



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL**  
**MODALIDAD DUAL**

**DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE UNA**  
**COMPUERTA DE INGRESO DE AGUA EN EL SECTOR DE BOCACAZ DEL**  
**COMPLEJO HIDROELECTRICO MACHANGARA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial

AUTOR: MARCOS VINICIO SÁNCHEZ ARÉVALO

TUTOR: ING. PATRICIO FERNANDO URGILÉS ORTIZ, PHD.

Cuenca- Ecuador

2025

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

Yo, Marcos Vinicio Sánchez Arévalo con documento de identificación N° 0105750012 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 27 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Marcos Vinicio Sánchez Arévalo

0105750012

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

Yo, Marcos Vinicio Sánchez Arévalo con documento de identificación N° 0105750012, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto técnico: “Diagnostico y propuesta de automatizacion de una compuerta de ingreso de agua en el sector de bocacaz del Complejo Hidroelectrico Machangara”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Tecnólogo Superior en Electricidad Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 27 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Marcos Vinicio Sánchez Arévalo

0105750012

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Patricio Fernando Urgilés Ortiz con documento de identificación N° 0102137593, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE UNA COMPUERTA DE INGRESO DE AGUA EN EL SECTOR DE BOCACAZ DEL COMPLEJO HIDROELECTRICO MACHANGARA”, realizado por Marcos Vinicio Sánchez Arévalo con documento de identificación N° 0105750012, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de febrero del 2025

Atentamente,



---

Ing. Patricio Fernando Urgilés Ortiz, PhD.

0102137593

## **I. Dedicatoria y agradecimiento**

### **A mi familia**

Dedico este trabajo de titulación a mi familia, quienes con su amor, su comprensión, su apoyo incondicional me han motivado a continuar mis estudios me han permitido continuar formándome en una de las carreras más bonitas que es la electricidad mi familia fueron y serán el pilar fundamental en mi vida ya que con su comprensión y ayuda en los momentos difícil con sus palabras me levantaron el ánimo y me hicieron creer en mí mismo en las capacidades que poseo pienso que cada paso cada página de este trabajo está impregnada el amor y el apoyo incondicional que he recibido de ustedes por eso les dedico este título a Uds. que se merecen todo mi amor y respeto.

### **A mi Esposa**

Dedico mi trabajo a mi esposa la cual antes de cursar por la carrera ya venía diciéndome que retomara mis estudios gracias por demostrarme que todo es posible, con responsabilidad, dedicación y con sus palabras de motivación me ayudaron a cursar todos los ciclos ya que en algunos momentos ya quería tirar la tolla porque me parecían difícil, pero Ud. estuvo ahí diciéndome que continúe este apoyo me ayudó mucho en los momentos más difíciles, gracias por cada minuto de tristeza estar ahí solo me queda decir gracias.

### **A mi Madre**

Dedico este trabajo a mi mami que fue uno de mis pilares fundamentales en mi vida en proponerme a cursar esta hermosa carrera que he aprendido mucho gracias por sus palabras, por sus oraciones gracias por sacarme adelante y hacer de mí un hombre de bien, aunque sola siempre trato de darme todo lo mejor para que no me faltara nada estoy tan agradecido no tuvimos una vida fácil pero simplemente este título no es mío es suyo, es su sueño gracias por todo a Dios por poner en mi camino a verdaderos ángeles que me acompañen y guíen mi camino.

### **A mis Ángeles**

Dedico este trabajo a mis ángeles que de donde estén sé que estarán orgullosos de haber formado parte de mi vida y haberme dado un gran ejemplo a seguir gracias por todo por sus enseñanzas en vida me siento tan agradecido por haberme enseñado a seguir en adelante en las buenas y malas y por haberme criado con tanto amor a su manera para uds mis respetos y admiración toda la vida.

### **A mis docentes**

Dedico este trabajo a mis Docentes que desde el día que ingrese a esta institución me ayudaron y me guiaron para poder alcanzar mi meta me ayudaron, con su ejemplo y sabiduría pudieron enseñarme, con su experiencia pudimos aprender errores que en libros no están, por compartir todo su conocimiento con nosotros gracias.

## **II. Resumen**

Este documento de tesis presenta una propuesta para la automatización del sistema de control de una compuerta hidráulica destinada a regular el flujo de agua en sistemas de generación de energía eléctrica en el sector de bocacaz. La compuerta, diseñada con un eje de rotación central, permite una distribución equilibrada de fuerzas, lo que optimiza su operación frente a variaciones en el nivel del agua. El proyecto plantea un diseño basado en tecnologías modernas de control industrial, incorporando un controlador lógico programable (PLC) como núcleo del sistema y una interfaz humano-máquina (HMI) para monitoreo en tiempo real y gestión remota.

La propuesta contempla la implementación del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP para garantizar una adecuada interoperabilidad entre los diferentes componentes del sistema. Este enfoque busca simplificar la integración con futuros sistemas de automatización y contribuir a la reducción de la complejidad en los procesos operativos. Además, el sistema está diseñado para ser escalable, permitiendo su adaptación y mejora conforme las necesidades del entorno industrial evolucionen.

Se hace énfasis en los beneficios potenciales de esta automatización, como una mayor precisión en la regulación del caudal, una operación más eficiente y confiable, y la reducción del riesgo asociado a fallos manuales y a protección del operador en este caso al guardián de generación de turno a posibles eventos de accidentes. Adicionalmente, se explora cómo esta implementación puede impactar positivamente la sostenibilidad del sistema hidroeléctrico al optimizar la gestión de los recursos hídricos disponibles ayudando con este proyecto a la conservación del medio ambiente y mejorando la producción eléctrica.

Esta propuesta tiene como objetivo servir de base para futuras implementaciones en el sector hidroeléctrico, promoviendo el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que contribuyan al avance de la automatización en aplicaciones industriales críticas. Se espera que este diseño sirva de referencia para proyectos similares, abriendo camino hacia sistemas más avanzados y seguros para hacer mejorar y destacar un sistema automatizado de mejor calidad en el entorno de generación de energía eléctrica. [1]

## **III. Abstract.**

This thesis document presents a proposal for the automation of the control system of a hydraulic gate intended to regulate the flow of water in power generation systems in the manhole sector. The gate, designed with a central rotation axis, allows a balanced distribution of forces, which optimizes its operation against variations in the water level. The project proposes a design based on modern industrial control technologies, incorporating a programmable logic controller (PLC) as the core of the system and a human-machine interface (HMI) for real-time monitoring and remote management.

The proposal contemplates the implementation of the Modbus TCP/IP communication protocol to ensure adequate interoperability between the different

components of the system. This approach seeks to simplify integration with future automation systems and contribute to the reduction of complexity in operational processes. In addition, the system is designed to be scalable, allowing its adaptation and improvement as the needs of the industrial environment evolve.

The potential benefits of this automation are emphasized, such as greater precision in flow regulation, more efficient and reliable operation, and the reduction of risk associated with manual errors and operator protection, in this case the generation guard on duty, from possible accident events. Additionally, it is explored how this implementation can positively impact the sustainability of the hydroelectric system by optimizing the management of available water resources, helping with this project to conserve the environment and improve electrical production.

This proposal aims to serve as a basis for future implementations in the hydroelectric sector, promoting the development of innovative technological solutions that contribute to the advancement of automation in critical industrial applications. It is expected that this design will serve as a reference for similar projects, paving the way towards more advanced and safer systems to improve and highlight a better-quality automated system in the electric power generation environment. [2]

## **IV. Índice de contenido general**

### **CAPITULO 1. \_**

#### **1.1 Introducción**

##### **1.1.1 Descripción del Problema.**

#### **1.2. Objetivos del proyecto**

##### **1.2.2 Objetivos Generales y Específicos.**

#### **1.3 Alcance del Proyecto**

#### **1.4. Justificación de la Automatización**

### **CAPITULO 2. \_**

#### **2.1 Descripción General del Sistema Actual**

##### **2.1.3 Componentes del Sistema Actual**

##### **2.1.4 Problemática del Sistema Actual**

##### **2.1.5 Beneficios de la Automatización**

#### **2.2 Análisis de Problemas Existentes**

#### **2.3 Evaluación de la Eficiencia del Sistema Actual**

### **CAPITULO 3. \_**

#### **3.1 Tipos de sistemas de automatización**

#### **3.2 Clasificación de los sistemas de automatización**

- 3.2.1** Sistemas de control manual
- 3.2.2** Sistemas de control automático
- 3.2.3** Sistemas de supervisión y control (SCADA)
- 3.3** Tecnologías emergentes en la automatización de compuertas
- 3.4** Comparación de los sistemas de automatización
- 3.5** Sistema investigado para la implementación del sistema
  - 3.5.1** Descripción del sistema actual
  - 3.5.2** Análisis de funcionalidad y limitaciones
    - 3.5.2.1** Actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2
  - 3.5.3** Componentes evaluados
  - 3.5.4** Circuitos de censado
    - 3.5.4.1** Comparación de posibles sistemas
  - 3.5.5** Justificación del sistema elegido

## **CAPITULO 4. \_**

- 4.1** Diseño del sistema de automatización.
- 4.2** Objetivos del diseño
  - 4.2.1** Especificaciones técnicas.
- 4.3.** Arquitectura del sistema
  - 4.3.1** Descripción general
  - 4.3.2** Componentes principales
- 4.4** Diagrama de flujo de operación
  - 4.4.1** Algoritmo de control
- 4.5** Integración de la comunicación

## **CAPITULO 5. \_**

- 5.1** Beneficios esperados de la automatización
  - 5.1.1** Optimización de la gestión del recurso hídrico
  - 5.1.2** Mejora de la eficiencia operativa
  - 5.1.3** Mayor seguridad y confiabilidad del sistema
  - 5.1.4** Beneficios adicionales

## 5.2 Retos y Desafíos en la Implementación

5.2.1 La tecnología: un aliado que requiere precisión y cuidado

5.2.2 Integración: un desafío técnico y logístico

5.2.3 El factor humano: capacitación y gestión del cambio

5.2.4 Inversión: un análisis costo-beneficio detallado

5.2.5 Mantenimiento: una tarea continua para garantizar la durabilidad

5.2.6 Seguridad: una prioridad en todas las etapas

5.3 Conclusiones.

5.4 Recomendaciones.

5.5 Referencias bibliográficas

5.6 Anexos

## Marco metodológico.

### 1. Introducción del marco metodológico

En el presente Marco metodológico tiene como objetivo llevar el análisis y la propuesta para mejorar las condiciones de una compuerta lateral en el complejo hidroeléctrico Machángara para hacer optimizar el caudal de agua y llegar a tener a plena carga los generadores que se encuentran río abajo y hacer mejorar la limpieza de las rejillas, teniendo un flujo de agua limpia para abastecimiento de la población de cuenca. [1]

### 2. Enfoque de la investigación

Esta investigación será de enfoque cualitativa según su concepto se observará el área donde se realizará el trabajo, se consultará al personal operativo para verificar la factibilidad de colocar el actuador en dicha compuerta y se analizará las ventajas y desventajas de la misma. [1]

### 3. Diagnóstico de Saucay Sector Bocacaz

**Inspección visual y medición de parámetros operativos:** se realiza la medición de la distancia de la compuerta hacia el trafo, también de las medidas de la compuerta para sacar su peso y sus medidas de alto y ancho

**Análisis de riesgos:** Verificando en sitio podemos constatar que al automatizar la compuerta ayudaría a evitar ingreso de sedimentos al canal

**Análisis de problemas recurrentes:** En sitio se puede constatar que se tiene riesgo humano y riesgo de algún taponamiento por realizar el trabajo con demora. En el lugar se entrevista al Sr. Román Astudillo el cual manifiesta que fuera muy buena idea la automatización de la compuerta que ayudaría mucho en el tiempo de desarenado y en época de lluvias por el constante trabajo que se realiza ahí en las compuertas

### 4. Fase de la propuesta

En esta fase hablaremos específicamente sobre la propuesta que se va a Diseñar tomando en cuenta Datos obtenidos e información de nuestro proyecto de titulación a continuación se explicaran los pasos.

## CAPITULO 1.

### 1.1 Introducción.

Diagnóstico y propuesta de automatización de una compuerta principal en el sector de Bocacaz del Complejo Hidroeléctrico Machángara

Este proyecto de tesis se centra en el diagnóstico y la propuesta de automatización de una compuerta principal ubicada en el sector de Bocacaz, perteneciente al Complejo Hidroeléctrico Machángara. El objetivo primordial de esta iniciativa es optimizar la operación de la compuerta mediante su automatización, lo que se traducirá en una gestión más eficiente y ágil de los recursos hídricos.

La automatización de la compuerta no solo agilizará las tareas operativas, sino que también mejorará la regulación del caudal ecológico y la captación de agua. Asimismo, facilitará la limpieza de sedimentos, especialmente durante la temporada de invierno, lo que se traducirá en una mayor seguridad para el personal operativo y una reducción significativa en los tiempos de respuesta. [3]

La implementación de esta tecnología también tendrá un impacto positivo en la calidad del agua. Al reducir la presencia de sedimentos, se prevendrán daños y desgastes prematuros en las turbinas de las máquinas, lo que a su vez garantizará un funcionamiento óptimo y una mayor vida útil de los equipos. Además, al disminuir la cantidad de sedimentos en el agua, se facilitará el tratamiento en la planta de Tixan, asegurando la continuidad del suministro de agua potable para la población de Cuenca.

Desde una perspectiva ambiental, la automatización de la compuerta contribuirá a prevenir crecidas de ríos y a minimizar los daños a la flora y fauna, preservando así el equilibrio ecológico del complejo hídrico Machángara.

La propuesta de automatización se basa en la integración de tecnologías avanzadas, como sensores de nivel de agua, actuadores eléctricos y un sistema de monitoreo y control SCADA. Esto permitirá la supervisión remota de la compuerta, proporcionando información en tiempo real sobre su estado y las condiciones de operación. Además, se implementarán sistemas de seguridad, como alarmas y alertas de fallo, para garantizar una respuesta inmediata en situaciones críticas.

Este proyecto también aborda la necesidad de asegurar la continuidad en la operación de la compuerta, especialmente en un entorno donde las condiciones climáticas pueden variar y cuando se presenten situaciones de emergencia. La automatización propuesta no solo optimiza los tiempos de respuesta ante cambios en las condiciones del sistema, sino que también facilita la recopilación de datos útiles para realizar análisis de rendimiento y establecer estrategias de mantenimiento predictivo. [4]

En conclusión, la automatización de la compuerta en el sector Bocacaz representa una oportunidad para modernizar las operaciones del Complejo Hidroeléctrico Machángara. Esta iniciativa no solo mejorará la fiabilidad y seguridad del sistema, sino que también contribuirá a reducir costos operativos y a optimizar la gestión de los recursos hídricos, garantizando un suministro de agua de calidad y preservando el medio ambiente.

### **1.1.1 Descripción del Problema.**

#### **Antecedentes y justificación.**

Actualmente, la operación manual presenta desafíos en términos de velocidad y precisión, lo que resulta en un uso ineficiente de los recursos y potenciales pérdidas económicas. [5]

La automatización de la compuerta en el sector de Bocacaz del Complejo Eléctrico Machángara es muy importante para el beneficio de la empresa y sus funcionarios, optimizando el manejo de recursos hídricos y mejora de la eficiencia operativa para el manejo del sistema eléctrico.

La operación manual ha mostrado limitaciones, como retrasos en la respuesta a modificaciones en la circulación del agua debido a alteraciones en el caudal y turbidez del agua, lo que puede provocar pérdidas de energía debido al tiempo de limpieza de las rejillas principales y riesgos para la vida humana retrasando su operación.

Al realizar un diagnóstico para la implementación de un sistema automatizado en una compuerta principal no solo busca mejorar la eficiencia, sino también garantizar la seguridad y sostenibilidad del entorno.

Una gestión más efectiva del agua puede aumentar significativamente la capacidad de generación eléctrica para el aumento significativo del caudal en el embalse. Con este diseño se propone que la Automatización de la compuerta permitirá supervisión en tiempo real y un control más ágil, beneficiando tanto la producción de energía como la seguridad del personal de la empresa eléctrica en este caso el Guardian de Generación de la empresa al mejorar la eficiencia operativa, estableciendo un modelo de gestión que se puede aplicar a otras áreas, con esto con lleva también poner ya a la vista la automatización de las siguientes compuertas y fomentar una cultura de innovación y sostenibilidad. [6]

### **1.2. Objetivos del proyecto (beneficiarios):**

Diseño de la automatización de la compuerta en el sector de Bocacaz del Complejo Hidroeléctrico Machángara: Beneficios para grupos clave

El diseño de la automatización de la compuerta en el sector de Bocacaz del Complejo Hidroeléctrico Machángara impacta positivamente a diversos grupos clave:

#### **1. Personal Operativo**

La automatización de la compuerta facilita el trabajo del equipo técnico al reducir la dependencia de procesos manuales. Esto se traduce en una mayor eficiencia operativa y de mantenimiento, además de permitir una detección más rápida de fallas potenciales en el proyecto. A largo plazo, esto optimiza el trabajo del área operativa y garantiza la sostenibilidad del proyecto.

#### **2. Generación de Energía**

La automatización de la compuerta principal agiliza y optimiza la limpieza, permitiendo un desarenado más rápido y efectivo. Esto es crucial para mantener la eficiencia de los

generadores y asegurar la continuidad en la generación de energía, evitando interrupciones y maximizando el rendimiento del Complejo Hidroeléctrico.

### **3. Población**

Este proyecto garantiza la calidad del agua que se distribuye para el consumo humano. Al reducir la cantidad de sedimentos en el agua que ingresa a la planta de Tixan (y posteriormente a la red de consumo), se asegura un tratamiento más eficiente y se salvaguarda la salud de la población. Adicionalmente, los sedimentos extraídos pueden ser tratados y reutilizados como abonos naturales, generando un beneficio adicional para la comunidad.

### **4. Medio Ambiente**

La automatización de la compuerta juega un papel fundamental en la conservación del medio ambiente. Permite un control más preciso del flujo de agua y la gestión de sedimentos, minimizando el impacto en el ecosistema circundante y previniendo alteraciones que puedan dañar la flora y fauna local.

#### **Delimitación del problema:**

Analizando el problema energético que se encuentra el país se puede aportar con ideas para ayudar en la producción de energía, a su vez en el sector de Bocacaz del Complejo Eléctrico Machángara se puede analizar una automatización de una compuerta para el rápido alivio y limpieza de sedimentos de ingreso de agua para así no afectar en la generación de energía eléctrica, en los generadores y mantener la disponibilidad de las unidades.

#### **1.2.2 Objetivos Generales y Específicos.**

##### **Objetivo General.**

En el diagnóstico y diseño de la compuerta principal de Agua hacia al canal podremos observar la factibilidad y los beneficios que estos no ayudarán a futuro para un buen uso del tiempo de desarenado de las compuertas de agua en el sector Bocacaz del Complejo Hidroeléctrico Machángara, con el fin de optimizar la generación de energía eléctrica, mejorar la eficiencia operativa y garantizar un control más preciso del caudal de agua.

##### **Objetivos específicos.**

**Realizar un diagnóstico del sistema actual:** Analizar el funcionamiento actual de las compuertas operadas manualmente en el sector Bocacaz, identificando sus limitaciones y áreas con potencial de mejorar y verificar las partes de las compuertas.

**Investigar sistemas de automatización disponibles:** Explorar las formas de automatización de compuertas de agua, evaluando su compatibilidad con las necesidades de generación eléctrica investigando de la misma manera como implementar en la compuerta de bocacaz.

**Diseñar una propuesta de automatización:** Al proponer el proyecto de Automatizar la compuerta se puede alcanzar beneficios de eficiencia y manejo de la misma por parte del

personal de turno y por ende mantener operativa la central de generación que se encuentra aguas abajo.

### **1.3 Alcance del Proyecto**

El proyecto busca mejorar la eficiencia y operatividad de la compuerta para mejorar los tiempos de limpieza, desarenado y proteger las turbinas con el menor ingreso de sedimentos posibles, dando haci el inicio del automatizado de compuertas en este sector, fomentando su buen uso y su excelente operación ayudando con los mantenimientos preventivos y correctivos ya sea del canal o de sus compuertas laterales reduciendo el tiempo de apertura y cerrado de la compuerta mejorando la continuidad de la generación de energía en los generadores de energía eléctrica.

- Mayor eficiencia en el flujo de agua y control de sedimentos.
- Reducción de intervención manual, mejorando tiempos de apertura y cierre.
- Mejora en la seguridad operativa verificando la posición de la misma.

### **1.4. Justificación de la Automatización**

Este proyecto se empleó en el bajo rendimiento operativo de la compuerta, viendo pérdidas de tiempo en su apertura y cierre, el constante peligro del personal a altas horas de la noche, su operación Manual en momentos críticos de caudales altos de los ríos causando pérdidas de tiempo de generación al menorar la carga de energía para su respectiva limpieza. Analizando el problema energético que se encuentra el país se puede aportar con ideas para ayudar en la producción de energía, a su vez en el sector de Bocacaz del Complejo Eléctrico Machángara se puede analizar una automatización de una compuerta para el rápido alivio y limpieza de sedimentos de ingreso de agua para así no afectar en la generación de energía eléctrica, en los generadores y mantener la disponibilidad de las unidades.

## **CAPITULO 2.**

### **2.1. Descripción General del Sistema Actual**

En el inicio de este proyecto se procedió a verificar el estado en el que se encuentra la compuerta diagnosticando las diferentes formas de automatización en el sitio se pudo observar las carencias del sistema actual sus problemas y en base a estas problemas malos y buenos podemos realizar la propuesta de automatización para consigo tener una mejora donde no solo la empresa tenga beneficio si no otras partes interesadas Este diagnóstico es fundamental para comprender el contexto en el que se encuentra el sistema y para establecer una base sólida para futuras mejoras o implementaciones en el complejo este modelo se puede replicar en compuertas que tengan similares características al haber otras compuertas con otras características se puede tomar el procedimiento y adaptar con nuevos actuadores pero con referencias de la compuerta que ya se encontraría automatizada y este ayudaría en mucho al beneficio de la empresa.

#### **2.1.3 Componentes del Sistema Actual**

- Descripción detallada de cada componente:
  - **Compuerta:**

- Tipo de compuerta es vertical con un eje sin fin.
- Material de construcción es piedra con material cemento o mortero y sus dimensiones tiene de alto 1.68 y de ancho 2.18 .
- Su Mecanismo de accionamiento está basada en una palanca para abrir o cerrar la compuerta de forma manual
- Estado actual y mantenimiento gracias a los mantenimientos preventivos y correctivos
- Estado de la compuerta esta aceptable y eficiencia del sistema.
- **Instrumentación:**
  - Posee un eje vertical el cual tiene un pin con chaveta el cual ingresa la palanca y hace que gire la compuerta.
- **Otros componentes:**
  - Estructuras de soporte de la compuerta.
  - Sellos de fabricación y de activo de la empresa.



*Figura 1 Seguridad de la compuerta anclado al muro de sujeción*



*Figura 2 Código de la compuerta y activo fijo de la empresa*

#### **2.1.4 Problemática del Sistema Actual**

- Identificar y describir los problemas y limitaciones del sistema actual:
  - **Operación manual:**
    - Dependencia de operadores.
    - Tiempo de respuesta lento.
    - Posibilidad de errores humanos.
    - Dificultad para mantener niveles de agua precisos.
  - **Falta de automatización:**
    - Imposibilidad de control remoto.
    - Limitación en la optimización del uso del agua.
    - Dificultad para integrar la compuerta con otros sistemas.
  - **Mantenimiento:**
    - Frecuencia de mantenimiento por ser una compuerta que actúa en momentos críticos.
    - Disponibilidad de repuestos.
  - **Seguridad:**
    - Riesgos para los operadores.
    - Seguridad de la infraestructura.
  - **Otros problemas:**
    - Ineficiencia del sistema encargando de abrir y cerrar compuerta.
    - Obstrucciones y sedimentación.

#### **2.1.5 beneficios de la Automatización**

- Beneficios esperados de la automatización:
  - Mejora de la eficiencia en la gestión del agua.
  - Mayor precisión en el control del caudal.
  - Reducción de costos operativos y de mantenimiento.
  - Mayor seguridad para el personal y la infraestructura.

- Integración con otros sistemas de control.

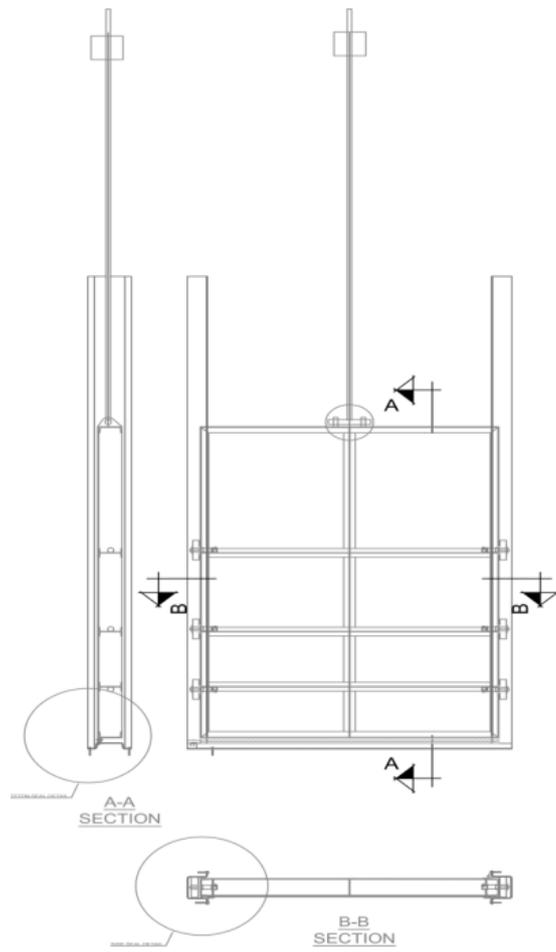
## **2.2. Análisis de Problemas Existentes**

En el diagnóstico del sistema actual se puede observar diversas deficiencias que afectan su eficiencia, operatividad y seguridad.

En el sistema actual verificando la apertura y cierre manual de la compuerta hay una principal deficiencia como el retraso en situaciones de emergencia trabajos programados preventivos y de uso diario por el largo tiempo en cierre y apertura se acorta la generación y se daña los tiempos



*Figura 3 Crecimiento del río y estudio para mejorar su condición con la automatización*



*Figura 4 Sección de compuerta [11]*



*Figura 5 Compuerta que se realiza estudio para su automatización*

### **2.3 Evaluación de la Eficiencia del Sistema Actual**

Se analizan el rendimiento, fiabilidad, escalabilidad e impacto económico del sistema actual:

La elección final fue en el Actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2 debido a su capacidad para adaptarse a las necesidades de la empresa para acoplarse en el sistema actual ahorrando costos de una nueva compuerta

Compatibilidad con protocolo de comunicación: Uso de protocolo, como Modbus que facilita la integración entre PLC Samsung S7 1200.

La antena que se utiliza para la comunica de Modbus con radio frecuencia Mikro Tik: Dispone de antenas direccionales para diferentes aplicaciones, incluyendo enlaces punto a punto y cobertura de áreas específicas.

La compuerta que se encuentra instalada con su fin carrera se utilizara las mismas ya que buscando el actuador es referente con las mismas características.

Utilizamos a su vez también sensores de nivel, potenciómetro, sensores de posición que nos ayudan en el sistema para que en el sistema scada verifica

Eficiencia energética: Optimiza la maniobra para la operación del sistema de compuerta porque minimiza el tiempo de su operación. [1]

## CAPITULO 3.

### 3.1 Tipos de sistemas de automatización para compuertas

La automatización de compuertas juega un papel crucial en aplicaciones relacionadas con la gestión de recursos hídricos, como la generación de energía hidroeléctrica, el control de inundaciones y la distribución de agua. Este capítulo aborda los principales tipos de sistemas de automatización aplicables a compuertas, considerando aspectos como control, comunicación, monitoreo y confiabilidad. [7]

### 3.2 Clasificación de los sistemas de automatización

Los sistemas de automatización para compuertas pueden clasificarse según su nivel de automatización, tecnología empleada y la arquitectura de control utilizada. Entre los más comunes se destacan: control automático y manual[1]

#### 3.2.1 Sistemas de control manual

En este tipo de sistemas, la operación de la compuerta depende directamente de la intervención humana. Por lo general, el operario acciona mecanismos físicos o eléctricos para abrir y cerrar las compuertas. Aunque son económicos y simples, tienen limitaciones en términos de eficiencia y precisión en situaciones que requieren respuestas rápidas.

#### 3.2.2 Sistemas de control automático

Estos sistemas emplean sensores, actuadores y controladores para realizar el monitoreo y control automático de las compuertas. Pueden subdividirse en:

- **Control en lazo abierto:** El sistema sigue un conjunto predefinido de comandos sin retroalimentación directa del estado real de la compuerta o del flujo de agua.
- **Control en lazo cerrado:** Incluyen sensores para medir variables clave, como el nivel del agua, el caudal o la presión, lo que permite ajustar automáticamente la posición de la compuerta para alcanzar el objetivo deseado. [1]

#### 3.2.3 Sistemas de supervisión y control (SCADA)

Un SCADA se utiliza para supervisar y controlar las compuertas a nivel centralizado. Estos sistemas integran datos en tiempo real desde sensores remotos y proporcionan

visualización gráfica, históricos y alarmas, lo que facilita la toma de decisiones operativas y de mantenimiento. Los principales componentes de un sistema SCADA incluyen: [8]

- Controladores (PLC/RTU)
- Interfaz Hombre-Máquina (HMI)
- Redes de comunicación
- Software de supervisión

### 3.3 Tecnologías emergentes en la automatización de compuertas

La incorporación de nuevas tecnologías está transformando la operación de compuertas automáticas:

- **Internet de las Cosas (IoT):** Sensores inteligentes conectados permiten recopilar y analizar datos en tiempo real, optimizando la gestión de recursos hídricos.
- **Sistemas basados en Inteligencia Artificial (IA):** Permiten realizar predicciones sobre flujos de agua y gestionar las compuertas de manera óptima bajo condiciones variables.
- **Energías renovables y autosuficiencia energética:** Algunas compuertas automatizadas funcionan con energía solar o eólica, reduciendo su dependencia de la red eléctrica. [1]

### 3.4 Comparación de los sistemas de automatización

A continuación, se presentan las principales diferencias entre los sistemas mencionados, considerando parámetros como:

- **Nivel de automatización**
- **Costo de implementación y mantenimiento**
- **Confiabilidad**
- **Escalabilidad**

Sistema	Nivel de Automatización	Costo	Confiabilidad	Aplicación Ideal
Manual	Baja	Bajo	Baja	Operaciones básicas
Automático	Media	Moderado	Alta	Gestión eficiente del flujo
SCADA	Alta	Alto	Muy Alta	Supervisión remota avanzada

### 3.5 Sistema investigado para la implementación del sistema

#### 3.5.1 Descripción del sistema actual

El sistema actual consiste en un eje vertical de acero inoxidable sujeto a una compuerta lateral también de acero inoxidable la cual están en una base de acero que se encuentra

incrustada en un muro de piedras fijas a una montaña y a base de suelo macizo. Este sistema incluye el eje principal que ya se encuentra ya diseñado para integrar un actuador con un motor para su operación inmediata y opera de manera Manual en el que el operador de Saucay se encuentra expuesto a muchos peligros por el clima y la situación que se presenta como es altas horas de la noche. Sin embargo, enfrenta limitaciones como la energía la comunicación hacia la central. [9]

### 3.5.2 Análisis de funcionalidad y limitaciones

Se realizó un análisis detallado para evaluar las capacidades del sistema actual, identificando lo siguiente:

- **Funcionalidad principal:** El sistema cumple el beneficio de enviar al río agua controlando su caudal y reservando agua para la generación de energía también teniendo una conservación ambiental y un gran desempeño en la generación.
- **Limitaciones:** Al verificar el sistema actual primero se verifica la posición del operador de las compuertas que al crecer el río tiene que estar a altas horas de la noche para realizar maniobras en la compuerta y al realizar dichas maniobras se observa que se pierde tiempo de generación por la tardanza de alzar la compuerta y luego ingresar nueva mente agua en este caso se puede observar que este procedimiento es repetitivo, más en épocas de lluvia también se pierde tiempo de generación por que la maniobra al ser manual toma tiempo abrir o cerrar la compuerta o en un caso de emergente tomaría tiempo ir al lugar de la compuerta para realizar esta maniobra.

Estas limitaciones justifican la necesidad de implementar una solución automatizada.

#### 3.5.2.1 Actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2

En lo referente a mi proyecto y la investigación que pude realizar e encontrado este actuador que viéndolo apto para la automatización de la compuerta de bocacaz se adapta a la necesidad que tiene la empresa y se puede emplear para la automatización de la compuerta y a si ser un referente para la automatización de próximas compuertas de este complejo hidroeléctrico.

Las compuertas son elementos utilizados en las obras hidráulicas para asegurar el control de un flujo de líquidos, obturando el paso de estos, tanto en un sentido con en ambos sentidos. [3]

Éstas se clasifican en dos grandes grupos:

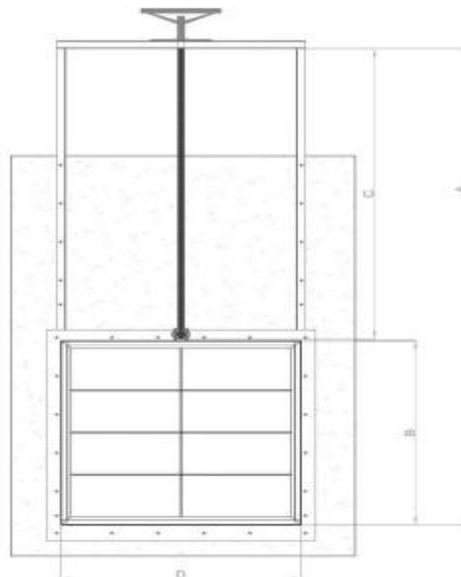
- Compuertas de Superficie o compuertas Canal, están diseñada para que el agua no supere la altura de su tablero, presentando una estanqueidad a tres caras, dos laterales e inferior. [10]
- Compuertas en Carga o compuertas Murales, están diseñada para que la altura del agua supera ampliamente a la del tablero, tenido siempre la característica de una estanqueidad sus 4 caras. [10]

La estanqueidad de las compuertas puede ser simple, cuando la circulación del agua es en un solo sentido, bien sea hacia aguas abajo o hacia aguas arriba, o doble, cuando la circulación del agua se interrumpe en los dos sentidos. [11]

La construcción estándar se realiza en chapa y perfiles de acero unidos por soldadura con una construcción monobloque, las guías laterales, inferior y superior se fabrica con chapa plegada, asociando marco, tablero y órgano de maniobra, la que la estanqueidad se logra mediante una junta de neopreno, siendo esta según las dimensiones de la compuerta de junta plana o perfil especial "nota musical", la cual desliza sobre el interior de las guías que suelen ser de acero inoxidable, pudiendo ser estas fijas o intercambiables. [11]

La protección contra la corrosión en el caso de que la compuerta sea en acero al carbono se realiza mediante un granallado GADO SA 2 ½, seguida de una capa de imprimación Epoxi y de acabado con pintura Vitrosin. Las compuertas pueden construirse en acero inoxidable, dúplex y súper dúplex. [11]

La compuerta Mural en mi Diagnostico hace referencia a la compuerta que se quiere automatizar, esta se caracteriza por su cierre a cuatro aristas, donde el nivel de agua siempre está muy por encima de la parte superior del tablero, alcanzando hasta 5 m., incluso en algunos casos superando esta presión. [11]



*Figura 6 Sección de Compuerta [11]*

***Equipo motorreductor y elementos de elevación:***

Se procederá a la colocación del grupo reductor, motorreductor o sistema hidráulico según solicitado, en su placa de asiento, colocado el eje de distribución con sus correspondientes piñones, comprobando su correcta posición y procediendo a la colocación de chavetas de fijación de los elementos, posteriormente se procederá a la comprobación de los niveles

de aceites del motorreductor, siendo el aceites utilizados aceites sintéticos de VG-220, VG-320 o VG-460 según las condiciones de funcionamiento [11]

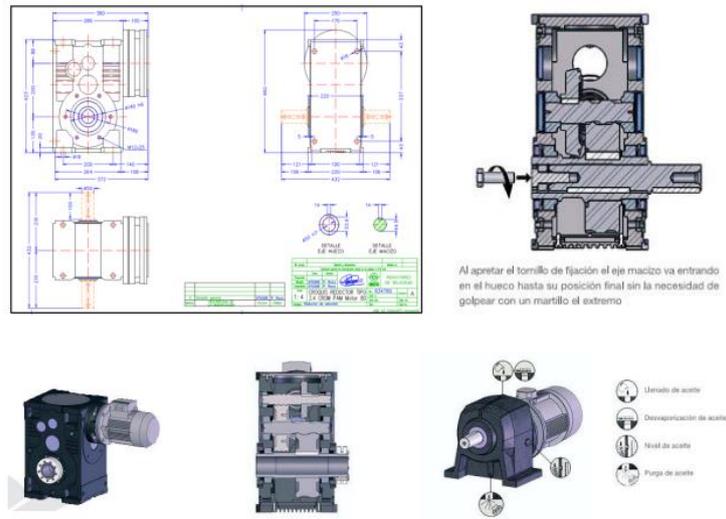


Figura 7 Elementos de elevación [11]

### Elementos eléctricos y de control:

Si el equipo está equipado de elementos eléctricos, se realizará la instalación eléctrica correspondiente para el funcionamiento de los equipos, comprobando que no estén conectados al suministro eléctrico, se instalará los finales de carrera y los elementos de control de altura de los tableros, asegurándonos de su correcta situación y fijación. [6]

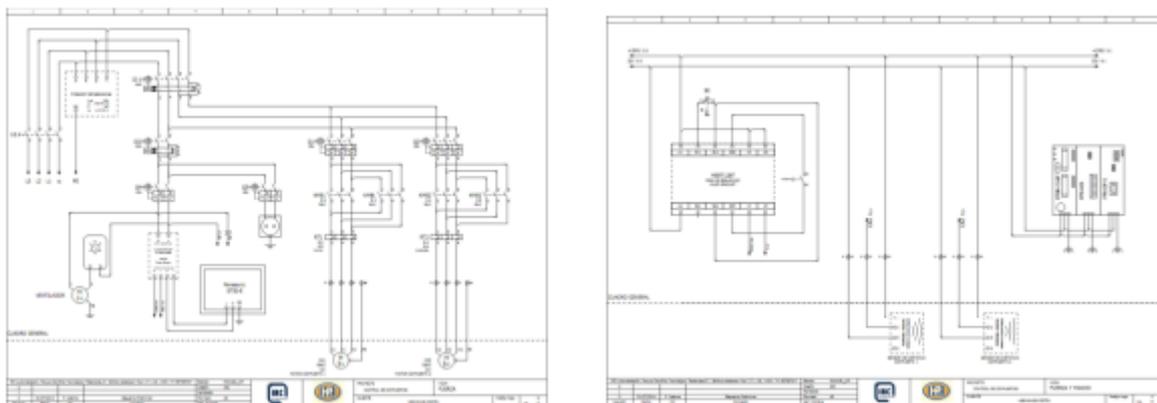


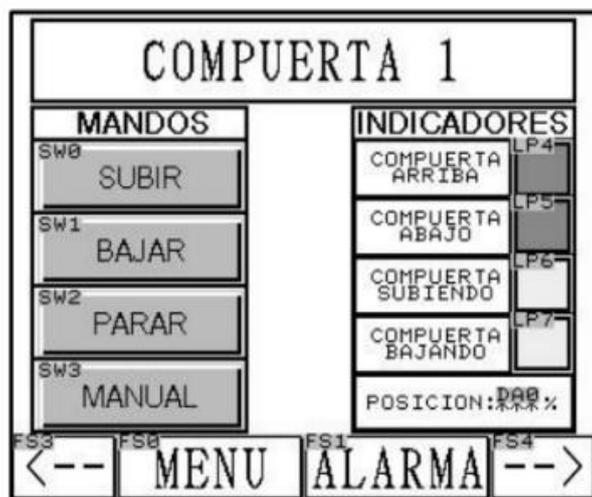
Figura 8 Diagrama eléctrico [11]

Se colocará el cuadro de mando y control en su situación final para un correcto acceso al mismo, realizando por personal calificado la conexión de los diferentes elementos a controlar. Una vez realizadas todas las conexiones, se procederá a la comprobación del correcto funcionamiento de la compuerta, comprobando que tanto la subida como la

bajada del tablero será el correcto, así como su velocidad, teniendo máxima atención a los posibles rozamientos o atascos indeseados del tablero, ruedas y juntas. Se procederá a la comprobación del funcionamiento de los finales de carrera, comprobando la parada del tablero tanto en su parte superior como inferior y verificando que no existen excesos de sobrecargas o esfuerzos tanto en el cierre como en la apertura de la compuerta. [6]

**Comprobación del funcionamiento del cuadro de mando:**

Si el equipo suministrado cuenta con automatización de las maniobras, entonces tras comprobar el funcionamiento correcto de la subida, bajada del tablero y parada del mismo, procederemos a la comprobación del cuadro de mando, comprobando los indicadores del nivel de subida o bajada del tablero, así como la velocidad del mismo, también se comprobara el correcto funcionamiento del botón de parada de emergencia, además se comprobara el resto de funciones del cuadro de mando especificadas en el documento “Manual de Usuario Control de Compuertas”. [11]



*Figura 9 Indicadores de control [11]*

En el diseño de automatización de compuertas es esencial para el control eficiente de flujos hídricos. Se basa en el uso de tecnologías de control, sensores y actuadores que permiten la operación remota y el monitoreo constante de estas estructuras.

La automatización es el uso de la tecnología para realizar tareas con muy poca intervención humana.

En este caso el diagnóstico, diseño de la compuerta automatizada que se emplee será una gran gestión para futuros trabajos en otras compuertas de este complejo hidroeléctrico [11]

A continuación, en la figura 6 se puede observar la parte frontal de la compuerta su forma, como y donde está ubicada para tomar datos y ver donde se colocará el actuador.

En la figura 7 podemos observar la parte alta de la compuerta donde se instalará el actuador y como está ubicado el eje de la compuerta. [11]



Figura 11 Compuerta parte alta eje



Figura 10 Compuerta parte frontal

El equipo que puede ser recomendado es:

**Actuadores multivuelta SA 07.2 – SA 16.2 SAR 07.2 – SAR 16.2 con control de actuador AUMA MATIC AM 01.1/AM 02.1 [12]**

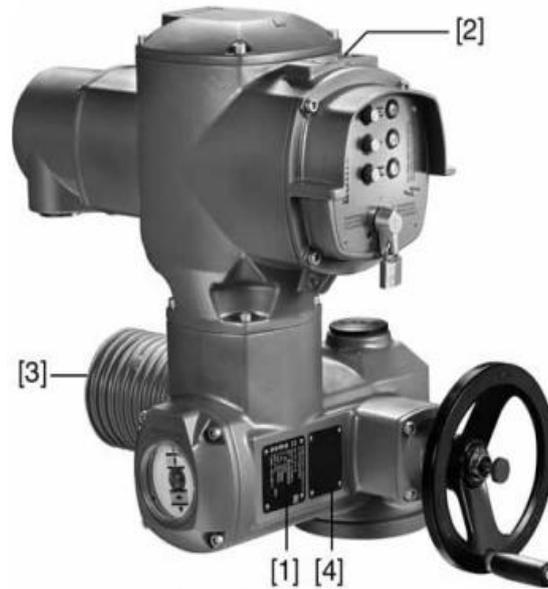
Al realizar una búsqueda de que actuador sería el correcto se identificó el actuador AUMA SA07.2 juntos a la programación del SA16.2 que su control se asemeja y también que cumplen con el objetivo de la realizar el levantamiento y cierre de la compuerta. [12]

## 2. Identificación

### 2.1 Placa de características

Cada componente del aparato (actuador, control, motor) tiene una placa de características.

Figura 1: Disposición de las placas de características



- [1] Placa de características del actuador
- [2] Placa de características del control
- [3] Placa de características del motor
- [4] Placa adicional, p. ej., placa KKS

Figura 12 Actuador AUMA Matic AM 01.1/AM 02.1 [11]

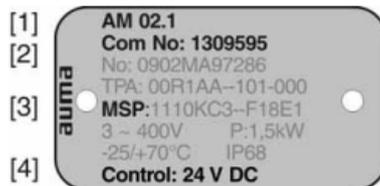
**Datos para la identificación**

Figura 2: Placa de características del actuador



- [1] Tipo y tamaño del actuador
- [2] Numero de comisión

Figura 3: Placa de características del control



- [1] Tipo y tamaño del control
- [2] Numero de comisión
- [3] Diagrama de cableado
- [4] Control

**Tipo y tamaño**

Estas instrucciones tienen validez para los siguientes aparatos:

Actuadores multivoltas para servicio todo-nada: SA 07.2, 07.6, 10.2, 14.2, 14.6, 16.2

Actuadores multivoltas para servicio de regulación: SAR 07.2, 07.6, 10.2, 14.2, 14.6, 16.2

Figura 13 Placa del actuador [12]

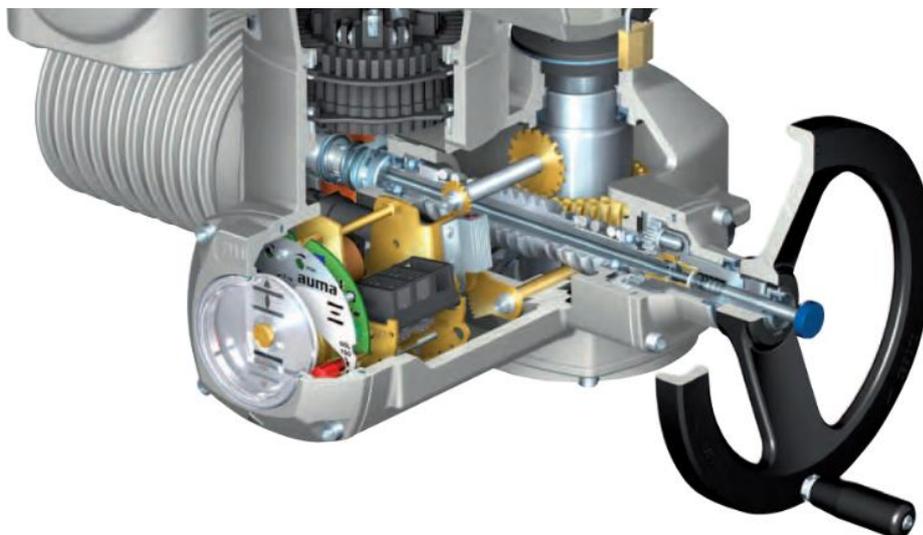


Figura 14 Esquema mecánico de actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2 [12]



**auma**<sup>®</sup>

SA 07.2 – SA 16.2

AC 01.2

AUMATIC

*Figura 15 Esquema electrónico y eléctrico del actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2 [12]*

### 3.5.3 Componentes evaluados

Durante la investigación, se estudiaron componentes que podrían ser fundamentales para el sistema automatizado:

#### 1. Circuitos de control

- **Circuito con relés:**  
Uso de relés electromecánicos para manejar cargas simples o como respaldo en caso de fallas de los PLC.
- **Circuito basado en PLC:**  
Ideal para la automatización avanzada. Puede programarse para realizar secuencias lógicas complejas, como abrir/cerrar compuertas bajo condiciones específicas. Ejemplo: Siemens S7-1200

El **Siemens S7-1200** es un **PLC compacto y modular** diseñado para tareas de automatización industrial de pequeña y mediana escala. Ofrece funciones avanzadas de control, como lógica secuencial, manejo de señales digitales y analógicas, y conectividad integrada a través de protocolos de comunicación como **Profinet** y **Modbus TCP/IP**. Su diseño flexible permite adaptarse fácilmente a diferentes aplicaciones gracias a sus módulos de expansión, como entradas/salidas adicionales, interfaces de comunicación y funciones tecnológicas. Es ampliamente reconocido por su fiabilidad, facilidad de programación en el entorno **TIA Portal**, y cumplimiento con estándares industriales modernos. [13]

- **Circuito de control por microcontroladores:**  
Alternativa económica al PLC si el sistema no es demasiado complejo. Ejemplo: Raspberry Pi.

La **Raspberry Pi** es una computadora de placa reducida (SBC, por sus siglas en inglés) diseñada para ofrecer una solución potente y económica para proyectos de electrónica, automatización y computación general. Integra un procesador,

memoria RAM y opciones de conectividad (GPIO, HDMI, USB, Ethernet, Wi-Fi y Bluetooth en modelos avanzados), lo que la hace versátil para diversas aplicaciones.

Es ideal para **prototipado, automatización**, y proyectos que requieran mayor capacidad de procesamiento en comparación con microcontroladores como Arduino. Funciona con sistemas operativos basados en Linux (como Raspberry Pi OS), lo que permite ejecutar software avanzado, incluidos sistemas SCADA livianos, análisis de datos, o control en tiempo real con integración de cámaras y sensores. Aunque no es nativamente industrial, puede adaptarse a entornos específicos con los accesorios adecuados. [14]

#### **Características principales:**

- **Control de velocidad:** Ajustan la velocidad del motor según las necesidades del sistema, lo que mejora la eficiencia energética.
- **Protección del motor:** Incluyen funciones para prevenir sobrecargas, sobretensiones y fallos de energía.
- **Arranque y frenado suave:** Reducen el estrés mecánico y eléctrico en el motor y los componentes conectados.
- **Compatibilidad:** Usados con motores trifásicos en aplicaciones industriales. [15]

#### **Ventajas en automatización:**

- Mayor durabilidad del sistema al evitar golpes mecánicos.
- Flexibilidad en procesos que requieren cambios dinámicos en la velocidad o el torque. [15]

### **3.5.4 Circuitos de censado**

Permiten medir las variables del sistema para tomar decisiones automatizadas.

- **Circuito de sensores de nivel:**  
Para medir el nivel de agua en el embalse. Siemens SITRANS LU240)

El **Siemens SITRANS LU240** es un **sensor ultrasónico de nivel** diseñado para medir niveles de líquidos, lodos o materiales granulados en tanques y canales abiertos. Funciona midiendo el tiempo que tarda un pulso ultrasónico en viajar desde el sensor hasta la superficie del material y regresar. [16]

#### **Características principales:**

- **Medición sin contacto:** Ideal para materiales corrosivos, abrasivos o higiénicos.
- **Rango de medición:** Hasta 12 metros (dependiendo de las condiciones).
- **Protocolos de comunicación:** Compatible con HART y Modbus, facilitando la integración en sistemas de control y monitoreo. Cabe recalcar que la comunicación la realizaremos mediante modbus tcp/ip
- **Diseño robusto:** Construcción resistente para operar en entornos industriales adversos.

**Compensación de temperatura:** Garantiza lecturas precisas incluso con cambios térmicos. [16]

#### **Aplicaciones comunes:**

Monitoreo de niveles en tanques de agua, químicos o combustibles.

Medición de caudal en canales abiertos mediante la estimación del nivel de líquido.

Integración en sistemas SCADA y PLC para control automatizado. [16]

- **Circuitos de caudalímetros:**  
Sensor de flujo, como electromagnéticos o tipo Venturi, para calcular la cantidad de agua que fluye.
- **Circuitos de sensores de presión:**  
Para detectar la presión del agua en tuberías o compuertas. Sensores industriales comunes incluyen modelos de WIKA o Honeywell.
- **Circuito de sensores de posición:**  
Indican si las compuertas están abiertas, cerradas o en una posición intermedia. Utilizan sensores de proximidad, como inductivos o capacitivos.

#### **4. Circuitos de comunicación**

Facilitan la transmisión de datos entre los componentes del sistema:

- **Modbus RTU o TCP/IP:**  
Para la comunicación entre PLCs y software HMI. Muy usado por su simplicidad y estándar.
- **Ethernet/IP:**  
Opcional para sistemas más modernos con comunicación de alta velocidad.
- **Profibus / Profinet:**  
Común en sistemas industriales avanzados, especialmente con equipos Siemens.
- **Circuitos inalámbricos:**  
Usando Wi-Fi o Zigbee para transmitir datos en lugares remotos, evitando cableado extenso. [1]

#### **5. Circuitos de protección**

Garantizan la seguridad de los componentes y operadores:

- **Circuitos de protección contra sobretensiones:**  
Usan protectores de línea y varistores para proteger equipos sensibles.
- **Fusibles y disyuntores:**  
Para interrumpir el circuito en caso de cortocircuitos o sobrecargas.
- **Relés de seguridad:**  
Implementados para detener el sistema si hay condiciones inseguras.

##### **3.5.4.1 Comparación de posibles sistemas**

Se analizaron tres alternativas viables para la implementación del sistema automatizado:

## 1. Sistema A: Automatización básica con relés y contactores

El sistema utiliza un circuito simple compuesto por relés electromecánicos y contactores para el control de apertura y cierre de la compuerta. Los sensores envían señales a los relés para activar el actuador de la compuerta en función de la altura del agua. [4]

Ventajas:

- **Bajo costo:** Los componentes como relés y contactores son económicos y fáciles de adquirir.
- **Facilidad de implementación:** Ideal para sistemas sencillos sin muchas interacciones lógicas.
- **Confiabilidad:** Los relés funcionan bien en condiciones robustas y con pocas interrupciones. [1]

Inconvenientes:

- **Limitada flexibilidad:** No permite programar cambios en la lógica de control sin intervenir físicamente en los componentes.
- **Riesgo de desgaste:** Relés y contactores pueden fallar con el tiempo debido al uso continuo.
- **Escalabilidad reducida:** No es fácil de adaptar o ampliar. [1]

## Sistema B: Control basado en PLC (Sistema elegido)

El sistema emplea un PLC industrial, como el Siemens S7-1200, para recibir señales de sensores, ejecutar la lógica de control, y gestionar el actuador que regula la compuerta. También incluye comunicación con un HMI para monitoreo y control manual. [1]

Ventajas:

- **Alta fiabilidad:** Diseñado específicamente para entornos industriales.
- **Escalabilidad:** Fácil integración de nuevas funciones o dispositivos al sistema.
- **Cumplimiento normativo:** Compatible con estándares industriales, como ISA/IEC 62443.
- **Integración de protocolos:** Compatible con Modbus, Profinet y otros protocolos para comunicación con sensores, actuadores.

Inconvenientes:

- **Costo inicial más elevado:** Los PLC y componentes asociados tienen un precio mayor.
- **Requiere especialización:** Es necesario personal capacitado para programar y mantener el sistema.

### **3.5.5 Justificación del sistema elegido**

La elección final fue en el Actuador AUMA SA 07.2-SA 16.2 AC 01.2 debido a su capacidad para adaptarse a las necesidades de la empresa para acoplarse en el sistema actual ahorrando costos de una nueva compuerta

Compatibilidad con protocolo de comunicación: Uso de protocolo, como Modbus que facilita la integración entre PLC Samsung S7 1200.

La antena que se utiliza para la comunica de Modbus con radio frecuencia Mikro Tik: Dispone de antenas direccionales para diferentes aplicaciones, incluyendo enlaces punto a punto y cobertura de áreas específicas.

La compuerta que se encuentra instalada con su fin carrera se utilizara las mismas ya que buscando el actuador es referente con las mismas características.

Utilizamos a su vez también sensores de nivel, potenciómetro, sensores de posición que nos ayudan en el sistema para que en el sistema scada verifica

Eficiencia energética: Optimiza la maniobra para la operación del sistema de compuerta porque minimiza el tiempo de su operación.

## **CAPITULO 4.**

### **4.1Diseño del sistema de automatización.**

En este capítulo se describe el proceso de diseño del sistema de automatización para la compuerta de ingreso de agua destinada a la generación de energía eléctrica. Se detallan los componentes seleccionados, la arquitectura del sistema, y el desarrollo de la lógica de control, justificando cada elección en base a las necesidades del proyecto.

### **4.2 Objetivos del diseño**

- Diseñar un sistema robusto y confiable que permita la operación eficiente y segura de la compuerta.
- Garantizar la integración con sensores y actuadores mediante protocolos de comunicación estándares.
- Cumplir con los requisitos de escalabilidad y sostenibilidad.
- Proveer capacidades de monitoreo y control remoto para una gestión eficiente.

#### **4.2.1Especificaciones técnicas.**

- **Mecanismo de transmisión de movimiento:**  
Se instalará 1 o 2 vástagos por compuerta dependiendo de los cálculos realizados, construido como requerimiento mínimo en acero inoxidable.

- **Mecanismo multiplicador de torque:**

Cajas de engranes tipo multivuelta del mismo fabricante del actuador. El eje de transmisión o "matrimonio" entre el actuador y las 2 cajas de engranes debe ser acorde a las medidas de la compuerta (este eje de transmisión puede ser propio o no del fabricante del actuador).

- Las cajas de engranes multivuelta estarán acopladas a los vástagos de las compuertas ascendentes mediante acoplamientos tipo "A".
- El material de fabricación del acoplamiento deberá ser de bronce, el cual se encontrará dentro de un alojamiento encapsulado, operando en conjunto con rodamientos axiales tipo aguja pre-lubricados con mecanismos amortiguadores, además, el alojamiento deberá contar con un dispositivo para lubricación.
- Las cajas de engranes deberán incluir protectores de vástago, del material más adecuado según las condiciones operativas.

**b. Equipamiento eléctrico Actuadores eléctricos:**

- La selección de los actuadores eléctricos para las compuertas deberá realizarse calculando el torque necesario para la operación de estos mecanismos, en función de cada instalación, considerando el máximo esfuerzo requerido cuando se opera a la máxima columna de agua de cada sistema. Además, los sistemas de accionamiento deberán considerar factores de seguridad apropiados recomendados por los fabricantes respectivos y normativas vigentes.
- Voltaje de Alimentación: 220V, 60 Hz, 3 fases.
- Los actuadores eléctricos deben trabajar con tensión y frecuencia de la red sin que esto afecte su operación normal.
- El selector local-off-remoto, deberá contar con la opción de bloqueo con candado en cualquiera de sus posiciones para limitar el acceso a personal no autorizado.
- Los actuadores eléctricos deberán contar con un indicador de posición mecánico, con simbología para las posiciones finales abierto/cerrado, para cuando se tenga que operar la compuerta manualmente en caso de ausencia de suministro eléctrico.
- Los actuadores eléctricos deberán suministrarse con el alojamiento interno para los engranajes pre-lubricado en fábrica. El lubricante utilizado deberá ser una grasa de alta calidad, adecuada para operar a la temperatura requerida por la aplicación, no se acepta aceite como lubricante.
- Los actuadores eléctricos deben tener capacidad de soportar vibraciones y sismos de acuerdo con las normas.
- Los actuadores eléctricos deberán tener una fabricación modular, que facilite la interconexión de sus componentes de control de manera sencilla mediante una conexión de enchufe, lo cual permite rápidas intervenciones en casos de que se requiera su reemplazo.
- Los actuadores deberán tener la capacidad de ser montados en cualquier posición, sin que esto afecte el contacto del lubricante con sus engranajes internos.
- Las conexiones del suministro eléctrico y de las señales de control se realizarán a través de un tapón tipo enchufe, el cual se podrá retirar del control del actuador sin necesidad de realizar ninguna desconexión del cableado.

- Los actuadores eléctricos deberán contar con placas de identificación con número de serie y otras informaciones relevantes, como son: Torque, RPM, valores de voltajes exteriores, número de diagrama de cableado y terminales, etc.
- Todos los actuadores eléctricos deberán tener volantes para su operación manual, este dispositivo deberá entrar en funcionamiento con el mecanismo accionado por un botón, pestillo u otro similar. La operación manual se desacoplará automáticamente cuando el motor entre en funcionamiento.
- **C. Equipamiento electrónico - control**  
Los controles de las compuertas serán integrados al sistema SCADA existente en coordinación con la empresa.
- **Señales de control:**  
Los motores eléctricos de los actuadores deberán ser para servicio de operación ON/OFF y POSICIONANTES, deberán incluir aislamiento clase F totalmente aislado y protegido térmicamente con un switch térmico.
- Deberá contar como mínimo, 4 entradas digitales de 24VDC que admitirá señales de apertura, cierre, paro, emergencia y con 5 salidas digitales a 1A, y 1 salida digital a 5A para la obtención de la siguiente información: compuerta abierta, compuerta cerrada, selector en local, selector en remoto, falla general y actuador listo.
- Los actuadores eléctricos deberán contar con 2 salidas analógicas de 4-20 mA para posición y torque para el monitoreo en el sistema SCADA.
- Los actuadores eléctricos deberán contar con control local, para la selección el modo de operación local-remoto mediante selectores o similares, y la operación local deberá realizarse mediante botones abrir-parar-cerrar.

### 4.3 Arquitectura del sistema

#### 4.3.1 Descripción general

El sistema de automatización se basa en una arquitectura jerárquica que integra los siguientes niveles:

- **Nivel de campo:** Incluye sensores y actuadores que interactúan directamente con la compuerta.
- **Nivel de control:** Se implementa mediante un PLC, que centraliza el procesamiento de las señales y la ejecución de la lógica de control.
- **Nivel de supervisión:** Conformado por un HMI para el monitoreo y control remoto.

#### 4.3.2 Componentes principales

- **PLC:** Siemens S7-1200, seleccionado por su flexibilidad, compatibilidad con protocolos como Modbus y Profinet, y su robustez industrial.
- **Sensores:**
  - **Sensor de nivel:** Siemens SITRANS LU240, para monitorear la altura del agua.
  - **Sensores de posición:** Sensores inductivos para detectar la apertura/cierre de la compuerta.

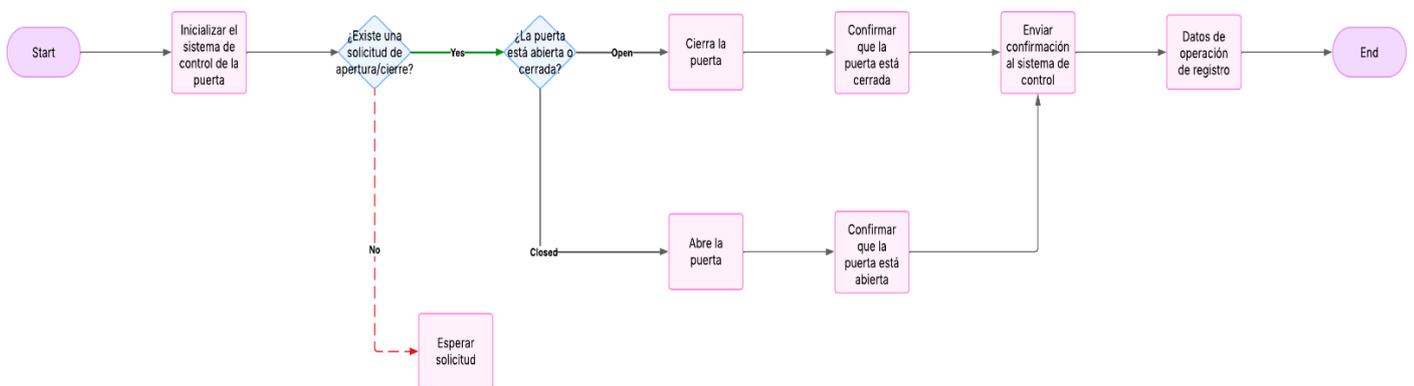
- **Sensor de caudal:** Caudalímetro electromagnético para medir el flujo de agua.
- **HMI:** Panel táctil con integración a TIA Portal para visualización y ajustes.

#### 4.4 Diagrama de flujo de operación

Se describe el flujo de operación desde la detección del nivel de agua hasta la actuación sobre la compuerta:

1. Los sensores envían datos al PLC.
2. El PLC procesa las señales y determina si se requiere acción sobre la compuerta.
3. En caso positivo, el PLC activa el actuador para abrir o cerrar la compuerta según las condiciones predefinidas.
4. El estado de la compuerta y las variables monitoreadas se visualizan en tiempo real en el HMI.

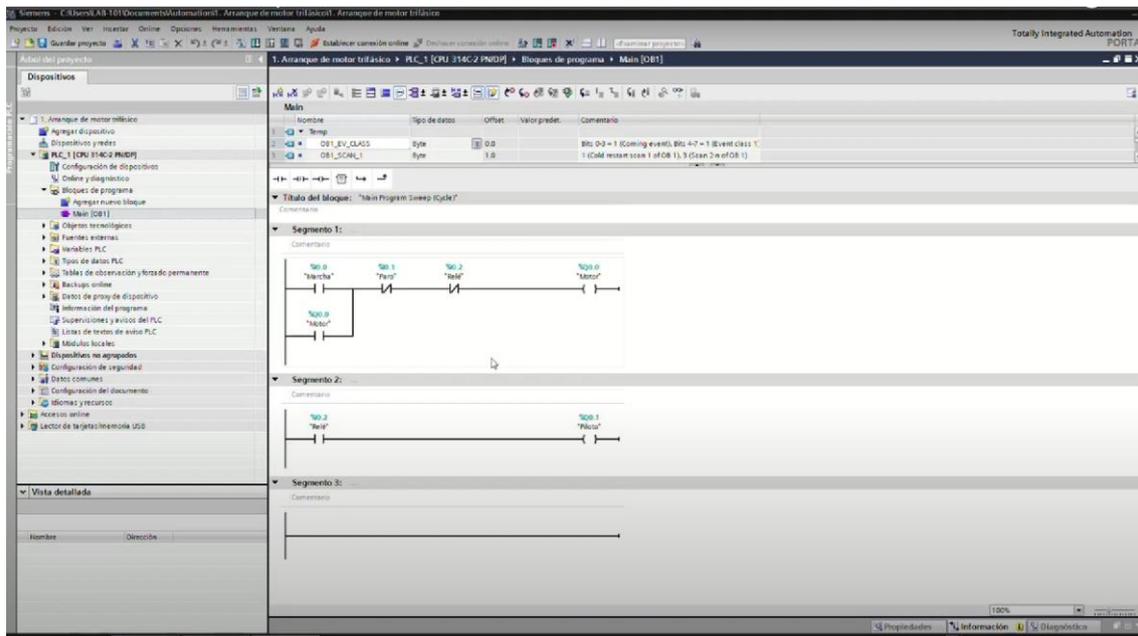
Figura 16 Diagrama de Flujo [1]



##### 4.4.1 Algoritmo de control

###### Programa en Tía portal:

Se a simulado un ejemplo de conexión en el programa de tía portal cabe recalcar que esta es una simulación y que nos regiremos al software que utilice la empresa y que la adaptación se encargaría la empresa ya que por normas de la empresa no nos pudieron ayudar con esta información.



## Análisis de los segmentos:

- **Segmento 1:**

- **"Start" (I0.0):** Este contacto representa el pulsador de arranque del motor. Es un contacto normalmente abierto (NA), lo que significa que está cerrado cuando se presiona el pulsador y se abre cuando se suelta.
- **"Stop" (I0.1):** Este contacto representa el pulsador de paro del motor. Es un contacto normalmente cerrado (NC), lo que significa que está cerrado cuando no se presiona el pulsador y se abre cuando se presiona.
- **"Motor" (Q0.0):** Esta bobina representa la salida que controla el contactor del motor. Cuando la bobina está activa (energizada), el contactor cierra los circuitos de potencia y el motor se enciende.

**Lógica:** Este segmento implementa la lógica básica de arranque y paro. Cuando se presiona el pulsador "Start", se cierra el contacto I0.0 y se energiza la bobina Q0.0, encendiendo el motor. Cuando se presiona el pulsador "Stop", se abre el contacto I0.1 y se desenergiza la bobina Q0.0, apagando el motor.

- **Segmento 2:**

- **"Motor" (Q0.0):** Este contacto es un contacto normalmente abierto (NA) que se cierra cuando la bobina "Motor" está activa.
- **"Motor" (Q0.0):** Esta bobina es la misma que la del Segmento 1.

**Lógica:** Este segmento crea un circuito de auto retención para el motor. Una vez que se presiona el pulsador "Start" y se enciende el motor, el contacto "Motor" (Q0.0) se cierra, manteniendo la bobina "Motor" (Q0.0) activa incluso si se suelta el pulsador "Start".

## El algoritmo implementado en el PLC sigue una lógica condicional basada en:

- **Niveles críticos del agua:** Definen las acciones de apertura o cierre parcial/completo.
- **Condiciones de caudal:** Permiten regular la velocidad de la compuerta para evitar picos en el flujo.
- **Alarmas de seguridad:** Si se detectan condiciones anómalas, se activa un estado de emergencia.

## Señales de Entrada:

1. **Señales de control:**
  - **Señal de posición:** Se recibe una señal que indica la posición deseada para la compuerta (generalmente en un rango de 4-20 mA o 0-10 V).
  - **Señales de apertura/cierre:** Pueden ser señales digitales, como contactos de relé (abiertos/cerrados) que indican si el actuador debe abrir o cerrar la compuerta.
  - **Señal de velocidad:** En algunos casos, la velocidad del actuador puede ser controlada mediante señales externas.
  - **Señales de seguridad:** Estas señales pueden incluir alarmas o interruptores de límite (por ejemplo, apertura o cierre completo).
2. **Señales de referencia:**
  - **Señales de feedback:** De posición (potenciómetro o codificadores) que proporcionan retroalimentación sobre la posición actual del actuador.
  - **Señales de sensor:** Como temperatura, corriente o vibración, dependiendo de la aplicación.

## Señales de Salida:

1. **Señales de salida de posición:**
  - **Señales de posición real:** Salen señales (4-20 mA, 0-10 V, o señales de pulso) que indican la posición actual del actuador.
2. **Señales de alarma:**
  - **Indicadores de fallos o alertas:** Estas pueden ser señales digitales (por ejemplo, relé) para indicar fallos en el sistema, como sobrecarga o mal funcionamiento.
3. **Señales de estado:**
  - **Estado de operación:** Información sobre el estado de funcionamiento del actuador (por ejemplo, abierto, cerrado, en espera, etc.).
4. **Señales de control para otros dispositivos:**
  - **Salida para control de motor:** Puede haber señales para ajustar la velocidad del motor o incluso para activar un frenado.

## Comunicación Digital:

Dependiendo de la configuración, el actuador también puede tener interfaces de comunicación digital, como:

- **Modbus RTU o TCP:** Para transmitir información sobre el estado del actuador y recibir comandos a través de una red.

- **Profibus o EtherCAT:** En instalaciones más avanzadas, puede usar estas redes para integrarse en un sistema de automatización más grande.

## Introducción al Protocolo Modbus TCP/IP

Modbus TCP/IP es un protocolo de comunicación serial abierto y libre de regalías derivado de la arquitectura cliente/servidor. Se utiliza ampliamente en dispositivos electrónicos industriales, especialmente en sistemas de gestión de edificios (BMS) y sistemas de automatización industrial (IAS). [18]

### Implementación del Protocolo de Comunicación Modbus TCP/IP

El protocolo **Modbus TCP/IP** se seleccionó para la comunicación y control del sistema automatizado debido a su amplia aceptación en sistemas industriales y su capacidad para integrarse con múltiples dispositivos de control y monitoreo, como controladores lógicos programables (PLCs) y interfaces hombre-máquina (HMI). Este protocolo permite transmitir datos de forma eficiente y fiable a través de redes Ethernet, facilitando la interoperabilidad y escalabilidad del sistema. [18]

### Características clave del protocolo Modbus TCP/IP

1. **Estructura simple:**  
Modbus TCP/IP utiliza un modelo maestro/esclavo, donde el maestro envía consultas y los esclavos responden. En el caso de redes Ethernet, esto se implementa como cliente/servidor. [18]
2. **Capacidad de integración:**  
Su diseño permite la fácil conexión con dispositivos compatibles, reduciendo la necesidad de hardware intermedio. [18]
3. **Flexibilidad en la topología:**  
Modbus TCP/IP permite arquitecturas como estrella o árbol gracias a su funcionamiento sobre redes Ethernet estándar. Esto es particularmente útil para sistemas distribuidos. [18]

### Uso en el sistema automatizado

En este proyecto, Modbus TCP/IP se utiliza para comunicar los componentes clave del sistema de automatización de la compuerta. Las funciones específicas implementadas incluyen:

- **Monitoreo remoto:** Los sensores de nivel de agua y posición de la compuerta envían datos en tiempo real al servidor a través de mensajes Modbus. Estos datos permiten visualizar el estado del sistema en la HMI.
- **Control de posición de la compuerta:** El PLC recibe comandos de apertura y cierre a través del protocolo Modbus, transmitidos desde el software de supervisión.
- **Diagnóstico del sistema:** Modbus facilita el diagnóstico remoto del sistema, reportando alarmas o fallas críticas en tiempo real. [18]

## Ventajas en el proyecto

El uso de Modbus TCP/IP proporciona las siguientes ventajas:

- **Rapidez en la implementación:** Debido a su estructura estandarizada, es fácil configurar dispositivos con compatibilidad Modbus.
- **Eficiencia en costos:** Se elimina la necesidad de infraestructura propietaria, ya que se utiliza la red Ethernet estándar existente.
- **Fiabilidad en ambientes industriales:** Modbus está diseñado para resistir interrupciones menores en la comunicación sin comprometer el funcionamiento del sistema. [18]

## ¿Por qué Modbus TCP/IP?

- **Simplicidad:** Es fácil de implementar y entender.
- **Amplia adopción:** Es uno de los protocolos más utilizados en la industria.
- **Flexibilidad:** Se adapta a diferentes tipos de redes y dispositivos.
- **Fiabilidad:** Ofrece una comunicación robusta y confiable. [19]

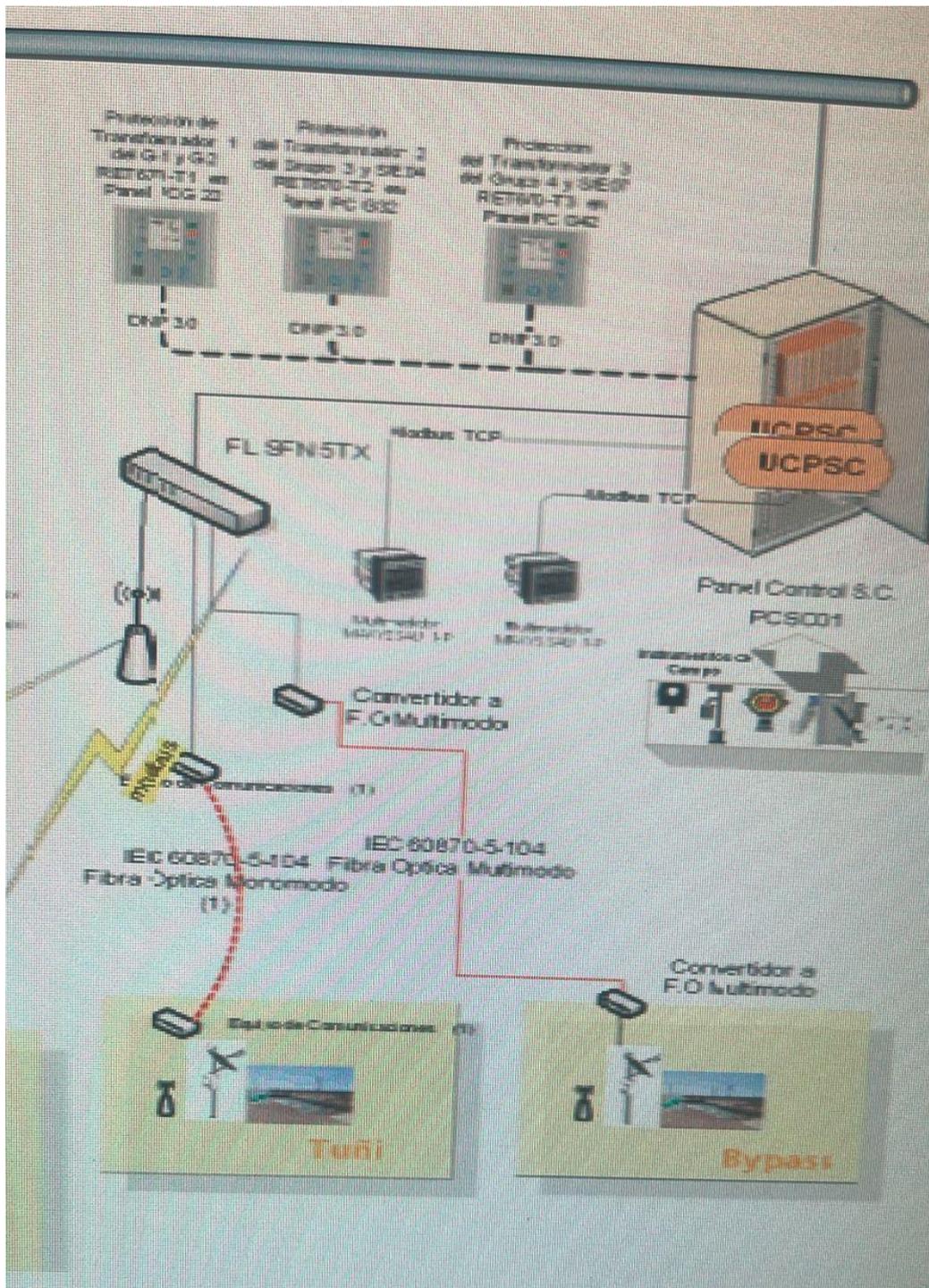


Figura 17 PARTE DE CONECCION DE MODBUS CENTRAL A BOCACAZ

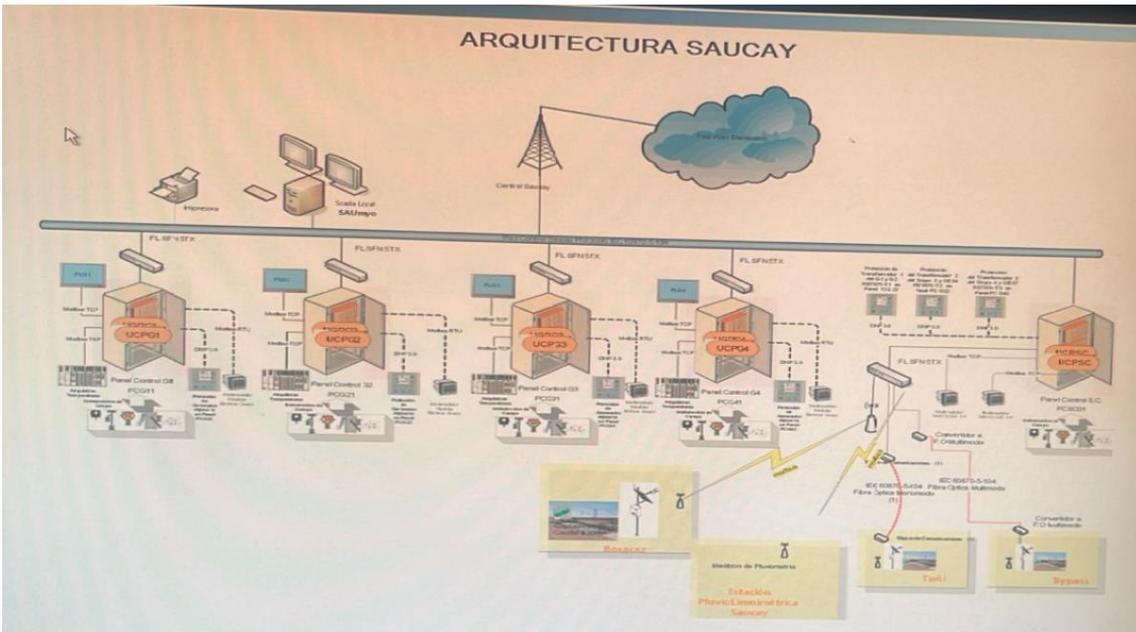


Figura 18 ARQUITECTURA MODBUS TCP/IP [20]

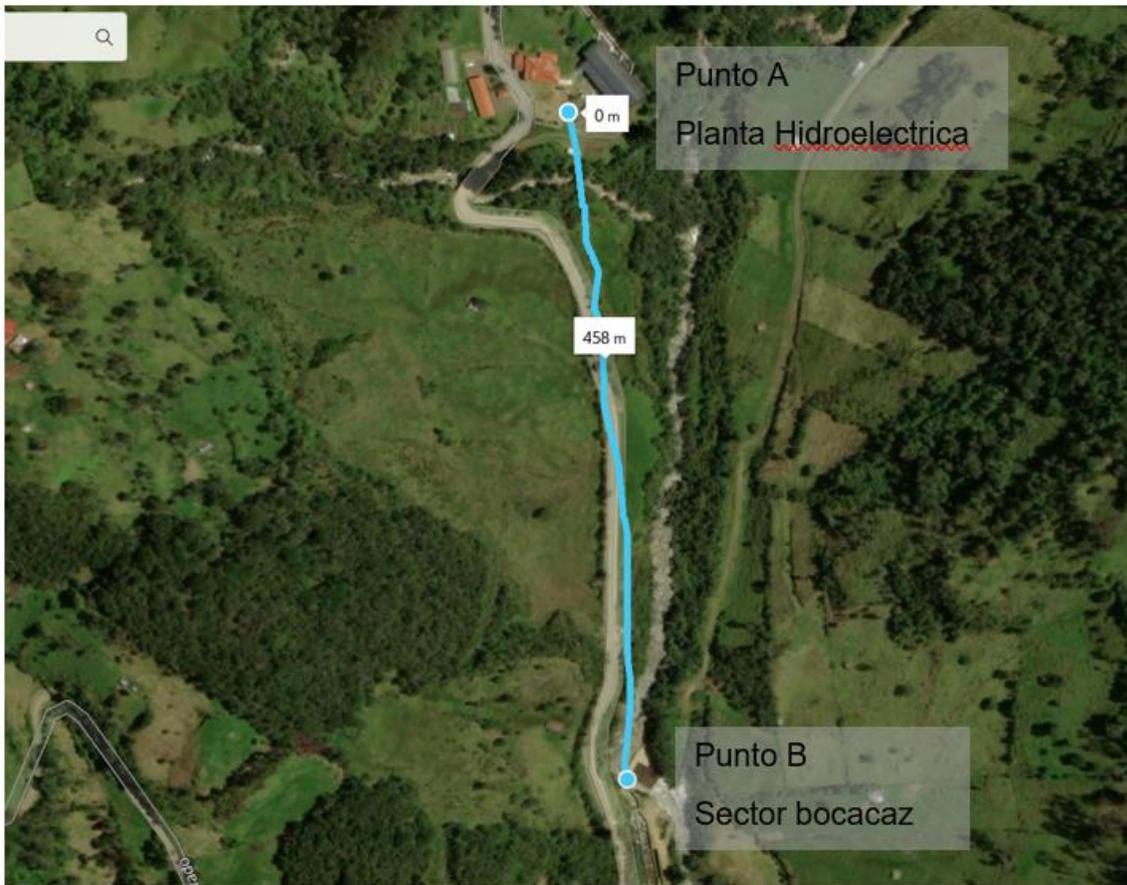


Figura 19 distancia de la central hacia bocacaz [21]



Figura 20 Bocacaz a casa de máquinas

#### 4.5 Integración de la comunicación

El sistema utiliza Modbus TCP/IP para la comunicación entre el PLC y el motor, lo que garantiza una integración rápida y confiable. Además, los sensores y actuadores se conectan al PLC mediante entradas/salidas digitales y analógicas. [1]

#### Evaluación de costos

Se estima costos referentes al mercado analizando y verificando precios de instalación pidiendo proformas

Según proforma cotizada los precios

Instrumento	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
Sensores de posición Potenciómetro	23.28	2	46.56
ELECTRÓNICA THIDO Enconder rotativos	218.11	2	436.22
PLC SIEMENS S7200	275.46	1	275.46
Fin carrera	12.50	3	37.50
Sensores de nivel sonda	10	3	30

Módulos de comunicación modbus tcp/ip instalación	250	1	250
ACTUADOR ELÉCTRICO, 220 V, 60HZ, 3 FASES	6590.97	1	6590.97
Cables de control y fuerza	0.69	30metros	20.70
Tubería (tubo de tres metros de media)	10	60	600
Terminales caja	50	1	50
Varios (Abrazaderas, taco Fisher, amarras plásticas)	100	1	100
		Total	8437.41

### Imágenes de la toma de medidas

A continuación, en la figura 12 procedemos a tomar medidas de la compuerta para sacar el peso y en la figura 13 se sacó las medidas de del eje de la compuerta que se está haciendo el diagnostico para hacer la automatización.

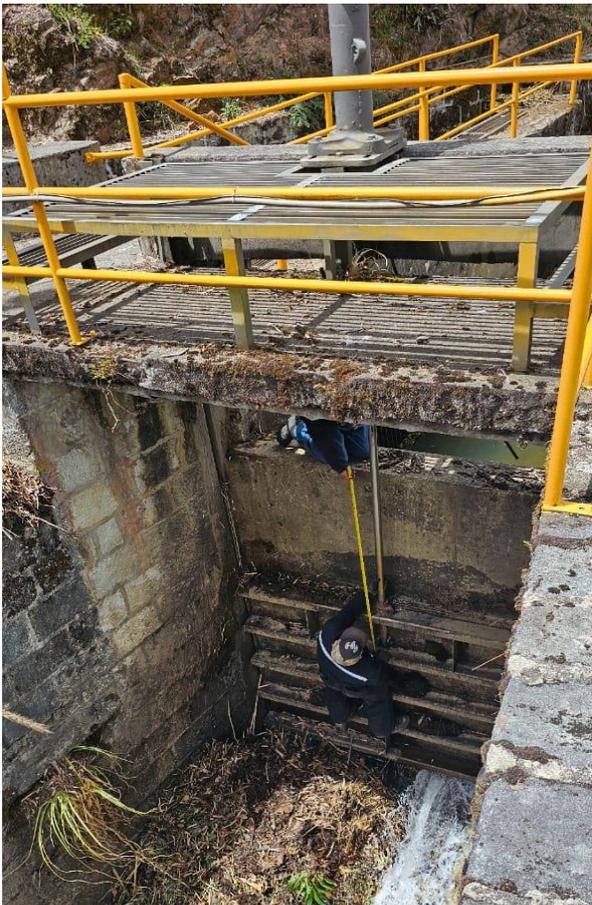


Figura 22 toma de medidas de la compuerta

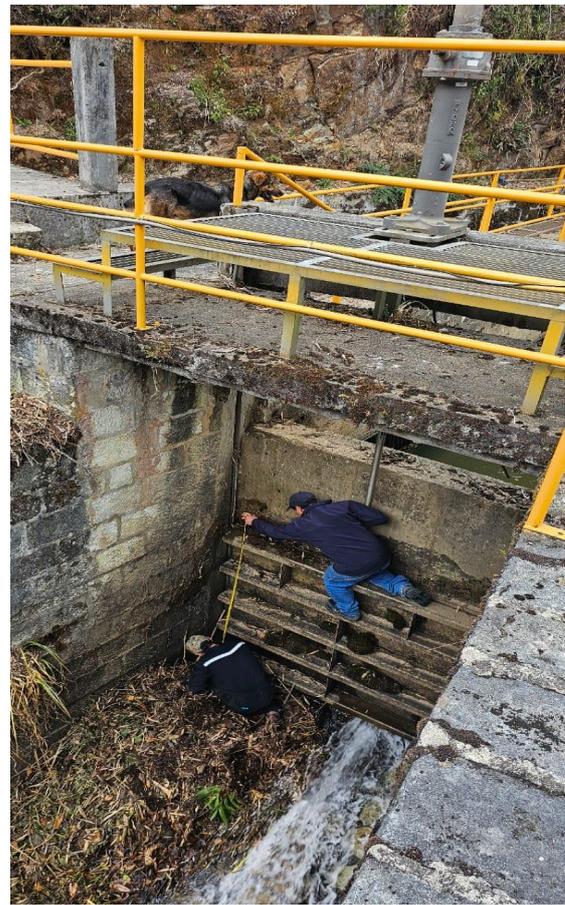


Figura 21 toma de medidas de la compuerta

## Valores de la compuerta

### Datos proporcionados:

- **Alto (A):** 1.68 metros
- **Ancho (L):** 2.18 metros
- **Espesor (E):** 0.04 metros
- **Densidad Inoxidable:** 7500kg/m<sup>3</sup>
- **Peso de la compuerta:** 1098,7 kg

Observando que la compuerta está hecha de acero inoxidable, cuya densidad promedio es 7500 kg/m<sup>3</sup> debemos realizar la fórmula para sacar el peso.

## 2. Cálculo del peso de la compuerta

La fórmula para calcular el peso es:

$$\text{Peso} = \text{Alto (A)} \times \text{Ancho (L)} \times \text{Espesor (E)} \times \text{Densidad (D)}$$

Sustituyendo los valores:

$$\text{Peso} = 1.68 \text{ m} \times 2.18 \text{ m} \times 0.04 \text{ m} \times 7500 \text{ kg/m}^3 = 1098.7 \text{ kg}$$

## 3. Cálculo del torque del motor de la compuerta

Para calcular el torque, necesitamos considerar la presión hidrostática del agua sobre la compuerta. Asumimos que la compuerta está vertical y completamente sumergida.

### Datos de la compuerta

- **Altura de la compuerta:** 1.68 m
- **Ancho de la compuerta:** 2.18 m
- **Densidad del agua:** 1000 kg/m<sup>3</sup>
- **Aceleración gravitatoria:** 9.81 m/s<sup>2</sup>

### Fuerza hidrostática sobre la compuerta

La fuerza resultante se obtiene integrando la presión sobre el área de la compuerta:

$$F = \rho * g * y * A$$

Donde:

- $\rho$  = densidad del agua
- $g$  = aceleración gravitatoria
- $y$  = altura del centro de gravedad del área sumergida (la mitad de la altura total)
- $A$  = área de la compuerta

Sustituyendo los valores:

$$F = 1000 \text{ kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 0.84 \text{ m} * (1.68 \text{ m} * 2.18 \text{ m}) = 30179.6 \text{ N}$$

### **Torque necesario para levantar la compuerta**

El torque necesario para levantar la compuerta depende de varios factores, incluyendo el peso de la compuerta, el sistema de elevación (tornillo sin fin, etc.) y la eficiencia del sistema.

### **Datos del motor**

- **Potencia (P):** 1500 W
- **Velocidad (N):** 60 rpm

### **Cálculo del torque del motor**

1. **Convertir la velocidad a radianes por segundo:**

$$\omega = (2 * \pi * N) / 60 = (2 * 3.1416 * 60) / 60 \approx 6.2832 \text{ rad/s}$$

2. **Calcular el torque ( $\tau$ ):**

$$\tau = P / \omega = 1500 \text{ W} / 6.2832 \text{ rad/s} \approx 238.7 \text{ N}\cdot\text{m}$$

### **¿Puede el motor levantar la compuerta?**

Para responder a esta pregunta, necesitamos comparar el torque del motor con el torque requerido para levantar la compuerta. El torque requerido depende del peso de la compuerta y del sistema de elevación utilizado.

### **Sistema de elevación: Tornillo sin fin**

Un tornillo sin fin convierte el movimiento rotatorio en movimiento lineal. El torque requerido para levantar la compuerta con un tornillo sin fin depende de:

- **Carga a levantar (W):** Peso de la compuerta ( $1098.7 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 \approx 10778.2 \text{ N}$ )
- **Paso de rosca (p):** Distancia que avanza la tuerca por vuelta
- **Ángulo de la hélice ( $\lambda$ )**
- **Ángulo de fricción ( $\phi$ )**
- **Eficiencia del tornillo ( $\eta$ )**

### **Suposiciones típicas para el tornillo sin fin**

- **Paso de rosca (p):** Aproximadamente igual al diámetro medio del tornillo (supongamos 0.01 m)
- **Coefficiente de fricción ( $\mu$ ):** 0.15 (acero sobre acero engrasado)
- **Eficiencia del tornillo ( $\eta$ ):** 0.35 (35%)

## Cálculo del torque necesario con tornillo sin fin

La ecuación para calcular el torque necesario con un tornillo sin fin es:

$$\tau = (W * dm) / (2 * \pi * \eta) * (\tan(\lambda + \phi) / (1 - \mu * \tan(\lambda)))$$

Donde:

- $\tau$  = Torque necesario
- $W$  = Carga a levantar (peso de la compuerta)
- $dm$  = Diámetro medio del tornillo
- $\eta$  = Eficiencia del tornillo
- $\lambda$  = Ángulo de la hélice
- $\phi$  = Ángulo de fricción
- $\mu$  = Coeficiente de fricción

Sustituyendo los valores y realizando los cálculos, obtenemos un torque necesario de aproximadamente 42.3 N·m.

En los cálculos que realizamos anteriormente, se utilizaron dos métodos para calcular el torque:

1. **Torque del motor:** Se calculó utilizando la potencia y la velocidad del motor. El resultado fue de aproximadamente 238.7 N·m.
2. **Torque necesario con tornillo sin fin:** Se calculó considerando el peso de la compuerta, las características del tornillo sin fin y la eficiencia del sistema. El resultado fue de aproximadamente 42.3 N·m. [1]

El torque disponible del motor (238.7 N·m) es mucho mayor que el torque requerido para levantar la compuerta con un tornillo sin fin (42.3 N·m). Por lo tanto, el motor debería ser capaz de levantar la compuerta. [1]

## CAPITULO 5.

### 5.1 Beneficios esperados de la automatización

La automatización de la compuerta de ingreso de agua en el sector de Bocacaz del Complejo Hidroeléctrico Machángara representa una oportunidad significativa para optimizar la gestión del recurso hídrico y mejorar la operación de la central. [21] La implementación de un sistema de control automatizado permitirá alcanzar los siguientes objetivos:

#### 5.1.1 Optimización de la gestión del recurso hídrico [1]

- **Control preciso del caudal:** La automatización permitirá regular el caudal de agua de manera más precisa y eficiente, ajustándolo a las necesidades de generación y a las condiciones hidrológicas del momento. Esto se traducirá en un

mejor aprovechamiento del recurso hídrico y una mayor eficiencia en la producción de energía. [21]

- **Respuesta rápida a cambios en las condiciones:** El sistema automatizado podrá responder de manera más rápida y eficiente a cambios en el nivel del embalse, el caudal del río o las demandas de energía. Esto permitirá optimizar la operación de la compuerta y evitar pérdidas de agua o energía.
- **Reducción de riesgos de inundación o sequía:** La automatización permitirá un mejor control del nivel del embalse y el caudal del río, lo que contribuirá a reducir los riesgos de inundación en épocas de lluvias y de sequía en épocas de estiaje. [1]

### 5.1.2 Mejora de la eficiencia operativa

- **Reducción de tiempos de respuesta:** La automatización permitirá reducir los tiempos de respuesta ante cambios en las condiciones de operación, lo que se traducirá en una mayor eficiencia en la gestión del agua y la producción de energía. [1]
- **Disminución de la necesidad de intervención manual:** La automatización reducirá la necesidad de intervención manual en la operación de la compuerta, lo que se traducirá en una disminución de los costos operativos y una mayor seguridad para el personal.
- **Optimización de la programación de la generación:** La automatización permitirá integrar la operación de la compuerta con el sistema de control de la central, lo que facilitará la programación de la generación de energía y optimizará el uso de los recursos disponibles. [21]

### 5.1.3 Mayor seguridad y confiabilidad del sistema

- **Reducción de errores humanos:** La automatización eliminará la posibilidad de errores humanos en la operación de la compuerta, lo que se traducirá en una mayor seguridad para el personal y una reducción de riesgos de accidentes.
- **Mayor confiabilidad del sistema:** Los sistemas automatizados suelen ser más confiables que los sistemas manuales, ya que están menos expuestos a fallas humanas o a condiciones ambientales adversas.
- **Monitoreo continuo:** La automatización permitirá monitorear de manera continua el estado de la compuerta y las condiciones de operación, lo que facilitará la detección temprana de problemas y la toma de medidas preventivas.

### 5.1.4 Beneficios adicionales

- **Mayor vida útil de la compuerta:** La automatización permitirá un control más suave y preciso de la compuerta, lo que se traducirá en un menor desgaste y una mayor vida útil de la infraestructura.
- **Mayor disponibilidad de la central:** La automatización permitirá reducir los tiempos de inactividad de la central debido a fallas en la compuerta o a la necesidad de mantenimiento, lo que se traducirá en una mayor disponibilidad de energía.

**Mejora de la imagen de la empresa:** La implementación de tecnologías de automatización puede mejorar la imagen de la empresa al demostrar su compromiso con la innovación y la eficiencia en la gestión de los recursos. [1]

## 5.2 Retos y Desafíos en la Implementación

La automatización de la compuerta de Bocacaz, si bien promete transformar la gestión del recurso hídrico y la operación de la central, no está exenta de desafíos. Es crucial analizar en detalle estos obstáculos para anticipar posibles problemas y diseñar estrategias efectivas para superarlos.

### 5.2.1 La tecnología: un aliado que requiere precisión y cuidado

La selección de la tecnología adecuada es un paso crítico. No se trata simplemente de elegir los equipos más modernos, sino de encontrar aquellos que se adapten a las características específicas de la compuerta de Bocacaz, su infraestructura existente y sus condiciones operativas. [1]

- **Compatibilidad:** Es fundamental asegurarse de que los nuevos sistemas sean compatibles con la infraestructura existente, incluyendo los sistemas de control, las comunicaciones y los equipos mecánicos. La falta de compatibilidad puede generar problemas de integración y retrasos en la implementación.
- **Robustez:** Los equipos deben ser capaces de resistir las condiciones ambientales adversas, como la humedad, la temperatura extrema y la corrosión. La durabilidad y la confiabilidad son esenciales para garantizar el funcionamiento continuo de la automatización.
- **Escalabilidad:** El sistema debe ser escalable para adaptarse a futuras expansiones o modificaciones en la central. La capacidad de crecer y adaptarse a nuevas necesidades es un factor importante a considerar.

### 5.2.2 Integración: un desafío técnico y logístico

La compuerta de Bocacaz forma parte de un sistema complejo. Su automatización requiere una integración cuidadosa con otros componentes, como el sistema de control de la central, el sistema de gestión del embalse y los sistemas de comunicación.

- **Coordinación:** La integración requiere una coordinación precisa entre diferentes equipos y proveedores. Es fundamental establecer una comunicación clara y fluida para evitar conflictos y garantizar una implementación exitosa.
- **Pruebas:** Antes de la puesta en marcha, es crucial realizar pruebas exhaustivas para verificar el correcto funcionamiento de todos los componentes y asegurar que la automatización se integra de manera adecuada con los sistemas existentes.
- **Adaptación:** Es posible que sea necesario adaptar o modificar algunos de los sistemas existentes para facilitar la integración con la nueva automatización. Esto puede requerir inversiones adicionales y una planificación cuidadosa. [1]

### 5.2.3 El factor humano: capacitación y gestión del cambio

La automatización no solo implica tecnología, sino también personas. El personal de la central deberá aprender a operar y mantener el nuevo sistema automatizado.

- **Capacitación:** Es fundamental proporcionar una capacitación adecuada al personal para que pueda utilizar el nuevo sistema de manera eficiente y segura. La capacitación debe ser teórica y práctica, y debe cubrir todos los aspectos de la operación y el mantenimiento de la automatización.
- **Gestión del cambio:** La implementación de la automatización puede generar resistencia al cambio por parte del personal. Es importante abordar estas preocupaciones y explicar los beneficios de la automatización, destacando cómo facilitará su trabajo y mejorará la seguridad en la operación.
- **Comunicación:** Una comunicación clara y abierta con el personal es esencial durante todo el proceso de automatización. Es importante mantenerlos informados sobre los avances, los desafíos y los beneficios del proyecto. [1]

#### 5.2.4 Inversión: un análisis costo-beneficio detallado

La automatización de la compuerta de Bocacaz requiere una inversión inicial significativa. Es crucial realizar un análisis costo-beneficio detallado para evaluar la viabilidad y la rentabilidad del proyecto.

- **Costos:** Se deben considerar todos los costos asociados a la automatización, incluyendo la adquisición de equipos, la instalación, la capacitación del personal, el mantenimiento y las posibles modificaciones a la infraestructura existente.
- **Beneficios:** Se deben cuantificar los beneficios esperados de la automatización, como el aumento en la producción de energía, la reducción de costos operativos, la mejora en la seguridad y la mayor eficiencia en la gestión del agua.
- **Retorno de la inversión:** Se debe calcular el retorno de la inversión para determinar si el proyecto es rentable a largo plazo. Es importante considerar el horizonte de tiempo adecuado para evaluar la rentabilidad de la automatización. [21]

#### 5.2.5 Mantenimiento: una tarea continua para garantizar la durabilidad

La automatización requiere un mantenimiento continuo para asegurar su correcto funcionamiento y prolongar su vida útil.

- **Programa de mantenimiento:** Es fundamental establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares, pruebas y reemplazo de componentes cuando sea necesario.
- **Personal especializado:** Se debe contar con personal especializado y capacitado para realizar el mantenimiento de los sistemas automatizados.
- **Repuestos:** Es importante mantener un inventario de repuestos críticos para poder solucionar rápidamente cualquier problema o falla en el sistema. [23]

#### 5.2.6 Seguridad: una prioridad en todas las etapas

La seguridad debe ser una prioridad en todas las etapas del proyecto de automatización.

- **Seguridad física:** Se deben implementar medidas de seguridad física para proteger los equipos y las instalaciones contra accesos no autorizados o sabotajes.
- **Seguridad cibernética:** Se deben implementar medidas de seguridad cibernética para proteger el sistema contra ataques informáticos o malware.

- **Seguridad operativa:** Se deben establecer protocolos de seguridad claros y rigurosos para garantizar la seguridad del personal durante la operación y el mantenimiento de la automatización.

## **Retos y Desafíos en la Implementación**

La automatización de la compuerta de ingreso de agua para la generación de energía eléctrica presenta diversos retos y desafíos técnicos, operativos y de seguridad. A continuación, se detallan los principales obstáculos que deben abordarse durante el pr.

### **1. Integración con Sistemas Existentes**

Uno de los principales desafíos es la integración del nuevo sistema automatizado con la infraestructura y tecnologías ya establecidas. En muchos casos, los sistemas SCADA y los PLC en operación pueden utilizar protocolos de comunicación distintos, lo que requiere configuraciones adicionales o el uso de pasarelas de comunicación, como Modbus-TCP/IP o Modbus RTU.

### **2. Seguridad Cibernética y Protección de Datos**

La automatización de la compuerta implica la conexión del sistema de control a redes de comunicación, lo que lo hace vulnerable a posibles ciberataques. La normativa ISA/IEC 62443 establece principios claves para mitigar estos riesgos, pero su implementación requiere inversiones en hardware y software de seguridad, así como capacitación del personal para gestionar adecuadamente.

### **3. Precisión en el Cálculo del Torque y Diseño Mecánico**

El eje de rotación ubicado en el centro de la compuerta introduce complejidades en el cálculo del torque necesario para su operación. Un error en los cálculos podría generar sobreesfuerzos en los actuadores, reduciendo su vida útil o provocando fallas mecánicas. Es crucial validar las ecuaciones utilizadas y considerar factores como fricción, presión del agua y eficiencia del mecanismo de accionamiento.

### **4. Fiabilidad y Mantenimiento del Sistema**

El sistema automatizado debe garantizar una operación continua y confiable, especialmente en entornos donde las condiciones ambientales pueden ser adversas. La acumulación de sedimentos, la corrosión y otros factores pueden afectar el desempeño de los actuadores y sensores. Un plan de mantenimiento preventivo y correctivo es esencial para evitar interrupciones [21]

### **5. Costos de Implementación y Viabilidad Económica**

Si bien la automatización promete optimizar la operación de la compuerta y mejorar la eficiencia en la generación de energía, su implementación implica costos significativos. La compatibilidad de componentes adecuados, la compatibilidad con el sistema eléctrico y la capacitación del personal deben evaluarse en función del retorno de inversión especialmente.

**Cronograma.** Aquí se detallan las actividades del trabajo de titulación con el tiempo planificado para cada actividad.

<b>CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DIAGNOSTICO Y PROPUESTA DE AUTOMATIZACION DE COMPUERTA 96H</b>																						
Objetivos específicos	Actividades	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Horas
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
	Redacción del anteproyecto	4	4	2	2																	12
Realizar un diagnóstico del sistema actual	Verificación del sistema				8																	8
	Delimitar o fijar los límites de la compuerta					6																6
Investigar sistemas De automatización disponibles	Estudio de sistemas de Automatización (SCADA)						6															6
Diseñar una propuesta de Automatización	Diseño del sistema							6	6													18
	Diseño esquema eléctrico									6	6	6										18
Desarrollo de documento de la Tesis	Desarrollo													6	6	6						18
	Revisión final																	4	4			8
	Preparación y Sustentación																			2	2	4
<b>Total de Horas</b>																				<b>96</b>		

**Presupuesto.** Con el detalle de los recursos que se requirieron.

Categoría	Descripción	Costo total
<b>Materia de papelería</b>	Impresiones,	\$10.00
	Copias,	\$20.00
	Esferos,	\$5.00
	Cuaderno	\$5.00
<b>Herramientas de medición</b>	Metro	\$10.00
	Computadora	\$1200
	Marquilladora BMP 21- plus	\$600
	Cámara de fotos	\$120
<b>Transporte</b>	Pasajes, movilización	\$300
<b>Viáticos</b>	Comida	\$100
<b>Horas diseño</b>	Levantamiento de información	\$500
	Diseño de la Automatización	\$1000
<b>Mano de Obra</b>	Personal calificado para realizar el trabajo	\$5000
<b>Total</b>		<b>\$2370</b>

<b>Costo instrumentos eléctricos</b>		<b>\$8437.41</b>
<b>Precio Total del Proyecto</b>		<b>\$ 15,807.41</b>

### **5.3 Conclusiones.**

Este documento presenta una propuesta para la automatización del sistema de control de una compuerta hidráulica destinada a regular el flujo de agua en sistemas de generación de energía eléctrica. La compuerta, diseñada con un eje de rotación central, permite una distribución equilibrada de fuerzas, lo que optimiza su operación frente a variaciones en el nivel del agua. El proyecto plantea un diseño basado en tecnologías modernas de control industrial, incorporando un controlador lógico programable (PLC) como núcleo del sistema y una interfaz humano-máquina (HMI) para monitoreo en tiempo real y gestión remota.

La propuesta contempla la implementación del protocolo de comunicación Modbus para garantizar una adecuada interoperabilidad entre los diferentes componentes del sistema. Este enfoque busca simplificar la integración con futuros sistemas de automatización y contribuir a la reducción de la complejidad en los procesos operativos. Además, el sistema está diseñado para ser escalable, permitiendo su adaptación y mejora conforme las necesidades del entorno industrial evolucionen.

Se hace énfasis en los beneficios potenciales de esta automatización, como una mayor precisión en la regulación del caudal, una operación más eficiente y confiable, y la reducción del riesgo asociado a fallos manuales. Adicionalmente, se explora cómo esta implementación puede impactar positivamente la sostenibilidad del sistema hidroeléctrico al optimizar la gestión de los recursos hídricos disponibles.

Esta propuesta tiene como objetivo servir de base para futuras implementaciones en el sector hidroeléctrico, promoviendo el desarrollo de soluciones tecnológicas innovadoras que contribuyan al avance de la automatización en aplicaciones industriales críticas. Se espera que este diseño sirva de referencia para proyectos similares, abriendo camino hacia sistemas más avanzados y seguros.

### **5.4 Recomendaciones.**

A partir del análisis y desarrollo del sistema de automatización de la compuerta de ingreso de agua para la generación de energía eléctrica, se proponen las siguientes recomendaciones para optimizar su implementación y operación.

#### **Selección de componentes adecuados**

Se recomienda elegir actuadores y sensores con especificaciones técnicas que garanticen precisión y durabilidad en condiciones ambientales adversas. Además, es fundamental considerar factores como resistencia a la corrosión, consumo energético y compatibilidad con el sistema.

## **Estrategia de Integración con SCADA y PLCs**

Es recomendable realizar pruebas de compatibilidad entre los PLCs, el software SCADA y los protocolos de comunicación (como Modbus), garantizando una integración eficiente y sin conflictos en la transmisión de datos. La documentación detallada del sistema facilitará el futuro

## **Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo**

Para asegurar la confiabilidad del sistema automatizado, se sugiere implementar un plan de mantenimiento que contemple inspecciones periódicas, pruebas de funcionamiento y reemplazo preventivo de componentes críticos. Esto minimizará fallos inesperados.

## **Capacitación del Personal Operativo y consumo eléctrico**

El éxito de la automatización depende en gran medida del personal encargado de su operación y mantenimiento. Se recomienda desarrollar programas de capacitación que incluyan manejo del sistema SCADA, interpretación de datos en tiempo real en cuanto el consumo eléctrico se recomienda colocar un variador de frecuencia si la energía no fuese apta para el actuador.

Cabe recalcar que en la investigación se colocó un tablero con HMI pero por el clima y al estar en la intemperie se recomienda un tablero solo con el PLC para tener un mejor control.

## **5.5 Referencias bibliográficas**

- [1] chatgpt, «[1] ChatGPT, OpenAI, "Asistencia en la investigación y desarrollo de tesis", 2025.,» [En línea].
- [2] Traductor, «Google Translate, "Traducción automática de texto", [En línea]. Disponible en: [ <https://translate.viscosidad.com>,» [En línea].
- [3] H. D. Delgado López, *iseño de compuerta hidráulica para derivación del caudal en el río de la comunidad El Cerrito del cantón Rocafuerte*, (2024).
- [4] J. Pérez y A. Gómez, «Revista de Ingeniería de Automatización,» “*Diseño e Implementación de Sistemas Automatizados de Compuertas*, Vols. %1 de %2vol. 25, , mar. 2021..
- [5] J. Ramírez, «Análisis comparativo de torque y potencia del motor karting,» 2024.
- [6] I. J. Arroyo Flores, «iseño e implementación de un sistema de transferencia automático entre la red pública de la Empresa Eléctrica Quito y grupo electrógeno de la planta Incinerox Cía. Ltda,» (2015).
- [7] J. F. & T. C. Esqueche Ramos, «Propuesta de un sistema automatizado para la distribución del agua en canal de riego tipo secundario de la comisión de usuarios del subsector hidráulico,» 2023.
- [8] P. Kumar, «Gestión de Recursos Hídricos mediante Sistemas de Compuertas Automatizadas,» *Revista de Gestión del Agua*, vol. vol. 15, pp. 367-375, dic. 2019.

- [9] L. H. Martín, «Gestión Inteligente del Agua: El Rol de las Compuertas Automatizadas,» *Revista de Investigación en Recursos Hídricos*, vol. vol. 47, pp. 145-152, jul. 2022.
- [10] R. Pinto, *DISEÑAR CUÑAS EN LAS GUÍAS PARA POSICIONAR HERMÉTICAMENTE LAS COMPUERTAS DE DESFOGUE EN UNIDADES DE LA 1ª ETAPA.*, 2013.
- [11] I. y. S. H. ISH, «<https://ishidraulicos.es/onewebmedia/COMPUERTAS.pdf>,» [En línea]. Available: <https://ishidraulicos.es/onewebmedia/COMPUERTAS.pdf>.
- [12] auma, «Wpes.mx. [En línea]. Disponible en: [https://www.wpes.mx/wp-content/uploads/2016/11/AUMA-SA-ba\\_sar2\\_07\\_16\\_am1\\_parallel\\_es.pdf](https://www.wpes.mx/wp-content/uploads/2016/11/AUMA-SA-ba_sar2_07_16_am1_parallel_es.pdf). [Consultado: 15-ene-2025].,» [En línea].
- [13] L. M. & L. H. I. M. Asqui Paguay, «Diseño e implementación de una red de comunicación ethernet didáctica con PLC's para el control y monitoreo de procesos modulares,» 2014.
- [14] J. R. BAQUE PINCAY, «DISEÑO DE CIRCUITOS PROGRAMABLES CON MICROCONTROLADORES MEDIANTE TARJETA RASPBERRY PI PARA PRÁCTICAS EN EL LABORATORIO DE ELECTRÓNICA, DE LA CARRERA INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y REDES,» 2021.
- [15] Z. Mamani, «Diseño e implementación de un módulo didáctico para el arranque electrónico de motores eléctricos de inducción por controlador lógico programable (PLC).,» 2020. [En línea].
- [16] H. I. Rodríguez Yagual, «Diseño de un dispositivo de medición de niveles de fluidos en tanques de almacenamiento de petróleo,» 2020 .
- [17] enerxia.net, «<https://www.enerxia.net/portal/index.php/info-sobre-el-autor>,» [En línea].
- [18] F. O. S. 8A, «Getting Started with Modbus RTU on Opta™,» 2010. [En línea].
- [19] A. F. R. L. A. B. & M. Olaya, *Implementación de una Red MODBUS/TCP. Ingeniería y Competitividad*, 2004.
- [20] JuankFero, «MODBUS TCP,» 10 June 2013. [En línea]. Available: <https://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>.
- [21] g. maps, «Satellite View. Google Maps.,» Accedido: 6-feb-2025. [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps..>
- [22] F. E. Calderón Vásquez, «Diseño y construcción de un sistema electromecánico para apertura y cierre de una compuerta del sedimentador de la planta de tratamiento de agua potable el Cebollar de Cuenca (Bachelor's thesis, Universidad del Azuay).,» 2010. [En línea].
- [23] M. Á. Montes Chaverra, «Generación del plan de mantenimiento para el equipo cámara de niebla salina (LEND002) del laboratorio de corrosión,» *Facultad de Ingeniería Mecánica.*, 2023.
- [24] Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo, *Plan Nacional de Desarrollo*, Quito, Pichincha, 2009.
- [25] Universidad Politécnica Salesiana, *La UPS en Cifras 2012*, Cuenca, 2012.
- [26] I. Carrión y L. Berasategi, *Guía para la elaboración de proyectos*, País Vasco, 2010.
- [27] S. Mendonca, *Elaboración y negociación de proyectos de desarrollo*, Lima, 1998.

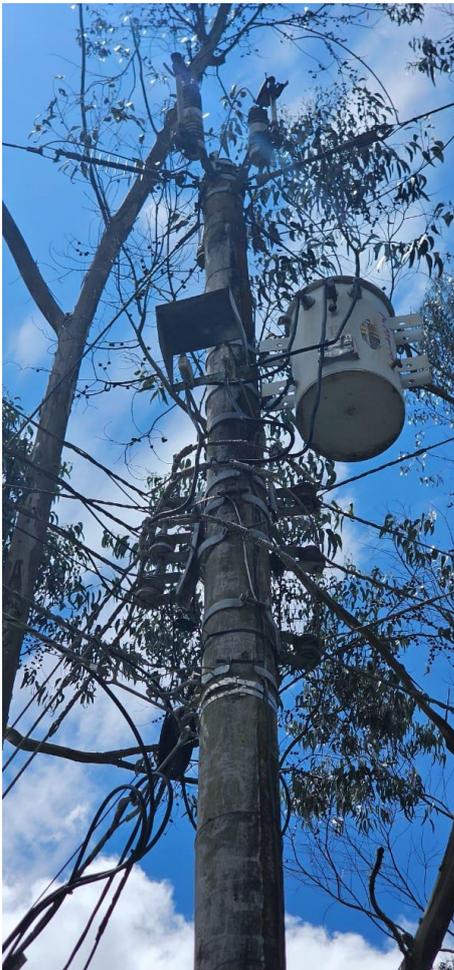
## 5.6 Anexos:



*Figura 23 Puerta a Automatizar*



*Figura 24 Toma de medidas de la compuerta para sacar datos*



*Figura 25 medidor para una nueva acometida si fuese necesario*



*Figura 26 Toma de medidas del Trafo a la compuerta*



*Figura 27 Toma de medidas del trafo a la compuerta*



*Figura 29 sistema de video vigilancia y acometida del sistema actual*



*Figura 28 toma de medidas del eje de rotación*