sistema asegura el monitoreo continuo de todas las variable, datos y almacenamiento en el sistema SCADA de la planta

3.2 Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema es un elemento clave que define cómo interactúan los diferentes componentes en un entorno industrial. A continuación, se detalla el diagrama de lazo y control, lo que permitirá comprender mejor cómo se implementan las soluciones propuestas en el contexto de la automatización industrial.

3.2.1 Diagrama de P&ID

En el diseño de la automatización del reservorio, se han considerado cuidadosamente los componentes necesarios para el control y monitoreo de la estación. En el Anexo 3, se detallan todos los elementos seleccionados para los dispositivos de campo esenciales para su control y monitoreo del sistema.

El Diagrama de P&ID, presentado en el Anexo 1, muestra el árbol hidráulico del reservorio, indicando la ubicación específica de cada componente. Este diagrama sirve como una referencia visual clara de la disposición de los sensores y actuadores, además del sistema de conexión que permite la transmisión de datos de cada sensor al PLC.

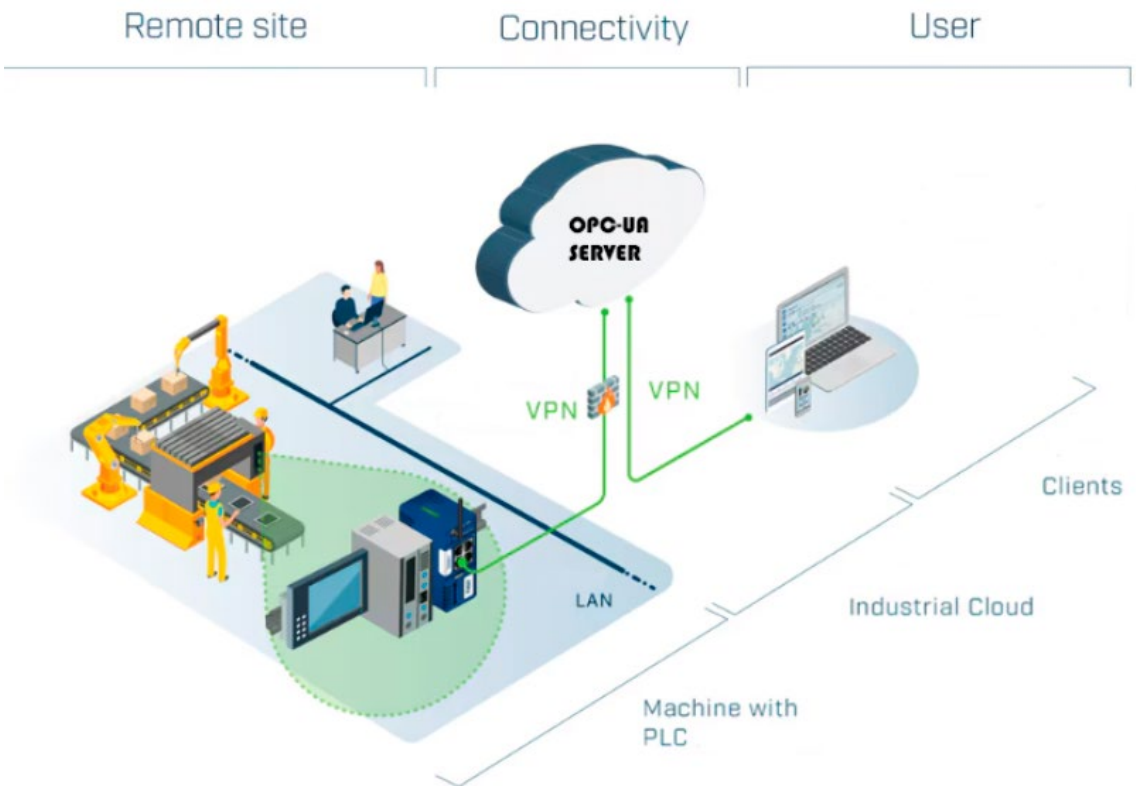
3.2.2 Diagrama de Control

En el Diagrama de Control presentado en el Anexo 2, se muestra la representación gráfica del conexionado para la transmisión de datos desde los sensores hacia el PLC, esencial en el sistema de telemetría del reservorio. Los sensores de presión, nivel y flujo transmiten datos mediante el protocolo Profibus DP, utilizando un repetidor de seis puertos que recoge las señales y las envía al PLC, garantizando una transmisión de datos eficiente. Adicionalmente, los sensores de limit switch ubicados en las válvulas de las líneas de impulsión, el sensor de rebose, los interruptores y las señales del tablero rectificador se comunican con el PLC a través de señales discretas, ideales para la transmisión de estados binarios. El HMI (interfaz hombre-máquina) y el router industrial se conectan al PLC mediante el puerto Ethernet, permitiendo la interacción en tiempo real y la conectividad de red para el monitoreo remoto. Para gestionar estas conexiones, el PLC está equipado con un módulo Ethernet, un módulo Profibus DP para la recepción de datos de los sensores de presión, nivel y flujo, y un módulo de entradas y salidas discretas para las señales binarias. Este diagrama de control facilita la visualización de la arquitectura de conexión entre los dispositivos de campo y el PLC, permitiendo un control continuo y preciso de las operaciones en el reservorio.

3.2.3 Esquema de Comunicación

El Esquema de Comunicación detalla la transferencia de datos entre los dispositivos de campo, el PLC y el sistema SCADA mediante el protocolo OPC UA-VPN, asegurando una interoperabilidad fluida y segura. El router industrial está equipado con un chip integrado que le proporciona acceso a Internet, lo cual permite la conexión a la nube propia del dispositivo. Tal como se muestra en la Figura 12, esta configuración permite que los usuarios puedan monitorear en tiempo real la información de la planta a través del protocolo TCP, nativo del sistema. La comunicación se ha diseñado para ser eficiente y segura, implementando cifrado y autenticación en cada transmisión para proteger la integridad de los datos y garantizar la confiabilidad del sistema en todo momento.

Figura 12
Sistema de comunicación con el SCADA



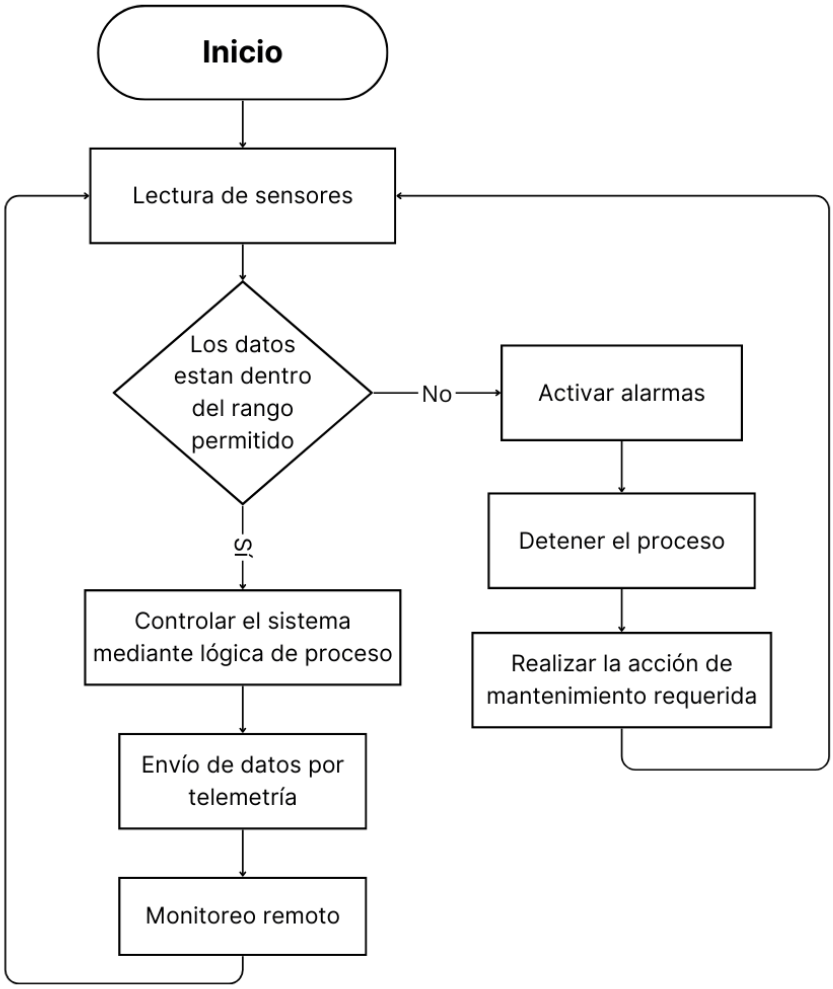
Nota. Adaptado de "Ewon, 20 años líder en soluciones de acceso remoto e IIoT", por Automatica e Instrumentación, 2023 (https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2799025/ewon-20-anos-lider-soluciones-acceso-remoto-e-iiot)

3.3 Lógica de funcionamiento del sistema.

Para garantizar el funcionamiento eficiente y preciso del proceso a diseñar, es esencial estructurar de manera clara y lógica las etapas del programa que controla el sistema automatizado.

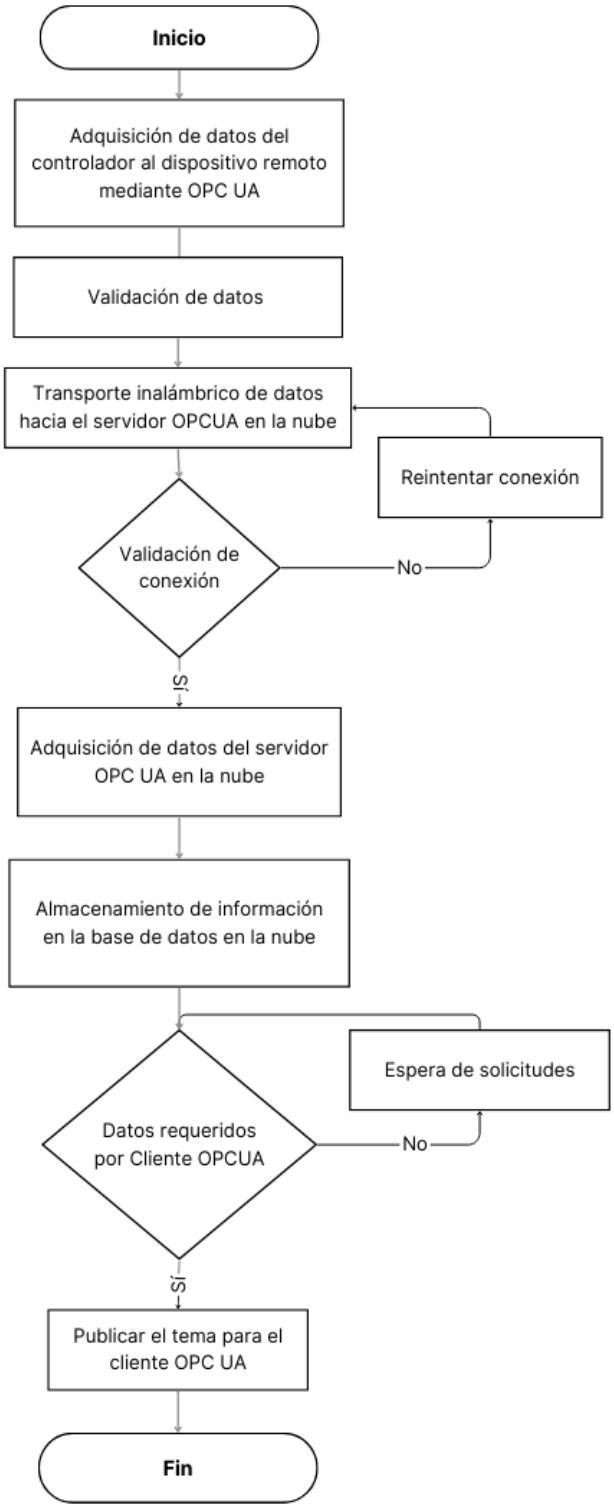
El diagrama de flujo presentado a continuación ilustra la secuencia de operación del programa de automatización desarrollado para este proyecto. A través de este diagrama, se puede observar cómo el PLC ejecuta, de manera cíclica, cada una de las fases clave del proceso, desde la lectura de entradas hasta la actualización de salidas, pasando por la evaluación de condiciones lógicas.

Figura 13
Diagrama de Flujo del Proceso de almacenamiento de agua



Además, el diagrama de flujo muestra el proceso completo de transmisión de datos en un sistema de telemetría que usa el protocolo OPC UA a través de una VPN para la supervisión de una planta de almacenamiento de agua potable. La importancia de este flujo radica en asegurar la integridad y disponibilidad de los datos críticos para el monitoreo y control de la planta desde ubicaciones remotas, mejorando la eficiencia operativa y facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

Figura 14
Diagrama de Flujo del Proceso Telemetría



Router industrial IOT:

Los router industriales IoT desempeñan un papel fundamental en la conectividad y la gestión de datos en entornos de automatización industrial.

En el proyecto al usar OPC UA (Comunicaciones de Plataforma Abierta Arquitectura Unificada) con el servicio VPN (Red Privada Virtual) como método de envío implica integrar las capacidades de ambos para la comunicación de datos. Para ello es necesario que cumpla con las siguientes características.

- El router debe ser compatible con protocolos de comunicación industrial, para la recolección de datos desde varios dispositivos de campo y transmitir estos datos a las aplicaciones diseñadas para el proyecto
- El router industrial IoT debe conectarse a dispositivos que utilizan el protocolo OPC UA, permitiendo la recopilación de datos industriales.
- El router se debe conectar al servidor OPC UA y suscribirse a variables y eventos de interés para permitir una monitorización continua de los procesos industriales y la recepción de actualizaciones en tiempo real.
- Debe implementar mecanismos de seguridad robustos, como autenticación, cifrado TLS/SSL y gestión de certificados, para proteger las comunicaciones.
- Requiere incluir capacidades de autodiagnóstico y recuperación automática para minimizar el tiempo de inactividad en caso de errores. Esto puede incluir reinicios automáticos o el cambio a una red alternativa en caso de falla de la red primaria.

Servicio de Nube:

Implementar un servidor OPC UA en la nube que opere con una VPN (Red Privada Virtual) implica considerar varios requisitos técnicos relacionados con la infraestructura en la nube, el software, la red y la seguridad.

Debido a que el servidor debe ser capaz de manejar tanto el protocolo OPC UA para conectar dispositivos industriales como el servicio VPN para transmitir datos a aplicaciones IoT o en la nube, se tiene que evaluar la cantidad de memoria para asegurar un rendimiento adecuado.

A continuación, se presenta los proveedores de servicios de la nube para entornos industriales.

- **Amazon Web Services (AWS):** AWS es una plataforma de nube ampliamente conocida por su flexibilidad y escalabilidad. Entre sus servicios destacados se encuentran AWS IoT Core, que permite la conexión segura de dispositivos industriales a la nube, que facilita el procesamiento de grandes volúmenes de datos en tiempo real, optimizando la respuesta y la toma de decisiones en entornos industriales (WebbyLab, 2024; Cloudwards, 2024)
- **Mricrosoft Azure:** Azure es ideal para aplicaciones industriales y es popular por su integración de herramientas como Azure IoT Hub, que gestiona la conectividad de dispositivos, y Azure Machine Learning, que permite realizar análisis predictivo. Estos servicios facilitan el mantenimiento predictivo y la gestión de recursos, lo que contribuye a mejorar la eficiencia operativa (WebbyLab, 2024; Alan Weissberger, 20212021).
- **Google Cloud:** GCP se especializa en capacidades avanzadas de análisis de datos. Su servicio Google IoT Core ofrece una conexión segura y escalable de dispositivos, mientras que BigQuery permite la gestión y el análisis de grandes volúmenes de datos en tiempo real, ideal para el monitoreo industrial (Cloudwards, 2024; WebbyLab, 2024).
- **IBM Watson IOT:** IBM Watson IoT es reconocido por sus capacidades avanzadas de machine learning, que permiten desarrollar modelos predictivos para el mantenimiento de equipos. Además, cuenta con integración de blockchain, lo que mejora la seguridad y la transparencia en las operaciones industriales (Alan Weissberger, 2021, 2021).
- **Siemnes MindSphere:** Siemens ha desarrollado MindSphere específicamente para el Internet Industrial de las Cosas (IIoT). Este servicio permite la recolección y análisis de datos de maquinaria, e integra gemelos digitales para optimizar procesos. Su asociación con AWS ha fortalecido sus capacidades, ofreciendo soluciones de análisis industrial avanzadas (Siemens, 2021).
- **Talk2M by Ewon:** Talk2M es un servicio de nube especializado en telemetría industrial, proporcionado por Ewon. Este servicio facilita el acceso remoto a datos de operación mediante una conexión VPN segura, y es especialmente útil en aplicaciones de mantenimiento y monitoreo remoto de equipos industriales (WebbyLab, 2024).

3.4 Filosofía de Control del SCADA:

Pantalla Principal o Inicio

La Pantalla Principal es la primera vista que se presenta al iniciar el sistema y proporciona información general sobre la estación. En esta pantalla se mostrará el nombre de la estación, el logotipo de la empresa, así como la fecha y hora actuales. Además, incluirá una barra de navegación que permitirá al usuario acceder a las diferentes pantallas del sistema, facilitando el manejo y la supervisión de los procesos. Esta pantalla actúa como el punto de partida para todas las operaciones dentro del sistema, proporcionando una interfaz clara y accesible para el usuario.

Pantalla de Inicio de Sesión

En esta pantalla, los usuarios podrán seleccionar su tipo de acceso, eligiendo entre las opciones "USUARIO" o "SUPERVISOR". El acceso a esta sección se realizará a través del botón INICIAR SESIÓN, ubicado en la barra de herramientas de la pantalla principal.

Al ingresar, la pantalla solicitará el nombre de usuario y la contraseña correspondientes. Según los permisos asignados a cada usuario, se podrán realizar diferentes configuraciones y ajustes en los parámetros del sistema. Los usuarios con mayores privilegios, como los supervisores, tendrán acceso a configuraciones avanzadas, mientras que los usuarios generales podrán operar dentro de los límites definidos para su nivel de acceso. Este sistema garantiza un control seguro y eficiente de las operaciones, adaptado a los distintos roles dentro del proceso.

Pantalla Principales del Proceso

El acceso a las pantallas principales del proceso se realizará a través del botón UNIFILAR. Estas pantallas proporcionan una vista general de los instrumentos de medición y equipos involucrados en el proceso, como transmisores de presión, caudal y nivel, entre otros.

En la pantalla se visualizarán en tiempo real los valores del caudal instantáneo y el volumen acumulado, así como el valor instantáneo de la presión en los distintos puntos críticos del sistema. Esta vista general permitirá a los operadores supervisar de manera continua el estado de los parámetros operativos clave, asegurando un control eficiente del proceso y facilitando la toma de decisiones en tiempo real.

Pantalla de Alarmas

La pantalla de alarmas permitirá visualizar de manera clara y precisa los eventos críticos que han ocurrido en el proceso, proporcionando un registro detallado de las incidencias anteriores. Cada vez que se active una alarma, el mensaje correspondiente se mostrará en color rojo, mientras que la liberación de la alarma se visualizará en color verde. En ambos casos, se registrará la fecha y la hora exacta en que ocurrieron los eventos, permitiendo un seguimiento preciso del historial de alarmas.

Entre las posibles alarmas que se pueden generar en el sistema se incluyen: detección de intrusismo, fallas en el sistema de alimentación ininterrumpida (UPS), fallas en el suministro eléctrico, disparo de telerruptores, fallos en el PLC, fallas en los sensores de los instrumentos de medición, nivel mínimo en el reservorio, sobrepresión en la línea, supresión en la línea, activación de la parada de emergencia, entre otras. Estas alarmas permiten a los operadores reaccionar de manera oportuna ante cualquier anomalía en el proceso, asegurando la continuidad y seguridad de la operación.

3.5 Resultados Esperados

- La implementación del sistema basado en Internet permitirá una conectividad más amplia, superando las limitaciones de rango y cobertura típicas de los sistemas de radiofrecuencia.
- Se anticipa una mejora en la fiabilidad de la comunicación, dado que las conexiones a Internet tienden a ser más estables y menos propensas a interferencias que las señales de radiofrecuencia.
- La implementación de OPC UA facilitará la integración con otras plataformas y sistemas de software, permitiendo una interoperabilidad más fluida en comparación con las limitaciones de integración de los sistemas de radiofrecuencia.
- Se espera que la implementación de protocolos de seguridad en la transmisión de datos a través de Internet, como el cifrado y la autenticación, proporcione un nivel de seguridad superior al de los sistemas de radiofrecuencia.
- El sistema basado en Internet permitirá una mayor escalabilidad, facilitando la incorporación de nuevos dispositivos y sensores a medida que las necesidades operativas cambien sin la necesidad de reconfigurar la infraestructura de radio.

- Se anticipa una reducción en los costos operativos y de mantenimiento, ya que los sistemas de radiofrecuencia pueden requerir equipos adicionales y mantenimiento regular, mientras que un sistema basado en Internet puede ser más fácil de gestionar.
- La implementación de un sistema OPC UA a través de Internet permitirá una mejor adaptación a tecnologías emergentes y nuevas tendencias, como el IoT (Internet de las Cosas), facilitando la evolución continua del sistema.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se analizaron los requisitos generales necesarios para el sistema de reservorio de agua con el propósito de implementar soluciones de telemetría basadas en IoT que permitan la incorporación de nuevos dispositivos y funciones sin necesidad de rediseñar la infraestructura completa.

- Se diseñó una arquitectura de telemetría para implementar un sistema OPC UA sobre VPN, lo que asegura un entorno de comunicación confiable y seguro, resguardando la integridad y privacidad de los datos en tránsito.

- Se evaluaron las especificaciones necesarias para seleccionar el hardware adecuado, permitiendo así mejorar las capacidades de monitoreo y control, y aumentando la capacidad de respuesta ante posibles incidentes.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar una planificación periódica de los mantenimientos preventivos y correctivos para garantizar la seguridad y continuidad operativa del sistema. Asimismo, es esencial realizar pruebas mensuales de conectividad y latencia para asegurar un enlace de comunicación óptimo, con la finalidad de anticipar y minimizar posibles fallas.

- Se recomienda dado que el sistema IoT gestiona un gran volumen de datos cifrados utilizar una red móvil de al menos 4G, con velocidades entre 10 Mbps y 20 Mbps, para asegurar que los datos se envíen de forma fluida y segura, sin afectar el rendimiento ni aumentar la latencia.

5 REFERENCIAS

Automatica e Instrumentación (2022). *Ewon, 20 años líder en soluciones de acceso remoto e IIoT*. https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2799025/ewon-20-anos-lider-soluciones-acceso-remoto-e-iiot

Burkert Fluid Control Systems (2024). *Tipo TCL001 - Interruptor de flotador sencillo.* https://www.burkert.es/es/type/TCL001

Cabrera, A. (2008). *Estructura jerárquica de la Pirámide de la automatización CIM*. https://www.researchgate.net/figure/Estructura-jerarquica-de-la-Piramide-de-la-automatizacion-CIM_fig39_347590726

Cloudwards. (2024). *AWS vs Azure vs Google Cloud: Cloud Comparison*. https://www.cloudwards.net/aws-vs-azure-vs-google-cloud

Cuypers, G. (2001). Noise in satellite links: https://on4cdu.net/wp-content/uploads/Microwave_Roundtable/Noise.pdf

Endress+Hauser (2024). *Cerabar PMP71B: transmisor de presión*. https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-presion/cerabar-PMP71B-transmisor-de-presion?t.tabId=product-overview

H&M Ingenieros Consultores (2022). *Logo de empresa HM*. http://www.hmingenieros.com/logo

Inpro Supplier (2024). *Rosemount™ 3051T Transmisor de presión en línea Emerson*. https://ingprosuppliers.com/producto/3051t-rosemount-3051t-transmisor-de-presion-en-linea-3051t/

Krohne (2024). *OPTIFLUX 5300*. https://pe.krohne.com/es/productos/medida-de-caudal/caudalimetros/caudalimetros-electromagneticos/optiflux-5300

Marin, R. (2020) Telemetry: connectivity and productivity in real time - project implementation guide, *MassMin2020, 1359-1373. https://doi.org/10.36487/ACG_repo/2063_102*

Oblitas, L. (2010). *Servicios de agua potable y saneamiento en el Perú: beneficios potenciales y determinantes de éxito*. Ministerio Federal de Cooperación Económica y

Desarrollo. https://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/4448/ANA0002863.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Siemens. (2021). *Siemens Expands Collaboration with AWS to Facilitate Cloud-Based Digital Transformation for Industry*. https://press.siemens.com

Siemens (2022). *6ES7516-3AP03-0AB0.* https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7516-3AP03-0AB0

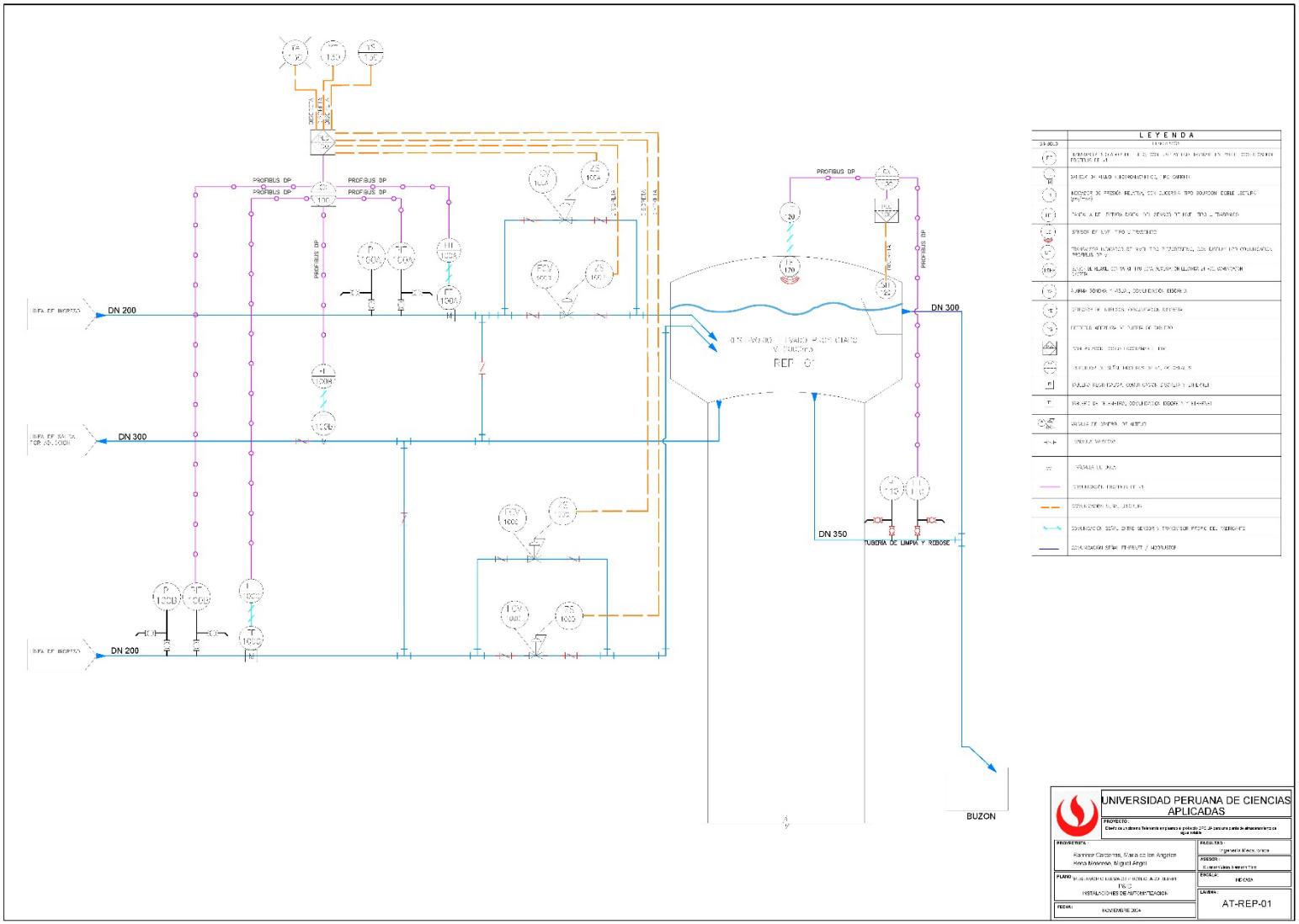
VVA Industrial Supplies & Services (2024). *Sensor de nivel ultrasónico Ecuador*. https://vvaindustrial.com/sensor-de-nivel-ultrasonico/sensor-de-nivel-ultrasonico-ecuador/

WebbyLab. (2024). *Top 8 IoT Cloud Platforms With In-Depth Comparison*. https://webbylab.com/blog/top-8-iot-cloud-platforms-with-comparison

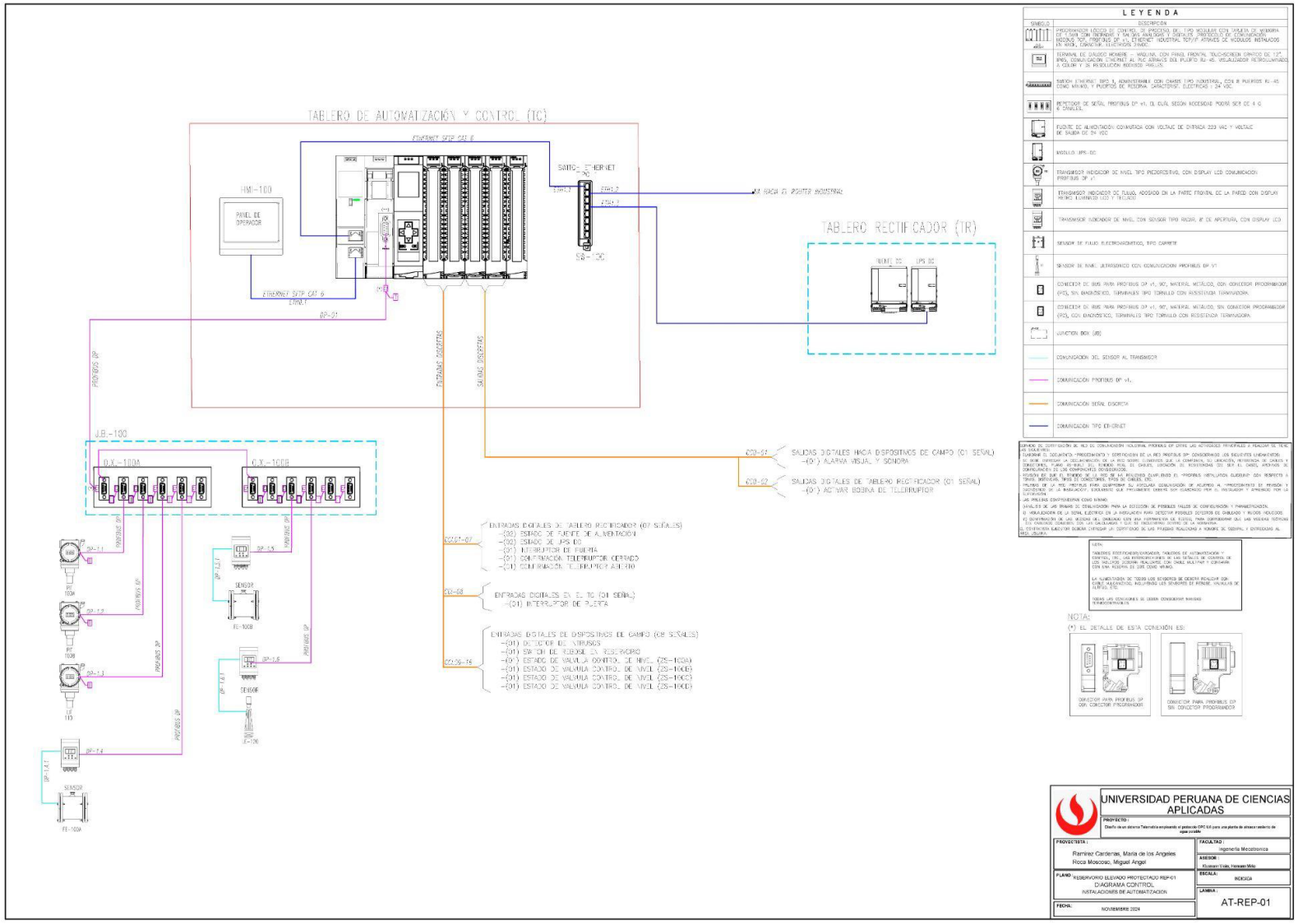
Weissberger, A. (2021). *Gartner: AWS, Azure, and Google Cloud top rankings for Cloud Infrastructure and Platform Services*. https://techblog.comsoc.org/gartner-aws-azure-and-google-cloud-top-rankings

6 ANEXOS

6.1 ANEXO 1: Plano P&ID



6.2 ANEXO 2: Diagrama de Control



6.3 ANEXO 3: Listado de Señal del PLC

ENTRADAS DIGITALES											
Item	Ubicación	Address	Bornera	TAG	Descripción	Type of Signal					
						DI	DO	AI	AO	Profibus DP	ETHERNET
1	TAC-1	IO.0	XDI ·1		ESTADO DE FUENTE 1-24VDC	1	-	-	-	-	-
2	TAC-1	IO.1	XDI ·1		ESTADO DE FUENTE 2-24VDC	1	-	-	-	-	-
3	TAC-1	IO.2	XDI ·1	YS-130 B	DETECTOR DE APERTURA - TR	1	-	-	-	-	-
4	TAC-1	IO.3	XDI ·1		CONFIRMACIÓN TELERUPTOR 24VDC - CERRADO	1	-	-	-	-	-
5	TAC-1	IO.4	XDI ·1		CONFIRMACIÓN TELERUPTOR 24VDC - ABIERTO	1	-	-	-	-	-
6	TAC-1	IO.5	XDI ·1		ALARMA DE MÓDULO DE SELECTIVIDAD 1 – TC	1	-	-	-	-	-
7	TAC-1	IO.6	XDI ·1		ALARMA DE MÓDULO DE SELECTIVIDAD 2 – TC	1	-	-	-	-	-
8	TAC-1	IO.7	XDI ·1		ALARMA DE MÓDULO DE SELECTIVIDAD 3 – TC	1	-	-	-	-	-
9	TAC-1	I1 .0	XDI ·1		ALARMA DE MÓDULO DE SELECTIVIDAD 4 – TC	1	-	-	-	-	-
10	TAC-1	I1.1	XDI ·1		ALARMA DE MÓDULO DE SELECTIVIDAD 5 - TC	1	-	-	-	-	-
11	TAC-1	I1.2	XDI ·1	YS-130B	DETECTOR DE APERTURA - TC	1	-	-	-	-	-
12	TAC-1	I1.3	XDI ·1	YE-130	DETECTOR DE INTRUSO	1	-	-	-	-	-
13	TAC-1	I1.4	XDI ·1	LSHH-120	SENSOR DE REBOSE	1	-	-	-	-	-
14	TAC-1	I1.5	XDI ·1	ZS-100A	ESTADO DE VALULA CONTROL DE NIVEL-01	1	-	-	-	-	-
15	TAC-1	I1.6	XDI ·1	ZS-100B	ESTADO DE VALULA CONTROL DE NIVEL-02	1	-	-	-	-	-
16	TAC-1	I1.7	XDI ·1	ZS-100C	ESTADO DE VALULA CONTROL DE NIVEL-03	1	-	-	-	-	-
17	TAC-1	I2.0	XDI ·1	ZS-100D	ESTADO DE VALULA CONTROL DE NIVEL-04	1	-	-	-	-	-
SUB TOTAL						17	0	0	0	0	0

COMUNICACIÓN PROFIBUS DP V1											
Item	Ubicación	Address	Bornera	TAG	Descripcion	Type of Signal					
						DI	DO	AI	AO	Profibus DP	ETHERNET
1	TAC-1	2	-		PLC - MÓDULO PROFIBUS DP CONTROL N°01	-	-	-	-	1	-
2	TAC-1	3	-	PIT-100A	SENSOR TRANSMISOR DE PRESION	-	-	-	-	1	-
3	TAC-1	4	-	PIT-100B	SENSOR TRANSMISOR DE PRESION	-	-	-	-	1	-
4	TAC-1	5	-	LIT-100	SENSOR TRANSMISOR DE NIVEL POR PRESIÓN	-	-	-	-	1	-
5	TAC-1	6	-	FIT-100A	SENSOR TRANSMISOR FLUJO	-	-	-	-	1	-
6	TAC-1	7	-	FIT-100A	SENSOR TRANSMISOR FLUJO	-	-	-	-	1	-
7	TAC-1	8	-	LIT-120	SENSOR TRANSMISOR DE NIVEL	-	-	-	-	1	-
SUB TOTAL						0	0	0	0	7	0

SALIDAS DIGITALES											
Ítem	Ubicación	Address	Bornera	TAG	Descripción	Type of Signal					
						DI	DO	AI	AO	Profibus DP	ETHERNET
1	TAC-1	Q0.0	XD O-1		TELE RRUPTOR 24VDC - DISPARO/REARME	-	1	-	-	-	-
2	TAC-1	Q0.1	XD O-1		REARME DEL MÓDULO DE SELECTIVIDAD 1 – TC	-	1	-	-	-	-
3	TAC-1	Q0.2	XD O-1		REARME DEL MÓDULO DE SELECTIVIDAD 2 – TC	-	1	-	-	-	-
4	TAC-1	Q0.3	XD O-1		REARME DEL MÓDULO DE SELECTIVIDAD 3 – TC	-	1	-	-	-	-
5	TAC-1	Q0.4	XD O-1		REARME DEL MÓDULO DE SELECTIVIDAD 4 – TC	-	1	-	-	-	-
6	TAC-1	Q0.5	XD O-1		REARME DEL MÓDULO DE SELECTIVIDAD 5 – TC	-	1	-	-	-	-
7	TAC-1	Q0.6	XD O-1	YA-130	ALARMA SONORA - SIRENA ESTROBOSCOPICA		1	-	-	-	-
SUB TOTAL						0	7	0	0	0	0

COMUNICACIÓN ETHERNET										
Item	Ubicación	Address	TAG	Descripcion	Type of Signal					
					DI	DO	AI	AO	Profibus DP	ETHERNET
1	TAC-1	xxx.xxx.xxx.2	HMI	HMI - PLC	-	-	-	-	-	1
2	TAC-1	xxx.xxx.xxx.3	SW-1	SWITCH TAC - PLC	-	-	-	-	-	1
3	TAC-1	xxx.xxx.xxx.4	SW-2	ROUTER INDUSTRIAL - SWITCH	-	-	-	-	-	1
4	TAC-1	xxx.xxx.xxx.5	SW-3	UPS - SWITCH	-	-	-	-	-	1
5	TAC-1	xxx.xxx.xxx.6	SW-04	UPS - SWITCH	-	-	-	-	-	1
SUB TOTAL					0	0	0	0	0	5