



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO Y
DOSIFICACIÓN DE CLORO GAS PARA LA PLANTA DE AGUA
PATAMARCA SAN ANDRÉS.**

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Mecatrónico

**AUTORES: RAFAEL SANTIAGO BUELE MOROCHO
ROGGER GABRIEL QUITO NAVAS.**

TUTOR: ING. PAUL ANDRES CHASI PESÁNTEZ M.SC.

Cuenca – Ecuador

2023

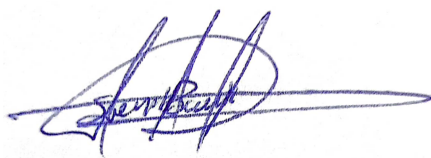
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Rafael Santiago Buele Morocho con documento de identificación N° 0105328926 y Rogger Gabriel Quito Navas con documento de identificación N° 0105167290; manifestamos que:

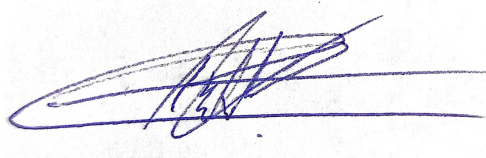
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 02 de agosto del 2023

Atentamente,



Rafael Santiago Buele Morocho
0105328926



Rogger Gabriel Quito Navas
0105167290

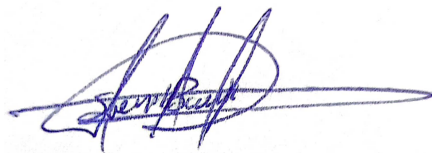
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Rafael Santiago Buele Morocho con documento de identificación N° 0105328926 y Rogger Gabriel Quito Navas con documento de identificación N° 0105167290, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para la planta de agua Patamarca San Andrés", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecatrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

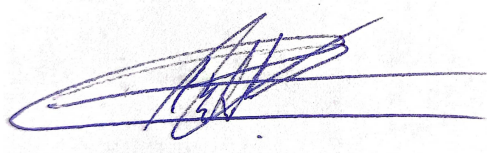
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 02 de agosto del 2023

Atentamente,



Rafael Santiago Buele Morocho
0105328926



Rogger Gabriel Quito Navas
0105167290

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paul Andrés Chasi Pesantez con documento de identificación N° 0103652095, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO CONTINUO Y DOSIFICACIÓN DE CLORO GAS PARA LA PLANTA DE AGUA PATAMARCA SAN ANDRÉS", realizado por Rafael Santiago Buele Morocho con documento de identificación N° 0105328926 y Rogger Gabriel Quito Navas con documento de identificación N° 0105167290 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.

Ciudad, 02 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Paúl Andrés Chasi Pesantez, M.Sc.
0103652095

Dedicatoria

Rafael Santiago

Dedico este presente trabajo a toda mi familia especialmente a mis padres, a Miguel Buele y Dolores Morocho quienes siempre han sido mi más grande apoyo y compañía de todos los días me han dado las fuerzas necesarias para no rendirme y lograr terminar mi carrera académica, agradezco su amor y apoyo condicional, sus palabras de aliento y su paciencia durante los momentos más complicados.

Además quiero dedicar a mi enamorada, Diana Pizarro quien ha sido mi compañera incondicional durante todo este proceso. Gracias por el amor, su paciencia y toda su comprensión, por haberme apoyado en cada paso del camino y por ser mi fuente de motivación constante.

Finalmente, dedico a las personas que formaron parte del proceso y me brindaron su apoyo de una u otra forma.

Rogger Gabriel

Quiero dedicar este trabajo a toda mi familia, en especial a mi tía Enma Navas ya que, si ella no estuviera cumpliendo el sueño de convertirme en Ingeniero, ha mis abuelos Jose Navas y Felicidad Fares ya que me apoyaron en todo momento y vieron de cerca como me esforcé cada día, mi hermano Keneth Quito quien estuvo conmigo en las buenas y malas, y a mi querido padre Carlos Quito que han sido de gran ayuda para que yo pueda cumplir una con las metas propuestas en mi vida.

De igual forma a mis amigos, ya que me brindaron su confianza y aprecio.

Sin más, dedico este triunfo a mi madre que me cuida desde el cielo, este logro es para ella.

Agradecimientos

Rafael Santiago

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y apoyo durante todo este proceso. Gracias por su amor y dedicación, por haberme enseñado el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por haberme brindado todo su apoyo incondicional para alcanzar mis metas. Gracias por sus palabras de aliento, por creer en mí y por haberme ayudado a superar los momentos difíciles.

Además quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de tesis, ING Paul Chasi, por su invaluable ayuda y apoyo durante todo el proceso de investigación y redacción de este trabajo. Gracias por su paciencia y dedicación, por haberme guiado en cada paso del camino, por haberme brindado sus conocimientos y experiencia. Este trabajo no habría sido posible sin su valiosa ayuda y orientación.

Rogger Gabriel

Agradezco profundamente a mi familia por el amor, apoyo, paciencia y comprensión que me permitieron alcanzar todas las metas que me propuse, a mi tía por creer en mí y darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional; a mi Padre y hermano que estuvieron prestos a acompañarme, guiarme y apoyarme en cada situación, gracias a mis abuelos que siempre me han alentado y guiado a lo largo de mi vida. A todos gracias, ya que con su compañía, consejos y abrazos me motivaron para seguir y alcanzar las metas propuestas.

Me gustaría además agradecer a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Paul Chasi, ya que nos brindó sus conocimientos y paciencia al momento de resolver el trabajo de titulación también darnos su apoyo para culminar con éxito esta etapa para ser profesionales.

También quiero agradecer a Ing. Mónica Romero, quien han estado presta para solventar cualquier duda presentada y brindar sugerencias a lo largo de mi vida estudiantil dentro de la Universidad.

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XV
Abstract	XVI
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	5
2.4.3. Sectorial o institucional	5
2.5. Problema General	5
2.6. Problemas Específicos	5
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo General	6
3.2. Objetivos Específicos	6
4. Hipótesis	6
4.1. Hipótesis General	6
4.2. Hipótesis Específicas	6

5. Marco Teórico	7
5.1. Volumen total de instalaciones de tratamiento de agua potable a disposición de los consumidores.	8
5.2. Los GADs que se desempeñan bajo la Norma INEN 1108	9
5.2.1. Para el tratar el agua potable en el Ecuador está regido por la norma INEN 1108 donde nos da a conocer las descripciones.	9
5.3. Elección del cloro en función de diferentes factores	11
5.4. Planta de potabilización Patamarca San Andrés.	12
5.5. Etapas de potabilización en la planta de Patamarca San Andrés.	13
5.6. Sistemas automatizados para la dosificación de cloro:	13
5.7. Formas del cloro	14
5.7.1. Características de las diversas formas del cloro	14
5.8. Elección del cloro en función de diferentes factores	15
6. Marco metodológico	15
6.1. Establecer los parámetros iniciales según la norma INEN 1108 para el diseño del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca – Ecuador.	15
6.1.1. Primer acercamiento a la Junta administradora de agua Potable Patamarca San Andrés para toma de datos técnicos.	16
6.1.2. Revisión bibliográfica de sistemas de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas según la norma INEN 1108.	17
6.1.3. Identificación de los elementos que se encuentran en la dosificación de cloro gas y su estado actual.	19
6.1.4. Establecimiento de las condiciones iniciales para diseño del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés.	22
6.2. Proponer el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés.	22
6.2.1. Elaboración del cálculos de dimensionamiento según lo requerido	23
6.2.2. Definición de las necesidades dadas por la planta para la dosificación de cloro gas.	28
6.2.3. Definición de control de cloro gas en base al caudal de ingreso.	29

6.2.4.	Instrumentos (sensores y actuadores) para el sistema de dosificación de cloro gas.	30
6.2.5.	Entradas y salidas determinadas para el sistema de dosificación de cloro gas.	36
6.2.6.	Opción del controlador programable PLC e interfaz hombre-maquina (HMI).	37
6.2.7.	Diseño de sistema.	41
6.3.	Simulación del sistema de dosificación de cloro gas y monitoreo.	47
6.3.1.	Interfaz HMI para el sistema de dosificación de cloro gas.	47
6.3.2.	Simulación en el software Factory IO.	51
6.4.	Análisis de costo de implementación del sistema de monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas para la Planta de agua Potable Patamarca – San Andrés.	52
6.4.1.	Costos propuestos	53
6.4.2.	Estado de rentabilidad del sistema automatizado para la dosificación de cloro.	58
Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica		61
7. Resultados		63
7.1.	Parámetros establecidos para el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas según la norma INEN 1108	63
7.2.	Diseño para el monitoreo continuo y dosificación de cloro gas.	63
7.3.	Resultados de la simulación del diseño para el monitoreo continuo y dosificación de cloro gas.	64
7.3.1.	Datos que se registran de la simulación de la dosificación de cloro gas	64
7.3.2.	Visualización de la simulación en el software Factory IO	66
7.4.	Resultados para el análisis de costos de implementación del diseño de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas en la Planta de agua potable Patamarca - San Andrés.	68
8. Conclusiones		70
9. Recomendaciones		71
Referencias		73

Lista de Tablas

1.	Plantas existentes	9
2.	Parámetros dados por la norma NTE INEN 1108.	11
3.	Características de los diversos tipos del cloro	15
4.	Parámetros de la norma INEN 1108.	18
5.	Norma de colores de la norma NTE INEN 440 para tubería.	25
6.	Norma de colores de la norma NTE INEN 440 para tubería.	26
7.	Condiciones dadas a controlar	29
8.	Principales datos para obtener la ecuación de cloro gas en base al caudal.	30
9.	Definición de entradas y salidas.	37
10.	Datos técnicos del modulo PLC S7-1200.	39
11.	Datos técnicos del módulo de salidas digitales	40
12.	Datos técnicos del módulo HMI KTP700	41
13.	Precio por materiales	54
14.	Mano de obra Indirecta	55
15.	Mano de obra directa	55
16.	CIF generales	56
17.	CIF de transporte	57
18.	Análisis de Precio Total Unitario	57
19.	Estado de flujos de efectivo de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés con la integración del sistema de dosificación de cloro gas.	59
20.	Estado de flujos de efectivo normal de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés con la integración del sistema de dosificación de cloro gas.	60
21.	Estado de flujos de efectivo normal total de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés con la integración del sistema de dosificación de cloro gas.	61
22.	Estado de flujos con el sistema implementado para la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés con la integración del sistema de dosificación de cloro gas.	62
23.	Estado de flujos de efectivo total con el sistema implementado para la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés con la integración del sistema de dosificación de cloro gas.	63

24.	Comparación de los datos simulados y los obtenidos en las bitácoras.	66
25.	Factibilidad del sistema para su implementación.	69
26.	Datos obtenidos de las bitácoras..	82
27.	Datos obtenidos de las bitácoras	83

Lista de Figuras

1.	Junta administradora de agua Potable Patamarca San Andrés	4
2.	Distribución de fuentes hídricas	8
3.	Proceso actual de dosificación de cloro gas.	19
4.	Clorador de inyección directa REGAL modelo 610.	21
5.	Diagrama P& ID del sistema automático de dosificación de cloro gas	23
6.	Válvula de control proporcional	31
7.	Sensor SITRANS F M MAG 5100 W	32
8.	Válvula de Control HFV Rosca NPT Lineal	33
9.	Mag 6000 I Siemens Transmisor de Flujo	35
10.	CHLOR – SCALE 150-4	36
11.	PLC Siemens S7-1200.	38
12.	Módulo de salidas digitales.	40
13.	HMI KTP700 basic.	41
14.	Diagrama de bloques del diseño del sistema de dosificación de cloro gas.	43
15.	Diagrama de bloques subsistema automático.	44
16.	Diagrama de bloques subsistema manual.	45
17.	Subsistema de alarmas.	46
18.	Diseño de la interfaz HMI principal para la dosificación de cloro gas.	48
19.	Simulación en HMI del subsistema automático.	49
20.	Curva de control de Caudal y cloro gas en el subsistema automático.	50
21.	Interfaz de sub sistema manual en HMI para controlar la válvula proporcional.	51
22.	Simulación en Factory IO para el entorno del cilindro cloro gas.	52
23.	Datos obtenidos en la simulación mediante la interfaz HMI.	65
24.	Simulación Factory IO	67
25.	Entradas y salidas Factory IO	68
26.	Diseño de la arquitectura de la programación por bloques de función.	75
27.	Diseño de etapa 1.	76
28.	Diseño de etapa 2.	76
29.	Diseño de etapa 3.	77
30.	Bloques de programación en lenguaje KOP para el sistema de dosificación de cloro gas.	77
31.	Bloques de función de nivel del tanque de cloro gas.	78
32.	Identificación de tanque lleno de cloro gas.	78

33.	Bloques de programación de la contraseña.	79
34.	Función que permite el ingreso al subsistema mantenimiento.	79
35.	Identificación del nivel de ingreso de caudal.	80
36.	Grafica de dosificación de cloro gas dependido del caudal.	81

Resumen

El presente trabajo de titulación se propone el diseño de un sistema automático de monitoreo y dosificación de cloro gaseoso para la planta de tratamiento de agua potable Patamarca San Andrés, ubicada en la parroquia Patamarca de la ciudad de Cuenca-Ecuador, con el objetivo de automatizar el proceso que actualmente es manejado de manera manual. El sistema de desinfección de la empresa sirvió de base para automatizar el proceso de dosificación de cloro gas, donde al obtener los parámetros iniciales se diseñó el sistema el cual utilizo diversos softwares los cuales fueron TIA Portal y Factory IO, donde se pudo determinar la factibilidad del diseño propuesto y su versatilidad para dosificar el agua a potabilizar. Al verificar el funcionamiento del diseño, se realizó el control proporcional en función de las estadísticas de las empresa, adecuado de cloro gas para el agua en la etapa de desinfección.

Palabras clave: Caudal, Cloración, Diseño, Dosificación, Dosis, Monitoreo, Simulación, Verificación.

Abstract

This degree project proposes the design of a chlorine gas monitoring and dosing system for the Patamarca San Andrés water plant, located in the city of Cuenca, in order to automate the process that is currently managed manually. The company's disinfection system depends on the base to automate the chlorine gas dosing process, where by obtaining the initial parameters the system was generated which used various software which were TIA Portal and Factory IO, where the feasibility could be determined. of the proposed design and its versatility to dose the water to be made drinkable. When verifying the operation of the design, the proportional control was carried out based on the statistics of the company, adequate chlorine gas for the water in the disinfection stage. his degree project proposes the design of a chlorine gas monitoring and dosing system for the Patamarca San Andrés water plant, located in the city of Cuenca, in order to automate the process that is currently managed manually. The company's disinfection system depends on the base to automate the chlorine gas dosing process, where by obtaining the initial parameters the system was generated which used various software which were TIA Portal and Factory IO, where the feasibility could be determined. of the proposed design and its versatility to dose the water to be made drinkable. When verifying the operation of the design, the proportional control was carried out based on the statistics of the company, adequate chlorine gas for the water in the disinfection stage.

Keywords: Flow, Chlorination, Design, Dosage, Dose, Monitoring, Simulation, Verification.

1. Introducción

El agua es un agente fundamental para los seres vivos ya que mantiene el equilibrio entre los ecosistemas terrestres. Este recurso natural permite el correcto funcionamiento biológico y asegura la supervivencia de animales y vegetación. Por esta razón es fundamental que el agua a ingerir esté libre de contaminantes para evitar enfermedades para los seres humanos.

Dentro del territorio ecuatoriano, existe diversas plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), que están controladas por la norma INNE 1108, en donde se determina los parámetros óptimos para que el agua potabilizada pueda ser ingerida por los seres vivos. Para lograr esto, las (PTAP) realizan una cadena de procesos biológicos, químicos y físicos que reducen o eliminan bacterias presentes en el agua cruda. Dentro de esta serie de procesos o etapas se encuentran: ingreso de agua cruda, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución.

En la planta de agua potable Patamarca San Andrés (PAPP) los sistemas de dosificación son completamente manuales, en caso de cloro gas la regulación del mismo hacia el caudal es realizada por el operador de turno, donde hasta el momento la forma de dosificar no a dado problemas, no obstante, tiende a tener errores humanos. Haciendo énfasis en la etapa de desinfección, donde el cloro gas debe ser suministrado de manera correcta, por lo cual se determinó la siguiente pregunta: ¿Es posible diseñar un sistema de monitoreo continuo para la Dosificación con el químico cloro gas para la (PAPP) San Andrés? Por lo cual, para ser realizado se determina el funcionamiento de la Planta en la etapa de desinfección donde se verifica sus variables, parámetros iniciales y funcionamiento.

Teniendo en cuenta toda la información necesaria para realizar el diseño del sistema, se determina que el nivel de cloro gas depende exclusivamente del caudal de ingreso de agua, es decir mientras más caudal de agua existe más cloro será suministrado para garantizar que el agua sea completamente potabilizada y elimine los micro organismos presentes en el agua.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL PATAMARCA, localizada en la comunidad San Andrés en la parroquia de Chiquintad, Cuenca - Azuay – Ecuador, se ubica a una altura de 2800 msnm, en un área aproximada de 4000 m^2 y con una captación de agua que se realiza desde una arteria de riego del río Machángara. La PAPP San Andrés para el tratamiento de agua se establece bajo la norma INEN 1180:2014, el cual especifica las siguientes etapas las cuales son: ingreso del agua cruda, desarenado, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, cloración, almacenamiento de agua potable y distribución. El agua que fue tratada se guarda en un tanque con condiciones aptas que cuenta con un volumen de 110 m^3 dando un abastecimiento a 3500 usuarios.

2.2. Descripción del problema

En la planta JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO REGIONAL PATAMARCA, en la etapa de clorificación, las dosis suministradas no son exactas debido a que la proporción de cloro se realiza de manera manual y la cantidad del mismo tiende a aumentar o disminuir su medida, provocando que los trabajadores tengan que revisar de manera visual su nivel de regulación. Por otra parte, los sistemas de dosificación de cloro gas no son regularmente utilizados, ya que su control y monitoreo debe ser continuo para evitar errores que perjudiquen a la salud de los usuarios.

2.3. Importancia y alcances

- La planta de administración de agua potable Patamarca San Andrés tiene las siguientes etapas para tratar el agua cruda las cuales son: ingreso del agua cruda, desarenado, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, cloración, almacenamiento de agua potable y distribución. El presente trabajo de titulación se centra en la etapa de cloración debido a que la forma de dosificar el cloro es manual y no siempre es regulada correctamente.
- El alcance del proyecto incluirá el diseño para el sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para agua en la planta Patamarca San Andrés, que permitirá

verificar de manera correcta la dosis de cloro en el agua, obteniendo precisión en el proceso de tratamiento de agua.

- El proyecto también se encuentra enfocado en la salud de las comunidades que se encuentran cercanas, puesto que, un deficiente suministro de cloro gas puede generar factores como son: tos, irritación de garganta, problemas respiratorios, dolores estomacales, irritación de piel, entre otros, por lo que, el suministro de cloro gas correcto puede evitar estos problemas.

2.4. Delimitación

El problema de investigación se definirá en las siguientes magnitudes:

2.4.1. Espacial o geográfica

El siguiente trabajo de titulación se elaborará en la planta de agua Potable Patamarca San Andrés ubicada en la parroquia Chiquintad a una altura de 2800 msnm, en un área aproximada de 4000 m^2 con una latitud de -2.8239630 y una longitud de -78.9966510 en la ciudad de Cuenca – Ecuador.

Figura 1

Junta administradora de agua Potable Patamarca San Andrés



Nota: Se observa la Planta de agua Potable Patamarca San Andrés.

2.4.2. Temporal

El proyecto implementado se desarrollará en 6 meses que corresponden a 400 horas de las asignaturas de Trabajo de Titulación 1 y Trabajo de Titulación 2.

2.4.3. Sectorial o institucional

Junta administradora de agua potable Patamarca en el barrio San Andrés que se encuentra ubicada en la calle paso Rio Machangara de la ciudad de Cuenca - Ecuador.

2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá establecer parámetros iniciales según la norma INEN 1108 para el diseño del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador?
- ¿Es factible diseñar un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar según la norma INEN 1108 en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador?
- ¿Es posible simular el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador?
- ¿Es probable analizar el costo de implementación de un sistema de monitoreo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador.

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros iniciales según la norma INEN 1108 para el diseño de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca – Ecuador.
- Diseñar de un sistema para el monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca – Ecuador.
- Simular el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador.
- Analizar el costo de implementación de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- El diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas Optimizará la regulación del mismo para una mejor potabilización.

4.2. Hipótesis Específicas

- Se establecerán los parámetros iniciales según la norma INEN 1108 para el diseño de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de

agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador.

- Se diseñara el sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar para mejorar calidad de la misma en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador.
- Se simulará el comportamiento de sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar con el fin verificar su comportamiento.
- Se Analizará el costo de implementación de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta Administradora de agua potable Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca - Ecuador

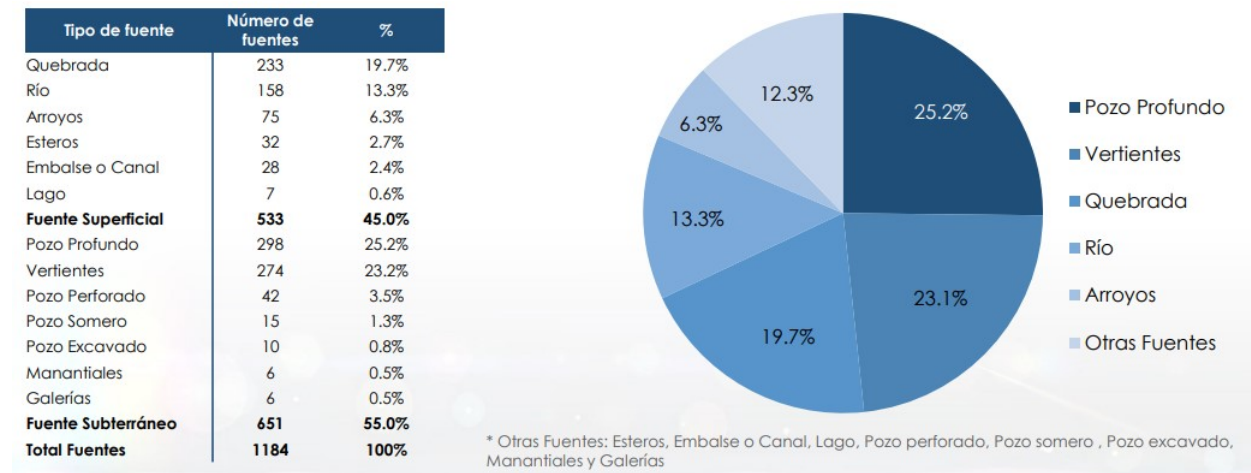
5. Marco Teórico

Ecuador es un país que consta de 4 regiones, donde cada una de las cuales se distingue por sus características climáticas. Tenemos: costa, sierra, oriente y región insular, a nivel nacional el Ecuador tiene varios ríos y muchos ríos sirven para abastecer plantas potabilizadoras, por así decir los ríos más grandes y caudalosos de la costa son el Esmeraldas y ríos Guayas. En la parte Sierra tenemos los Andes que consiste en una cuenca que brota de las vertientes del Océano Pacífico y el Amazonas, y en la parte del Oriente tenemos los ríos: Pastaza, Putumayo, Napo, Aguarico. (Campos Antonio, 2016)

La figura 2 se muestra que en el Ecuador se han registrado 1.184 fuentes de agua cruda de las cuales el 45% son fuentes superficiales y el otro 55% son fuentes de agua subterránea, de las cuales las fuentes de agua mas importantes son las aguas subterráneas ya que cuentan con: arroyos vertientes, quebradas y posos profundos.(GAD Municipales, 2020)

Figura 2

Distribución de fuentes hídricas



Nota: Se puede observar los tipos y número de fuentes hídricas. (GAD Municipales, 2020).

A escala nacional, en el año 2019 se tienen datos de distribución de agua, y según datos de la Administración Comunal estos valores son de 112.199.699 m^3 /mes, se revela que la mayor distribución es en las zonas costeras, y la valor compone la distribución total de 56,7. Seis de cada 10 GAD municipales son gestionados a través de los municipios para prestar el servicio de agua potable, otros tres son gestionados a través de los servicios públicos municipales y el resto son administrados por empresas mixtas, empresas regionales y operadores privados. (GAD Municipales, 2020)

5.1. Volumen total de instalaciones de tratamiento de agua potable a disposición de los consumidores.

Podemos observar en la tabla 1 sobre el número de plantas existentes en los 215 GAD Municipales que dieron a conocer la información, se sabe que cuentan con 461 plantas de potabilización de agua en 192 GAD Municipales, de esta información se encontró que el 49,67% está en la región de Sierra, el 20,39% está en la región costera, tenemos el 29,28% en la región amazónica y el 0,65% restante está en la región insular. (Cando, 2021)

Tabla 1

Plantas existentes.

Por región	Cantidad de plantas
Total	461
Sierra	229
Costa	94
Amazónica	135
Insular	3

Nota: Se observa el número de plantas por región.

En 2019, el GAD gestionó el 62% del abastecimiento de agua potable a través de los municipios y el 31,2% a través de las empresas públicas municipales. De 2017 a 2019, la implantación de las sociedades de bolsa municipal ha sido estable. A nivel de ciudades en Ecuador, los datos muestran que, a diferencia del resto de Ecuador, Sierra y Amazonas se atienden las 24 horas del día, lo que brinda una mayor continuidad.(GAD Municipales, 2020)

5.2. Los GADs que se desempeñan bajo la Norma INEN 1108

En Ecuador, el 74,42% de los GADs municipales cumplen con la normativas establecidas por el reglamento INEN 1108, que contiene los parámetros para las condiciones aptas del agua potable, para poder ser ingeridas por el ser humano. En la región amazónica, la tasa de cumplimiento de la norma INEN 1108 alcanzó el 80,49% entre 2017 y 2019, y aumentó el número de municipios que se adaptan a la norma de agua prescritas para el consumo humano.(Cando, 2021)

5.2.1. Para el tratar el agua potable en el Ecuador está regido por la norma INEN 1108 donde nos da a conocer las descripciones.

Agua Potable: Agua tratada con propiedades físicas, químicas y microbiológicas para garantizar que sea apta para el consumo humano, que no contenga organismos causantes de

enfermedades, elementos o sustancias que puedan causar efectos fisiológicos nocivos, y cumpla con la norma técnica NTE IEN 1108. (versión actual) Los requisitos de calidad especificados y el cumplimiento de las condiciones del Reglamento Técnico RTE INEN 023 .Agua potable"del Ecuador.(NORMALIZACIÓN, 2020)

Turbidez: Se refiere a la medida de la cantidad de partículas suspendidas en un líquido que dificultan la transmisión de la luz a través de él. Es una medida de la claridad del líquido y se expresa en unidades de NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez). La turbidez puede ser causada por una variedad de factores, como la presencia de sólidos en suspensión, bacterias, algas y otros microorganismos.(Miguel Villanueva, 2019)

pH: Es una medida de alcalinidad o acidez de un líquido, y se refiere a la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua. Un pH de siete es neutral, un pH menor a siete indica acidez y un pH mayor indica alcalinidad. En el tratamiento de agua, es importante controlar de manera eficiente para evitar la corrosión de los equipos utilizados. (E. P. López, 2016)

Cloro residual: Se refiere a la cantidad de cloro disponible en una solución después de que se ha utilizado para desinfectar el agua. (Fustamante, 2017)

Cloro gaseoso: Es una forma de cloro que se encuentra en estado gaseoso a temperatura ambiente y presión atmosférica normal. El cloro gaseoso es un gas tóxico y altamente reactivo que se utiliza en diversas aplicaciones industriales como para la purificación del agua y la desinfección de superficies. Se debe de estar dentro del rango según la norma INEN para cumplir con una buena potabilización del agua.

Para tener en cuenta las cantidades y en las unidades que esta se observa son necesarias para una óptima potabilización del agua, se mira en la Tabla 6 los parámetros dados en la norma.

Tabla 2

Parámetros dados por la norma NTE INEN 1108.

Parámetros	Unidad	INEN 1108
ph	NTU	6,5 - 8,0
Turbiedad	NTU	5
Color verdadero	Pt - Co	15
Cloro libre residual	mg/L	0,3 - 1,5
Niquel	mg/L	0,07
Plomo	mg/L	0,01
Nitrato	mg/L	50,0
Nitrito	mg/L	3,0
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Cobre	mg/L	2,0

Nota: En la tabla se visualiza los parámetros a cumplir según la norma INEN 1108 para una correcta potabilización del agua.(GAD Municipales, 2020)

5.3. Elección del cloro en función de diferentes factores

Los factores que determinan su utilización en cuanto a la dosificación de cloro son:

- Numero de reactivos
- Fácil Abastecimiento
- Viabilidad de operación
- Seguridad (mínimo de riesgos para manipulación y almacenamiento del reactivo)
- Costos

Luego de revisar lo anterior, nos enfocaremos en las instalaciones existentes en la ciudad de Cuenca, la cual cuenta con instalaciones de tratamiento de agua tanto urbanas como rurales. Las instalaciones de tratamiento de agua de la ciudad incluyen:

- Planta de tratamiento de agua potable el Cebollar.
- Planta de tratamiento de agua potable de Tixán. (Espinoza Ortega y Abril Abril, 2020)
- Planta de tratamiento de agua potable de Culebrillas.
- Planta de tratamiento de agua potable de Sustag.

Las instalaciones en las zonas rurales de Cuenca tienen acceso a una amplia gama de sistemas de abastecimiento de agua con diferentes tipos de tratamiento, siendo los más importantes los sistemas de filtración tradicional o multietapas. (UCuenca, 2012) son:

1. Sidcay.
2. Sinincay.
3. Sayausí.
4. San Joaquín.
5. Baños.
6. El Valle Centro Parroquial.
7. Checa.
8. Patamarca San Andrés.

5.4. Planta de potabilización Patamarca San Andrés.

En esta revisión bibliográfica nos centraremos en la planta de tratamiento de agua potable Patamarca San Andrés, una de las plantas de tratamiento que abastecen de agua a las zonas rurales. Se puede decir que la fuente de agua utilizada para el abastecimiento de agua potable proviene del curso alto del río Machangar, especialmente de los canales de riego Jose Atancuri (2018).

Esta PTAP en el año 2018 constaba con 5000 usuarios aproximadamente dando el beneficio de agua potabilizada a 11 comunidades, a cada uno de los usuarios se le otorga 15 m^3 por mes con un costo de \$3,00. (Jose Atancuri, 2018)

En la PTAPP se toma en consideración las condiciones físicas y químicas, donde entre estos se debe de controlar la turbidez, sólidos totales disueltos, color y pH, ya que para cada

uno de estos se estable un rango en la norma INEN 1108 para la correcta potabilización del agua. (Maria Garcia, 2016)

5.5. Etapas de potabilización en la planta de Patamarca San Andrés.

Las plantas de potabilización de agua son infraestructuras diseñadas con instalaciones para tratar el agua cruda o agua de la superficie en agua potabilizada. Las diferentes plantas usan una variedad de procesos físicos, químicos para eliminar los contaminantes y asegurar que el agua sea segura para consumir.(Chulluncuy-Camacho, 2011)

A continuación se podrá observar algunos de los procesos mas comunes que se utilizan en las (PTAP) son:

- Captación
- Desarenado
- Coagulación
- Floculación
- Sedimentación
- Filtración
- Desinfección
- Almacenamiento

5.6. Sistemas automatizados para la dosificación de cloro:

Existen diferentes sistemas de dosificación de cloro gas para potabilizar el agua. A continuación, se enumera algunos de los sistemas más comunes.

1. Sistema de dosificación por vacío.
2. Sistema de dosificación por presión
3. Sistema de dosificación por peso

3. Sistema de dosificación por control.

3. Sistema automatizado de cloro gas.

Estudiaremos el caso del sistema automatizado de cloro gas que nos menciona que este brinda todas las garantías que son necesarias para la correcta desinfección del agua cruda y así mismo este proceso garantiza un agua potable de calidad para los usuarios.(Benítez, 2021) El clorador de gas que se encuentra en el mercado es un manual y semiautomático el clorador a gas HYDRO Serie 200 son instalados en cilindros, estos están diseñados para operación manual o semiautomática para cumplir con las especificaciones de fiabilidad. Tiene un diseño compacto que significa mayor confiabilidad y una vida más larga del equipo.(hydro Instrumens, s.f.) Las unidades Hydro Gas Chlorinator System se pueden utilizar para satisfacer casi cualquier necesidad. Existen varios aparatos que utilizan uno o más cilindros y aplican cloro directa o remotamente a piscinas, tanques, tuberías. Las unidades básicas de la planta de cloración de hidrogás se pueden combinar fácilmente para cubrir todo tipo de aplicaciones(hydro Instrumens, s.f.)

5.7. Formas del cloro

Las formas de cloro disponible que se encuentran disponibles para la desinfección del agua previamente filtrada son:

- Cloro gaseoso
- El hipoclorito de sodio o lejía
- El hipoclorito de calcio
- La preparación sobre el terreno de cloro mediante electrolisis de una solución de cloruro de sodio (electro cloración)

5.7.1. Características de las diversas formas del cloro

Al tener diversas formas para determinar el cloro a utilizar, se determina la tabla 9.

Tabla 3

Características de los diversos tipos del cloro.

Tipo de cloro	Forma	Concentración de cloro %	Seguridad
Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99	Gas toxico
Hipoclorito de sodio	Líquida amarilla	15	Líquido corrosivo
Hipoclorito de calcio	Solución blanca	De 60 al 70	Corrosivo.
Electrocloración chlorung	Solución NaCl	De 1 a 3 g/l	

Nota: Se observa los tipos de cloro que existen para realizar la dosificación de cloro en la diversas plantas potabilizadoras de agua.

5.8. Elección del cloro en función de diferentes factores

Los factores que determinan su utilización en cuanto a la dosificación de cloro son:

- Numero de reactivos
- Fácil Abastecimiento
- Viabilidad de operación
- Seguridad (mínimo de riesgos para manipulación y almacenamiento del reactivo)
- Costos

6. Marco metodológico

6.1. Establecer los parámetros iniciales según la norma INEN 1108 para el diseño del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés de la parroquia de Chiquintad ubicada en la ciudad de Cuenca – Ecuador.

Se determinara los parámetros iniciales de la planta de Agua potable Patamarca San Andrés, el cual se procederá a guiar en la norma INEN 1108, para el proceso de desinfección

del agua agua filtrada para llegar a ser agua potable siguiendo los parámetros de la norma INEN 1108 para obtener datos satisfactorios.

6.1.1. Primer acercamiento a la Junta administradora de agua Potable Patamarca San Andrés para toma de datos técnicos.

En el primer acercamiento hacia la PAPP San Andrés se reconoció el proceso que conlleva la potabilización del agua, en sus diferentes etapas para identificar sus procesos, se basa en el plano referencial de la distribución de la planta de potabilización de Patamarca San Andrés, comenzando con la captación de agua directamente de una arteria de riego del río Machángara.

- a) **Captación:** La captación del agua se realiza directamente desde el canal de riego del río Machangara con una entrada de 55.9 litros por segundo, del cual se utiliza en su totalidad además existe la posibilidad de aumentar la captación de agua en el caso de que sea necesario.
- b) **Caudalímetro.**
Un caudalímetro es un dispositivo utilizado para medir el caudal o flujo de líquidos en un conducto cerrado. Los caudalímetros utilizan diferentes tecnologías, como la medición de velocidad, la presión diferencial o el efecto Coriolis, para determinar el caudal volumétrico del fluido que fluye a través de ellos. Estos dispositivos son comúnmente utilizados en aplicaciones industriales y en procesos de control de calidad de agua potable.
- c) **Coagulación:** En este proceso tiene la finalidad de invalidar las cargas eléctricas de las partículas y a su vez transforma las impurezas que están en suspensiones finas, que luego puedan ser removida en el proceso de sedimentación y filtración. Aquí se forman los floculos y además el proceso que se lleva a cabo en esta etapa de tratamiento de agua potable son la dosificación de coagulantes como el sulfato de aluminio tipo A y tipo B. (Maria Garcia, 2016)
- d) **floculación:** Este proceso consiste en la agitación del agua que fue mezclada en el proceso de coagulación, este consta con cuatro unidades en cada unidad se da un tiempo de 15 minutos de floculación esto dicho por el técnico operativo de la planta.(Urrea, 2012)
- e) **Sedimentación:** En esta etapa se encuentran las canaletas dos de ellas se encuentran en la parte superior y una interna las cuales sirven para recoger el agua que se encuentra

sedimentada, el agua comienza a pasar a través de las placas en estas se adhieren y no pasan hacia los filtros. (IDROVO, 2010)

- f) **Filtración:** En este proceso consta de cuatro filtros, aquí es donde el agua ya sedimentada pasa hacia los filtros para retener sólidos suspendidos en el agua tales como minerales y floculos que no se pudo detener en la sedimentación. (IDROVO, 2010)
- g) **Desinfección:** El último proceso para que la potabilización termine es el proceso de desinfección y cual se realiza mediante la agregación de cloro gas, se coloca el cloro gas con un clorador de inyección directa además el cilindro cuenta con una varilla de vidrio, se agrega 18 libras de cloro gas por 24 horas en 52 litros/segundo, las 18 libras de cloro gas llega hacia un difusor de cloro piedra porosa donde se mezcla con el agua, una vez terminado este proceso pasa hacia el tanque de almacenamiento para la distribución de agua potable. Todo el proceso de dosificación de cloro se lleva a cabo de manera manual y tiene que estar en constante monitoreo por el operador.(M. G. R. López, 2016)

En el primer acercamiento con la planta de agua potable Patamarca se centró en la fase de desinfección para lo cual se procedió a la obtención de la recolección de datos de las bitácoras de los tres operadores en la planta donde estos datos reflejan la aplicación de cloro gas en referencia a la entrada de caudal de agua filtrada para su posterior desinfección y almacenamiento en uno de sus tanques con un nivel de cloro residual de 1 a 1.2 mg/L.

6.1.2. Revisión bibliográfica de sistemas de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas según la norma INEN 1108.

Según la norma INEN 1108 (NORMALIZACIÓN, 2020) data sobre el agua para el consumo humano establece varios requisitos para que el agua sea apta para consumir. Establece términos y definiciones tales como:

Agua para el consumo humano: Es el agua que se utiliza para el consumo humano directo o indirecto de las personas, incluyendo el agua potable y el agua utilizada en la preparación de alimentos y bebidas.

Sistema de abastecimiento: Es el conjunto de instalaciones y equipos que se utilizan para la captación d, tratamiento, almacenamiento y distribución del agua potable a una zona

geográfica determinada.

Sistema de distribución: Es el conjunto de tuberías válvulas, accesorios y equipos que se utilizan para transportar el agua potable desde el sistema de abastecimiento hasta los usuarios finales.

Límite permitido: Es el valor máximo o mínimo establecido por la norma INEN 1108 para un determinado parámetro, como la concentración de sustancias químicas en el agua. El límite permitido se establece con el fin de proteger la salud pública y garantizar la calidad de agua.

Tabla 4

Parámetros de la norma INEN 1108.

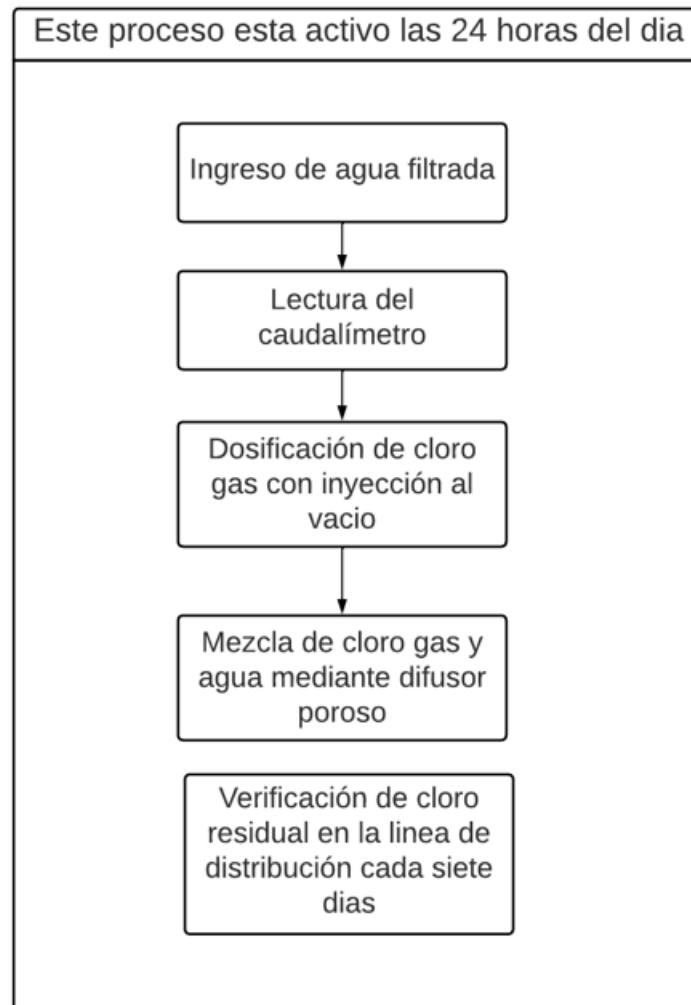
Parámetros	Unidad	Límite permitido
ph	Unidades de ph	6,5 - 8,0
Turbiedad	NTU	5
Color verdadero	Pt - Co	15
Cloro libre residual	mg/L	0,3 - 1,5
Niquel	mg/L	0,07
Plomo	mg/L	0,01
Nitrato	mg/L	50,0
Nitrito	mg/L	3,0
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Cobre	mg/L	2,0

Nota: En la tabla se visualiza los parámetros a cumplir según la norma INEN 1108 para una correcta potabilización del agua.(NORMALIZACIÓN, 2020)

6.1.3. Identificación de los elementos que se encuentran en la dosificación de cloro gas y su estado actual.

Figura 3

Proceso actual de dosificación de cloro gas.



Nota: Observamos el proceso de desinfección del del agua filtrada en la planta de agua potable Patamarca.

El actual proceso de desinfección del agua potable en la planta de agua Patamarca se encuentra operado de forma manual, los responsables de la desinfección del agua previamente filtrada son tres operadores los mismos que se encuentran operando durante las 24 horas del

día en tres diferentes turnos.

Captación de agua: El proceso de captación de agua en la Junta de Agua Potable Patamarca comienza con la extracción desde una arteria de riego del río Machángara. El caudal de agua se transporta hacia la planta mediante una tubería de acero con un diámetro de 200mm, que tiene una capacidad de transporte de aproximadamente 55l/s. En el extremo final de la tubería se encuentra un caudalímetro que permite medir con precisión el caudal de entrada hacia la planta de tratamiento de agua.

Cilindro de cloro gas: El contenedor para el cloro gas está construido de un acero al carbón 106A sin costura para almacenar y transportar cloro gaseoso de 68kg de capacidad, construido bajo normas americanas DOT - 500X, este contenedor del cloro gas se adquiere mediante compra hacia una empresa de distribución, y a su vez los operadores realizan el cambio al darse cuenta que el nivel de este mismo ha disminuido un porcentaje considerable.

Clorador Regal modelo 610: En la planta de tratamiento de agua potable Patamarca, se utiliza un Clorador de Inyección Directa REGAL modelo 610 para administrar el cloro gas, como se muestra en la figura 4. Este clorador tiene una capacidad de producción de 6 a 100 libras por 24 horas. El modelo 610 es específico para sitios donde no hay energía eléctrica para accionar una moto bomba reforzada o donde no hay agua a presión disponible. El cloro gas se regula a una presión de 20 psi mediante un regulador de diafragma.

Especificaciones

Peso: 8kg

Dimensiones: 57x17x45 cm

Marca: Regal

Tipo: clorador

Figura 4

Clorador de inyección directa REGAL modelo 610.



Nota: Clorador REGAL (S.f.)

Tuberías polietileno 3/8”: Actualmente se está usando una tubería de color negro de polietileno de diámetro de 3/8” con una longitud de 5m de uso para la aplicación de cloro gas directamente hacia el caudal del agua además cuenta con una conexión alterna para la función de desfogue de aire.

Válvula check y difusor de piedra porosa. Una válvula check, también conocida como válvula de retención, se utiliza para permitir que el fluido vaya en una dirección y evitar que fluya en la dirección opuesta. Se utiliza esta válvula para la aplicación directa de cloro gas en el caudal del agua.

El difusor poroso se utiliza para difundir aire u otro gas en un líquido a través de un material poroso. En este caso se está utilizando para la difusión de cloro gas en el caudal de agua. Se usa comúnmente en tratamiento de agua y procesos industriales donde se necesita transferir gases al agua o líquido. También se puede utilizar para mezclar líquidos o para la

eliminación de gases disueltos en el agua.

6.1.4. Establecimiento de las condiciones iniciales para diseño del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés.

- Se requiere potabilizar 50.000 litros de agua diariamente.
- La concentración de cloro residual libre deseada en el agua potable es de 0,3 a 1,5 mg/L.
- El agua a tratar proviene de un río cercano, por lo que presenta alta turbiedad y alta presencia de materia orgánica.
- Se descarta cloro granulado como agente desinfectante.
- Los equipos de dosificación y monitoreo deben estar ubicados en una sala específica, con ventilación adecuada y acceso restringido.
- Se deben cumplir las normativa NTE INEN 1108 y regulaciones locales aplicando en cuanto a la dosificación de cloro gas en agua potable.
- El caudal máximo de agua a tratar es de 55 litros por segundo.

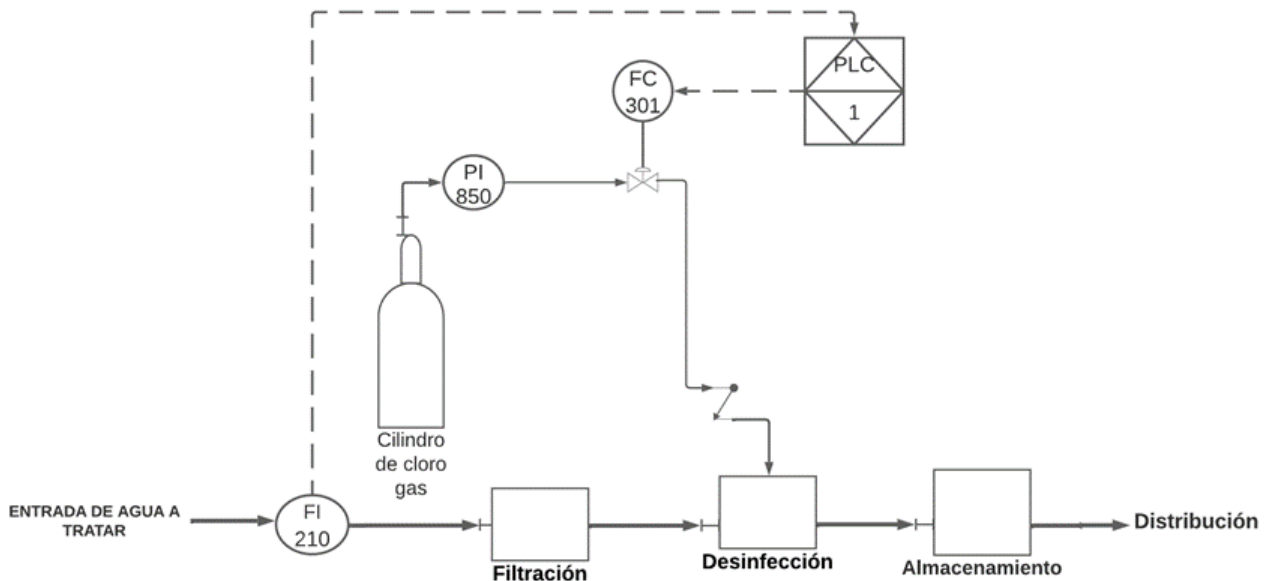
6.2. Proponer el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para el agua a potabilizar en la planta de agua Patamarca San Andrés.

Para dar el diseño adecuado a la planta de agua Patamarca San Andrés, se debe considera varias fases las cuales ayudaran a dar un diseño versátil para una posible implementación: Al identificar cada una de las actividades que realizan los operadores en el proceso de dosificación de cloro gas de la Planta tratamiento de agua potable Patamarca se logró identificar que el proceso de dosificación debe ser considerada para un sistema automático, por lo que la planta esta expuesta a errores humanos, además se puede agregar cantidades insuficientes al ser un proceso de constante verificación. Los operadores son los encargado de verificar que la Planta de tratamiento de agua potable este en su correcto funcionamiento es por ello que al realizar varias actividades en la planta interrumpen la verificación de aplicación de cloro gas en determinados tiempos y es en aquellos momentos que la cantidad de cloro no son los exactos.

Anteriormente identificamos que para una correcta dosificación es completamente necesario tener la medida del caudal para agregar la cantidad suficiente de cloro al sistema de dosificación.

Figura 5

Diagrama P& ID del sistema automático de dosificación de cloro gas



Nota: Diagrama P& ID del sistema de la etapa de dosificación de cloro gas

6.2.1. Elaboración del cálculos de dimensionamiento según lo requerido

- **Para determinar el caudal de agua se dispuso de la siguiente formula:** (“Chemical Injection Technologies Technical Bulletin”, 1993)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q= Caudal [m^3/s]

V= Volumen del tanque [m^3]

t= Tiempo [s]

Se remplazo los datos en base a los datos de la Planta de agua.

$$Q = \frac{1m^3}{600s} \quad (2)$$
$$Q = 0.002 \frac{m^3}{s}$$

- **Determinara la tubería que se debe utilizar para el sistema de dosificación de cloro gas.**

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{V*}} \quad (3)$$

Donde:

Q= Caudal [m^3/s]

V= Velocidad [m/s]

D= Diámetro interno de la tubería [m]

Se remplazo los datos en base a los datos de la Planta de agua.

$$D = \sqrt{\frac{4*0,002m^3/s}{0,8m/s*}} \quad (4)$$

Obteniendo asi:

$$D = 0,05641m \quad (5)$$

Teniendo el cuenta el diámetro de la tubería, y basándonos en la norma NTE INEN 440 donde especifica el color de la tubería óptimo para ciertos casos, se procede a buscar el mas apto para determinar el químico cloro gaseoso. (“INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN”, 2010)

En la sección 5 (GASES NO COMBUSTIBLES - GASES LICUADOS), la norma explica que su color debe ser amarillo oreo. (“INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN”, 2010)

Tabla 5

Norma de colores de la norma NTE INEN 440 para tubería.

Fluidos	Categoría	Color
Agua	1	verde
Vapor de agua	2	gris-plata
Aire y oxígeno	3	azul
Gases combustibles	4	amarillo ocre
Gases no combustibles	5	amarillo ocre
Ácidos	6	anaranjado
Álcalis	7	violeta
Líquidos combustibles	8	café
Líquidos no combustibles	9	negro
Vacío	0	gris
Agua o vapor contra incendios	–	rojo de seguridad
GPL (gas licuado de petróleo)	–	blanco

Nota: Se observa la norma de colores apta según la norma NTE INEN 440, la cual especifica que tipo de color es apto para tubería de cloro gas. (“INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN”, 2010)

Posteriores a ellos se verifica las características de tipo de color de la tubería.

Tabla 6

Norma de colores de la norma NTE INEN 440 para tubería.

Color	Coordenadas
Gris-plata	$x > 0.50$ $x > 0.545 - 0.35y$ $y > 0.19x + 0.257$
Café	$x < 0.588 - 0.25y$ $y < 0.39x + 0.195$ $0.09 < x < 0.017$ $y > 0.840 - 1.07x$ $y > 0.77x + 0.075$
Amarillo ocre	$y < 0.823 - 0.94x$ $y < x < +0.006$ $0.30 < x < 0.45$

Nota: Se observa la norma de colores apta según la norma NTE INEN 440, la cual especifica que tipo de color es apto para tubería de cloro gas. (“INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN”, 2010)

Al verificar el contenido de la Norma NTE INEN 440 para el código de colores de la tubería y también el obtener el diámetro óptimo para la tubería, se procede a examinar la norma NTE INEN 2655 la cual se especializa en la IMPLEMENTACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS PREFABRICADAS EN SISTEMAS PÚBLICOS DE AGUA POTABLE, donde especifica que la tubería para gases no combustibles debe ser de un diámetro máximo de 20 mm y un mínimo de 10 mm. Al identificar en los parámetros

de la norma INEN 440, junto con los cálculos realizados se demuestra que la tubería de diámetro de 10 mm es la ideal para transportar el cloro gas.

■ **Nivel de cloro.**

Para determinar el nivel de cloro en función del caudal de entrada, es importante tener en cuenta una condición fundamental que el caudal máximo del clorador de gas debe ser al menos 20 veces su tasa mínima, independientemente de la capacidad del tubo de medición. Por esta razón, es necesario comprender los siguientes términos básicos: (“Chemical Injection Technologies Technical Bulletin”, 1993)

Dosificación: La dosificación es el proceso de medición y cálculo de la cantidad correcta de un ingrediente o sustancia que se debe utilizar en una mezcla o solución. En tratamiento de agua también se refiere a la cantidad establecida mediante una norma.

Demanda: La demanda en sistemas de potabilización se refiere a la cantidad de agua que se necesita tratar para satisfacer las necesidades de consumo humano. Esto incluye la eliminación de impurezas, bacterias y otros contaminantes para hacer que el agua sea segura para beber. La demanda puede variar según la cantidad de personas que utilizan el sistema y la calidad del agua de entrada.

Cloro residual: El cloro residual es la cantidad de cloro que queda en el agua después de que se ha aplicado un tratamiento de desinfección con cloro. El cloro residual es importante porque ayuda a garantizar que el agua siga siendo segura para el consumo humano a medida que fluye por las tuberías y se distribuye a los usuarios. El nivel de cloro residual en el agua potable está regulado por las autoridades sanitarias y puede variar según la ubicación y la temporada.

Al tener en cuenta estos términos se plante al siguiente formula: (“Chemical Injection Technologies Technical Bulletin”, 1993)

$$PPD = \frac{L}{seg} * 0.012 * PPM \quad (6)$$

Donde:

PPD o GMS/HR = Libras de cloro por día [*lb/d*]

PPM o mg/l = Unidad en peso de cloro por un millón de unidades en peso de agua. (Cantidad

de Cloro residual. [mg/L].

Se remplazo los datos en base a los datos de la Planta de agua.

$$PPD = 55 \frac{L}{seg} * 0.012 * 16 \frac{MG}{L} \quad (7)$$

Obteniendo así:

$$PPD = 10,56 L \quad (8)$$

Se observa que el cloro necesario para la dosificación de la planta es de 10,56 l/s el cual ayudara a eliminar las bacterias necesarias para que el agua sea apta para el consumo humano.

6.2.2. Definición de las necesidades dadas por la planta para la dosificación de cloro gas.

Se requiere seleccionar un sistema de control que permita ajustar la dosificación de cloro gas en función del agua que previamente fue filtrada, con el objetivo de obtener resultados favorables en la dosificación. Además es importante mencionar que la programación controla automáticamente la dosificación de cloro gas, asegurando que este dentro del rango establecido en la norma INEN 1108..

Tabla 7

Condiciones dadas a controlar.

Ítem	Condición
1	Ingreso de cloro gas
2	Evitar gastos excesivo del químico
3	Manipulación del entorno
4	Adquisición de datos
7	Monitoreo continuo del sistema
5	Optimización
6	Evita riesgo de contacto
7	Amigable con el usuario

Nota: En la tabla se observa las condiciones dadas para realizar la dosificación de cloro en la diversas plantas potabilizadoras de agua.

6.2.3. Definición de control de cloro gas en base al caudal de ingreso.

Teniendo en cuenta la información de las bitácoras de los operadores donde se encuentra registrado la cantidad de cloro aplicado en diferentes caudales de agua se determina que el ingreso de cloro depende exclusivamente del caudal de agua. Para obtener la ecuación para la dosificación de cloro gas, se toma como referencia las bitácoras de los operadores de la planta de agua potable Patamarca, estos datos se tabularon de mayor a menor con él con el fin de obtener la línea de tendencia para la dosificación.

Tabla 8

Principales datos para obtener la ecuación de cloro gas en base al caudal.

Dato	Caudal (l/s)	Ingreso de cloro (psi)
Mayor	55	16
Menor	28	6

Nota: En la tabal se observa el valor mínimo y máximo de caudal con referencia a la aplicación de cloro gas.

Al tener el valor mayor y menor se realiza la linea de tendencia.

Por medio de la gráfica se obtiene la ecuación lineal.

$$Y = 0,2963X - 0,2963 \quad (9)$$

6.2.4. Instrumentos (sensores y actuadores) para el sistema de dosificación de cloro gas.

En cuanto a sensores y actuadores, cada uno tiene una función específica, los sensores son aquellos que permiten obtener variaciones de magnitud física para así convertir en señales eléctricas; mientras que los actuadores es completamente lo contrario, ya que estos convierten señales eléctricas en variaciones de magnitud física.

- Válvula de control proporcional.

Figura 6

Válvula de control proporcional



Nota: Válvula de control proporcional SIPART PS2 con 4 a 20 mA/HART marca SIEMENS, disponible en (SIEMENS, 2019) .

Características.

1. Entrada de control: 0 - 4 a 20mA - 0 a 5V - 10V
2. Salida de realimentación: 0 - 4 a 20mA - 0 a 5V - 10V
3. Fuente de alimentación: DC24V \pm 10
4. Comunicación: MODO PROFINET
5. Precisión: Repita la precisión de posicionamiento < 0.2
6. Modo de funcionamiento: manual / automático

7. Rango de modulación >25:1

- Caudalímetro.

Es un sensor de flujo electromagnético diseñado para aplicaciones de agua subterránea, agua potable, aguas residuales y lodos de aguas residuales.

Figura 7

Sensor SITRANS F M MAG 5100 W



Nota: Sensor SITRANS F M MAG 5100 W marca Siemens, disponible en (SIEMENS, 2010) .

Características

1. Revestimiento de caucho duro NBR y caucho duro para todas las aplicaciones de agua. Los recubrimientos de EPDM están aprobados para agua potable.
2. Detección de fugas de agua de alta precisión a caudales bajos gracias al espaciador cónico.

3. Dispositivo SENSORPROM puede cargar automáticamente ajustes y valores de calibración.
4. DN 50 a 1200 mm (2.^a 48").
5. Compacto o separado con máx. 500 m de cable.
6. Alimentación eléctrica 115 a 230 V AC, 12 a 24 V AC/DC.

- Válvula check

Son ideales para aplicaciones de flujo de vapor o agua de alimentación de calderas para estrangular y cerrar el flujo de agua o vapor, esta depende de la corriente o presión de los flujos, teniendo en cuenta esta definición, el funcionamiento de esta válvula ayudara a evitar un retorno de cloro gas al sistema.

Figura 8

Válvula de Control HFV Rosca NPT Lineal



Nota: Válvula de Control HFV Rosca NPT Lineal marca Siemens, disponible en (SIEMENS, 2021) .

Características

1. Diferencial de hasta 150 psi en la válvula cuando se modula.
 2. Alta presión de cierre.
 3. Cuerpo, vástago y obturador de acero inoxidable.
 4. Característica de flujo lineal o de igual porcentaje.
 5. Cierre ANSI Clase IV.
 6. Alimentación eléctrica: 115 a 230 V en AC, 12 a 24 V en AC/DC.
 7. Entrada tipo analógica.
 8. Válvula Fail closed.
- Rotámetro

Son ideales para la medición en el caudal de líquidos y gases.

Figura 9

Mag 6000 I Siemens Transmisor de Flujo



Nota: Mag 6000 I Siemens Transmisor de Flujo marca Siemens, disponible en (SIEMENS, 2016) .

Características

1. Salida: intensidad, digital y relé.
2. Nivel de protección: IP67 (NEMA 4x). Grado de protección: IP67 (NEMA 4x).
3. Precisión: 0.2
4. Temperatura de trabajo: -20 a 60°C (-4 to 140 °F).
5. Alimentación eléctrica: 12 a 24 V en AC/DC y 115 a 230 V en AC.
6. Display: Retro iluminación de 3 x 20 caracteres.

- Bascula.

Ofrece una manera fácil y precisa de monitorear los cilindros de cloro, CO₂ y amoníaco, con el fin de dar un nivel de gas para la detección del nivel del mismo.

Figura 10

Bascula CHLOR – SCALE 150-4



Nota: Bascula CHLOR – SCALE 150-4 para cilindros de cloro, So₂ y amoníaco. (Flow, 2018)

Características

1. Capacidad: 72 Lb.
2. Alimentación: 12-24 V AC/DC.
3. Comunicación: Analógica.
4. Precisión: 0.2

6.2.5. Entradas y salidas determinadas para el sistema de dosificación de cloro gas.

Se determina las entradas y salidas para el sistema de dosificación de cloro gas, el cual captara la información del entorno del la Planta para así actuar y generar una acción

determinada.

Tabla 9

Definición de entradas y salidas.

Instrumento	Entradas y Salidas	Alimentación
Válvula de control proporcional	Salida digital	24V DC
Caudalímetro	Entrada analógica	110V AC
Válvula Check	mecanico	24V DC
Rotámetro	Salida digital	24V DC
Bascula	Entrada analógica	110V AC

Nota: En la tabla se visualiza las diversas entradas y salidas de cada instrumentos para el sistema diseñado

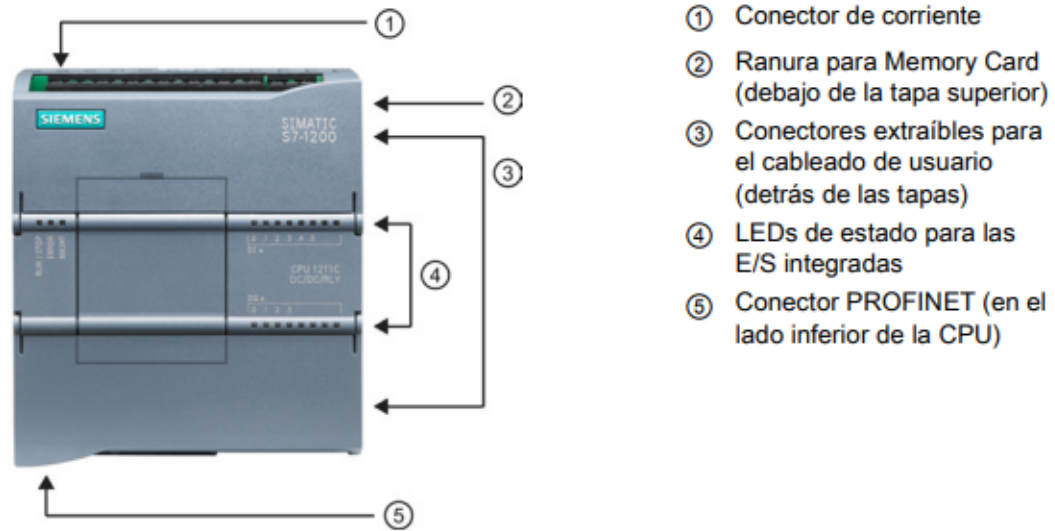
6.2.6. Opción del controlador programable PLC e interfaz hombre-maquina (HMI).

a) Lógico programable (PLC S7-1200).

Un PLC es un dispositivo lógico programable de la marca siemens.el cual es utilizado en aplicaciones industriales que permiten controlar maquinas mediante la programación de la lógica y la automatización.

Figura 11

PLC Siemens S7-1200.



Nota: Dispositivo PLC 1214C/DC/CD/RELÉ, disponible en (SIEMENS, 2014) .

Tabla 10

Datos técnicos del modulo PLC S7-1200.

Parámetro	Unidad	Valor
Especificaciones generales	–	CPU1214C
Dimensiones físicas	mm	110x100x75
Condiciones ambientales	°C	-40 a +70
Tensión nominal	VDC	24
Corriente de entrada	mA	5
E/S digitales	–	14 in/10 out
E/S analógicos	–	2
Puerto de comunicación	–	1 puerto Ethernet PROFINET

Nota: La tabla muestra los datos principales del modulo CPU 124/DC/DC/relé.(SIEMENS, 2014)

b) **Módulo de I/O digitales.**

El módulo de las entradas y salidas digitales Siemens es un dispositivo que se utiliza para controlar y monitorear diversos dispositivos electrónicos en un sistema automatizado. Este módulo se encarga de recibir señales de entrada digital como interruptores o sensores y a su vez enviar señales de salida digital como apertura o cierre de válvulas, luces, motores. Es una parte esencial de los sistemas de control industrial y automatización de procesos.

Figura 12

Módulo de salidas digitales.



Nota: El modulo 6ES7222-1BF32-0XB0 (SIEMENS, 2023b) .

Tabla 11

Datos técnicos del módulo de salidas digitales

Parámetro	Unidad	Valor
Especificaciones generales	–	6ES7222-1BF32-0XB0
Dimensiones físicas	mm	45X100X75
Condiciones ambientales	°C	-20 a 60
Tensión de alimentación	VDC	20,4 - 28,8
Grado de protección	IP	20
Salidas digitales	–	8X24
Entradas digitales	–	8X24

Nota: La tabla expuesta muestra los datos técnicos principales del módulo 6ES7222-1BF32-0XB0(SIEMENS, 2023b)

c) **Interfaz hombre maquina (HMI).**

Un HMI consiste en una pantalla táctil y serie de botones que permite ingresar y observar información, ajustando parámetros según sea necesario. El HMI es una herramienta esencial para cualquier operador, ya que mejora la interacción con la máquina de manera efectiva y eficiente, lo que puede mejorar el proceso y reducir los tiempos de inactividad.

Figura 13

HMI KTP700 basic .



Nota: El dispositivo 6AV2123-2GB030AX0, se encuentra en:(SIEMENS, 2023a) .

Tabla 12

Datos técnicos del módulo HMI KTP700.

Parámetro	Unidad	Valor
Información general	–	KTP700 Basic
Dimensión diagonal	in	7
Condiciones ambientales	°C	0 a 50
Voltaje de alimentación	VDC	24
Grado de protección delantera	IP	65
Grado de protección posterior	IP	20
interfaz	–	PROFINET/Serial/EtherNet/IP

Nota: En la tabla se observa los datos técnicos principales del HMI KTP700(SIEMENS, 2023a)

6.2.7. Diseño de sistema.

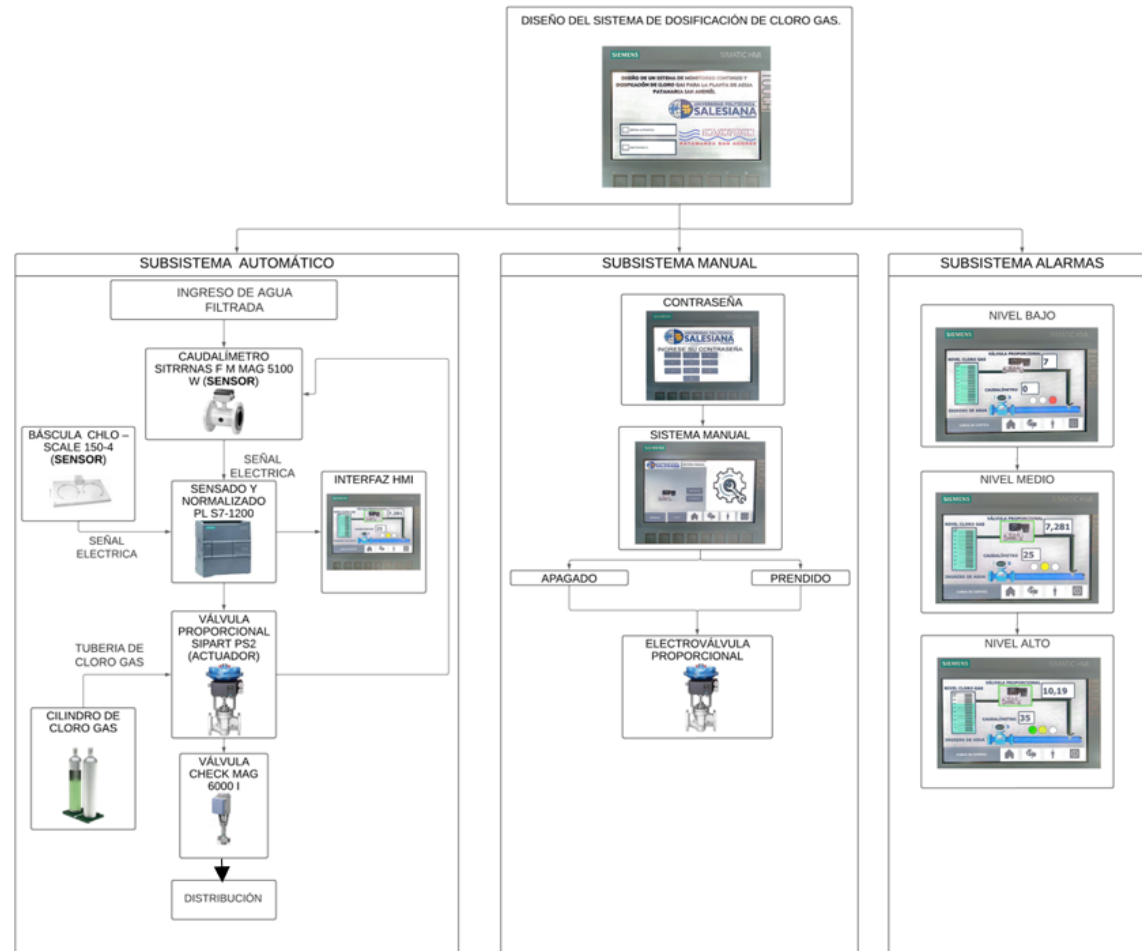
El diseño del sistema crea un plan detallado para la construcción y entendimiento del sistema donde se cumpla con los requisitos. Este proceso implica identificar las necesidades del usuario. Aquí se define la arquitectura del sistema, con el objetivo de diseño de un sistema que

funcione de manera eficaz y eficiente, y sea aceptable y adaptable para el operador. Para usar el lenguaje de programación se baso en la norma IEC 61131-3 (Arias Polanco, 2019). Esto nos dice qué tipo de lenguaje usar para el módulo PLC, dependiendo del uso previsto, es mejor y más fácil decidir qué lenguaje es mejor, y en este caso seguimos adelante y usamos el lenguaje LAD o Ladder Diagram para automatizar el sistema. La arquitectura del sistema esta dada por diferentes segmentos en los cuales podemos evidenciar en la figura 26, el subsistema automático, subsistema manual, y las diferentes alarmas de aviso para el sistema de dosificación de cloro gas.

A continuación se explica cada uno de los proceso del diseño del sistema de dosificación de cloro gas con sus respectivos instrumentos y su funcionamiento.

Figura 14

Diagrama de bloques del diseño del sistema de dosificación de cloro gas.

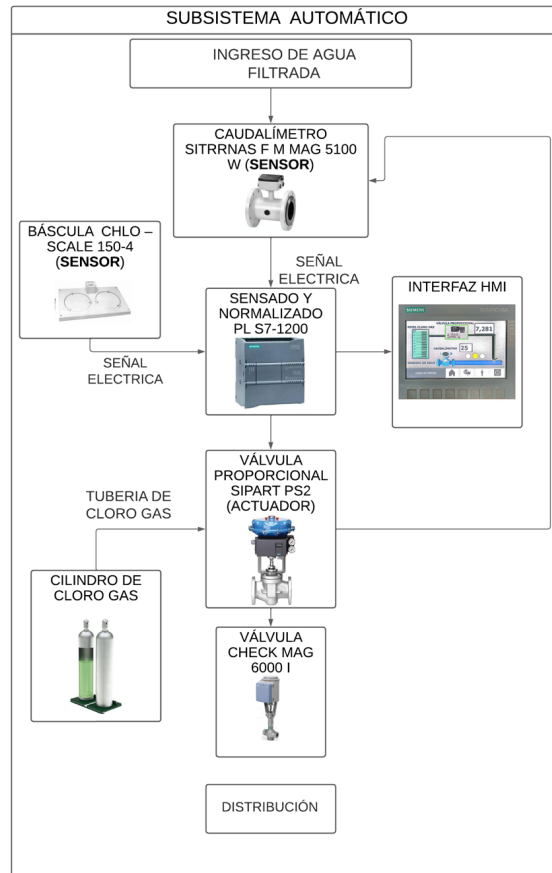


Nota: Se muestra el diseño de la arquitectura del sistema de dosificación de cloro gas.

- Subsistema automático:

Figura 15

Diagrama de bloques subsistema automático.



Nota: Se observa el diagrama de bloques en sus etapas del subsistema automático.

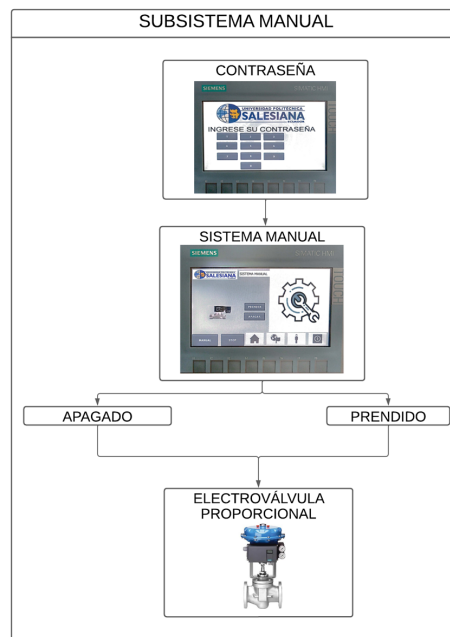
Tenemos el ingreso del caudal esta señal es adquirida por el sensor del caudalímetro SITRANS F M MAG 5100 W, visualizando el valor en litros sobre segundos, que se observara en el entorno del HMI con las descripción de caudalímetro, este dirige la señal hacia el PLC S7-1200 donde se encuentra programada la ecuación que adquiere la señal del caudal con la variable dependiente y sus respuesta ajustamos mediante la función

normal X para la salida hacia la válvula proporcional la cual entrega la dosis calculada de cloro gas en función de su caudal para emitir un valor que enviara la señal de salida hacia la válvula proporcional SPIRAT PS2, el valor calculado de cloro gas se mostrara en el HMI en una etiqueta numérica, además, este resultado podemos observar en una línea de tiempo, el ingreso de caudal y la dosis entregada de cloro gas, esto se puede obtener al presionar el botón de curva de control en la interfaz del HMI, además cuando la válvula proporcional esta activada se encuentra en un recuadro verde esta se visualiza en la parte superior con la descripción de válvula proporcional. La válvula MAG 6000 I el sistema no controla sin embargo se vio pertinente colocar para que el cloro gas no retorne a la válvula de escape para asegurar que se este vertiendo la dosis correcta.

- **Subsistema manual:**

Figura 16

Diagrama de bloques subsistema manual.



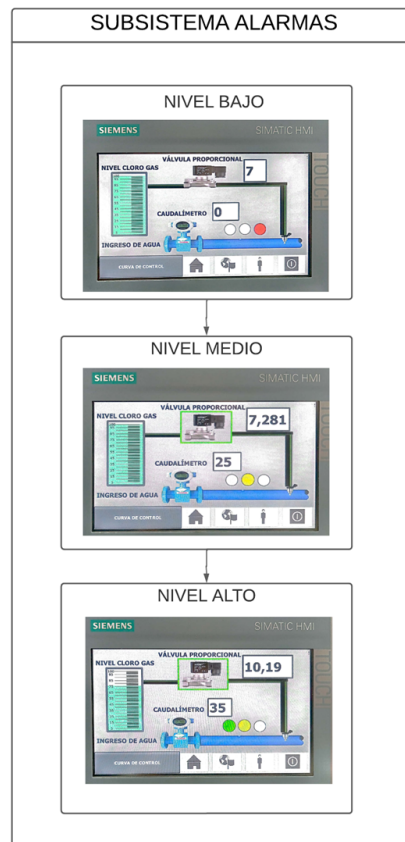
Nota: Se muestra el diseño de la arquitectura del subsistema manual

Para el subsistema manual se ingresa luego de colorar la respectiva contraseña en el HMI, al ingresar en el apartado de sistema manual nos permite controlar la válvula proporcional SIPART PS2 en estados de prendido que se identifica con un recuadro de color verde alrededor de la imagen de la válvula proporcional y en estado de apagado desaparece el recuadro verde, este proceso es útil para realizar el respectivo cambio del cilindro de cloro gas.

- **Subsistema de alarmas:**

Figura 17

Subsistema de alarmas.



Nota: Se aprecia el subsistema de alarmas con el identificador de colores para el valor (l/s) del caudal.

Para este sistema está establecido tanto para el nivel de entrada del caudalímetro SITRRNAS F M MAG 5100 W donde nos indica en color rojo en niveles menores a 25 l/s y color amarillo se encuentra de 26 l/s a 35 l/s y en el color verde nos indica un caudal de 36 l/s a 55 l/s que es su máxima capacidad, para censar el nivel de cloro gas con la Bascula CHLO – SCALE 150-4 se visualiza directamente su nivel en el HMI donde esta especificado Nivel de cloro gas.

6.3. Simulación del sistema de dosificación de cloro gas y monitoreo.

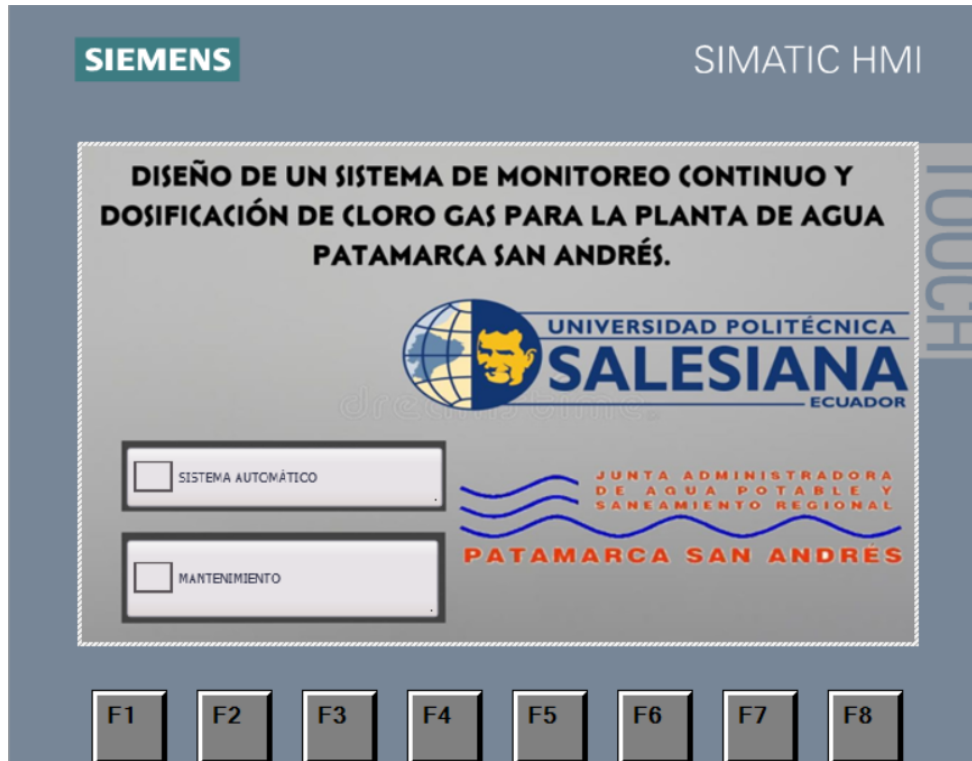
Para simular el sistema de dosificación de cloro gas se utilizó el software TIA portal en su versión V16 y una interfaz HMI con el módulo, KTP700 Basic, en el HMI se observa la entrada numérica del caudal en litros sobre segundo y la respectiva salida numérica de la cantidad de cloro gas en libras por pulgada cuadrada (PSI), además se utilizó el software Factory IO para simular el nivel del tanque del cloro gas. El lenguaje de programación que se usa en los bloques de programación es el KOP. Además, los bloques de función son para organizar los subsistemas del sistema de dosificación de cloro gas.

6.3.1. Interfaz HMI para el sistema de dosificación de cloro gas.

En el diseño de la interfaz de la pantalla principal HMI permite a los operadores elegir entre el modo de sistema automático o mantenimiento, lo cual es una característica importante en el diseño de la interfaz. En la pantalla principal o home el operador optara por elegir una de las funciones como se aprecia en la figura 18

Figura 18

Diseño de la interfaz HMI principal para la dosificación de cloro gas.

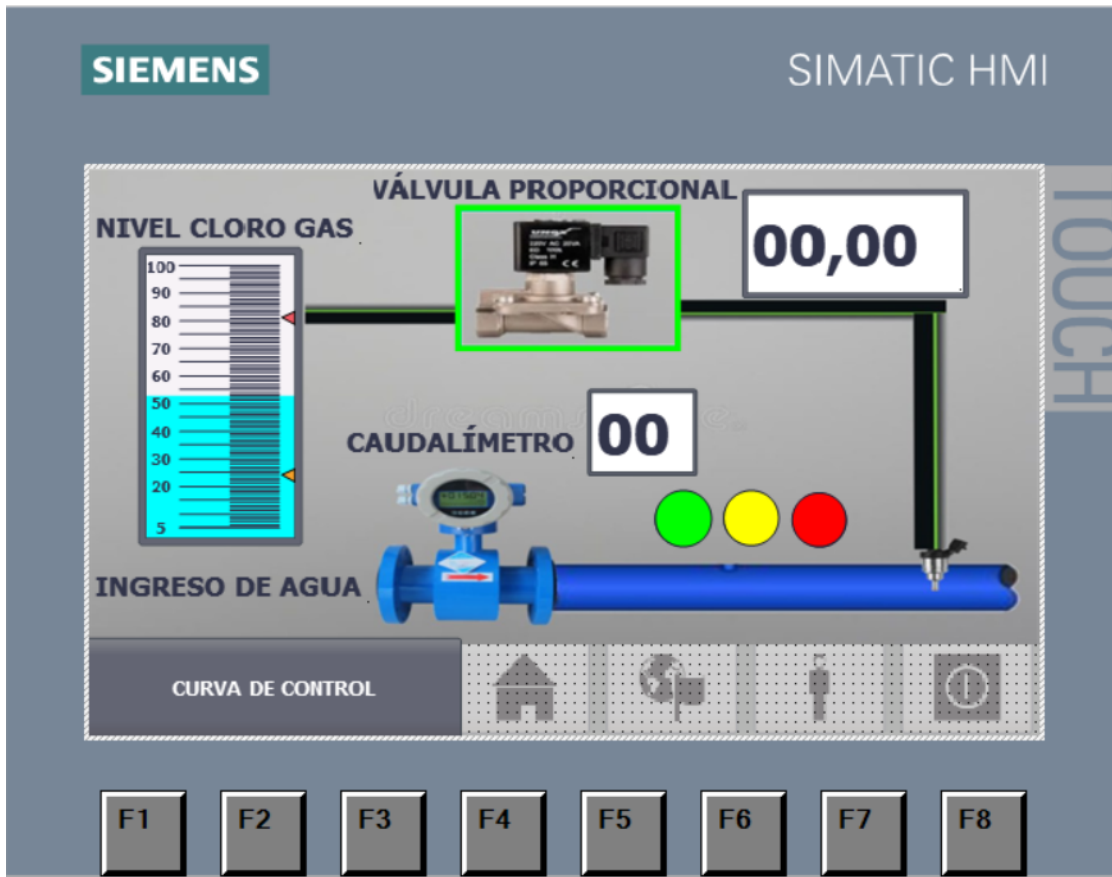


Nota: vista principal del HMI.

En la interfaz del HMI al pulsar en la opción de sistema automático, se observara la entrada de caudal (l/s) y la respectiva salida de la cantidad de cloro (psi) que agregar en la dosificación. El diseño de la interfaz HMI proporcionar al operador una vista general y visualización del sistema en tiempo real, se puede evidenciar en la figura 19

Figura 19

Simulación en HMI del subsistema automático.

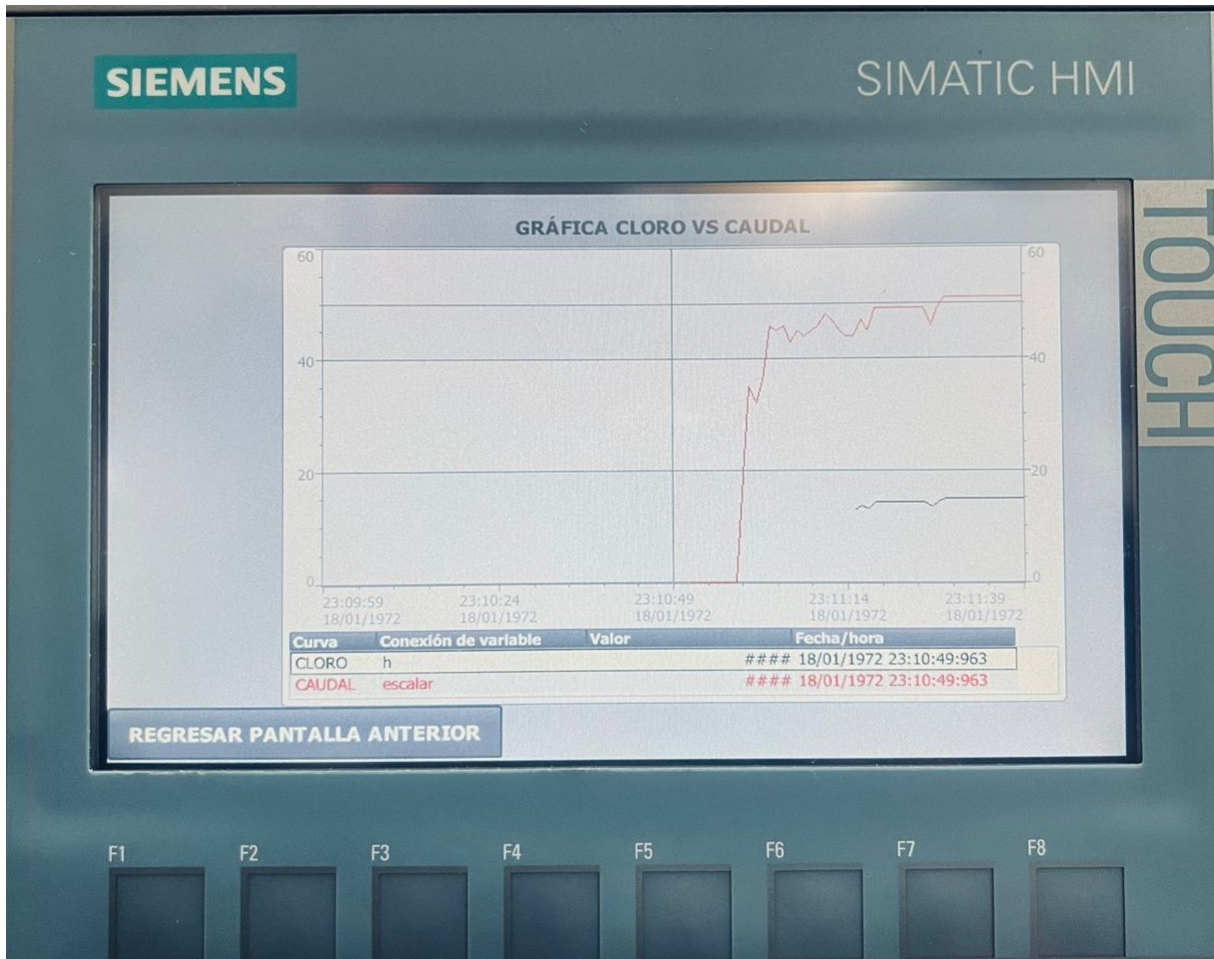


Nota: vista del HMI en el sistema automático.

En la interfaz del subsistema automático tenemos un acceso que nos permite monitorear la curva de aplicación del cloro y la entrada de caudal respectiva para el sistema de dosificación de cloro gas, esto permitirá al operador la visualización de mejor manera para identificar la entrada de caudal y la aplicación de cloro es la correcta.

Figura 20

Curva de control de Caudal y cloro gas en el subsistema automático.



Nota: vista del HMI en la opción curva de control.

Para la parte final de la interfaz de del HMI tenemos un subsistema de mantenimiento en este nos permite controlar de manera manual la válvula proporcional en estado de apagado y prendido, este proceso es útil para el respectivo cambio del cilindro contenedor de cloro gas.

Figura 21

Interfaz de sub sistema manual en HMI para controlar la válvula proporcional.



Nota: Visualización del del HMI para la parte de mantenimiento.

6.3.2. Simulación en el software Factory IO.

Factory IO es un software de automatización industrial que permite a los usuarios crear sistemas simulados de producción en un entorno virtual. Con Factory IO, los usuarios pueden diseñar y probar sistemas automatizados, sin un entorno físico real. Además, Factory IO es compatible con diferentes plataformas de automatización como en este caso se puede enlazar a PLC lo que nos permite verificar el nivel del tanque de cloro gas.

Figura 22

Simulación en Factory IO para el entorno del cilindro cloro gas.



Nota: Visualización de la simulación del llenado del cilindro cloro gas con Factory IO.

6.4. Análisis de costo de implementación del sistema de monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas para la Planta de agua Potable Patamarca – San Andrés.

La meta del sistema de dosificación de cloro gas planteado, debe tener varias características como es: que sea más rentable que otras marcas que comercializan el mismo producto, que sea de fácil manipulación para los operarios y que los materiales sea los mas aptos posibles. Teniendo en cuenta esto se analiza el costo directo e indirecto para una posible implementación del sistema.

6.4.1. Costos propuestos

- **Costos directos**

Los costos directos están dados por las inversiones puestas por la empresa, es decir, los costos reales de los materiales para manufacturar dicho producto.

- **Costos indirectos**

Los costos indirectos son realizados por la empresa para materiales que no ayudan o atribuyen a la producción final del producto.

Para el sistema de monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas se define los costos directos de materiales para los siguientes conceptos:

1. Instrumentos de control
2. Sistema de inyección de cloro gas
3. Sistema eléctrico y electrónico
4. Estructura mecánica.

Estos son montos económicos que se identifican como valores reales para la empresa de agua potable Patamarca - San Andrés para construir el sistema de dosificación de cloro gas en la etapa de desinfección.

Para determinar el montó económico para la implementación del sistema, se analizo la plantilla APU (Análisis de Precio Unitario).

- **Costo de materiales**

En general, los costos de los materiales son razonables y proporcionales a la naturaleza del proyecto. Algunos elementos, como la válvula de control proporcional, el rotámetro y la báscula, representan un desembolso significativo, pero son fundamentales para asegurar la precisión y eficiencia del sistema de dosificación. Por otro lado, hay elementos más asequibles, como los cables y las válvulas check, que también son imprescindibles para el correcto funcionamiento del sistema.

Tabla 13*Precio por materiales.*

EQUIPOS					
MATERIALES	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	RECARGO	COSTO FINAL
TUBERÍA	5	0,70	3,50	0,00	3,50
BREAKERS 16 AMPERIOS	1	27,00	27,00	0,00	27,00
FUENTE DE 24 VOLTIOS	1	84,80	84,80	0,00	84,80
CABLE AWG #16	20	0,60	12,00	0,00	12,00
CABLE AWG #14	20	0,60	12,00	0,00	12,00
PERFIL DE ALUMINIO CUADRADO	2	40,00	80,00	0,00	80,00
TABLERO DE CONTROL INDUSTRIAL	1	150,00	150,00	00,00	150,00
VÁLVULA DE CONTROL PROPORCIONAL	1	2.400,00	2.400,00	46,00	2.446,00
VÁLVULA CHECK	1	177,65	177,65	0,00	177,65
ROTÁMETRO	1	1.750,00	1.750,00	40,00	1.790,00
BÁSCULA	1	2.200,00	2.200,00	100,00	2.300,00
TERMINALES DE PUNTA	2	22,90	45,80	0,00	45,80
MÓDULOS DE COMUNICACIÓN	1	140,00	140,00	0,00	140,00
PLC S7 1200	1	920,00	920,00	28,00	948,00
HMI KTP 700 BASIC	1	1.600,00	1.600,00	83,00	1.683,00
INTERRUPTOR	2	22,55	45,10	0,00	45,10
	SUBTOTAL M				9.944,85

Nota: En la tabla se evidencia el costo de materiales para el sistema de dosificación de cloro gas.

El análisis de los costos de la materia prima necesaria para la implementación del sistema de monitoreo y dosificación de cloro gas revela un total de \$9.944,85. Esta cifra refleja la inversión requerida para adquirir todos los elementos indispensables para llevar a cabo el proyecto en la planta de agua Patamarca-San Andrés, en la parroquia de Chiquintad, Cuenca - Ecuador.

- Costo de mano de obra Indirecta

Son personas que ayudan a las personas con mano de obra directa, es decir, apoyan o ejecutan trabajos administrativos. En la mano de obra indirecta, se identifica la participación de profesionales altamente calificados, como ingenieros mecatrónicos e ingenieros químicos, cuya experiencia y conocimientos serán fundamentales para el diseño, planificación y supervisión adecuada del sistema. Asimismo, la presencia de un capacitador permitirá asegurar que el personal operativo adquiera las habilidades necesarias para operar el sistema de manera eficiente y segura.

Tabla 14*Mano de obra Indirecta.*

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	COSTO MENSUAL	COSTO
Ingeniero Mecatrónico	1	55,00	6,87	1650,00	1650,00
Ingeniero Químico	1	55,00	6,87	1650,00	1650,00
Capacitador	1	8,30	4,15	250,00	250,00
	SUBTOTAL N				3,550,00

Nota: En la tabla se aprecia el costo de mano de obra indirecta para el sistema de dosificación de cloro gas.

El costo total de la mano de obra indirecta, asciende a \$3.550,00. Esta inversión refleja la importancia de contar con un equipo profesional y capacitado para la implementación exitosa del proyecto. Es fundamental reconocer que este costo es una inversión en la calidad del agua que se suministrará a la comunidad, lo que a su vez contribuirá positivamente a la salud pública y al bienestar de los habitantes.

- Costo de mano de obra directa

En la mano de obra directa, se encuentran los operadores encargados de la operación y control diario de toda la planta potabilizadora. Aunque su jornal por hora es menor, su papel en el proceso de potabilización es esencial para garantizar que las operaciones se lleven a cabo correctamente y se mantenga la calidad del agua potable.

Tabla 15*Mano de obra directa.*

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HORA	COSTO HORA	COSTO MENSUAL	COSTO
Operador	3	20	2,50	600,00	1.800,00
	SUBTOTAL N				1.800,00

Nota: En la tabla se aprecia el costo de mano de obra directa para el sistema de dosificación de cloro gas.

- Costos indirectos de fabricación generales

Son Gastos generales que la empresa proporcionará para la implementación del sistema,

teniendo en cuenta que este valor no es aplicado al final de costo unitario. Los CIF (Costos indirectos de fabricación) generales, que incluyen gastos como agua, electricidad, celular, internet, papelería y viáticos, representan un total de \$124,00. Estos costos son esenciales para mantener un ambiente de trabajo adecuado, así como para asegurar la comunicación y coordinación necesarias entre los miembros del equipo durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 16

CIF generales.

GENERALES				
DESCRIPCIÓN	IMPORTANCIA (%)	UNIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO
AGUA	100	lt	10,00	10,00
ELECTRICIDAD	100	V	10,00	10,00
CELULAR	30	N/A	10,00	10,00
INTERNET	30	N/A	24,00	24,00
PAPELERIA	15	N/A	50,00	50,00
COMPUTADORA	100	N/A	NO APLICA	NO APLICA
VIÁTICOS	100	N/A	20,00	20,00
	SUBTOTAL O			124,00

Nota: En la tabla se determina el costo de los CIF generales para implementar el sistema de dosificación de cloro gas.

- Costos indirectos de fabricación en Transporte.

Los CIF de transporte, que comprenden la adquisición de equipos como el caudalímetro, la válvula check, el rotámetro y la báscula, totalizan \$210,00. Estos elementos son fundamentales para garantizar la precisión y eficiencia en el proceso de dosificación de cloro gas y monitoreo del sistema de potabilización.

Tabla 17*CIF de transporte.*

TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
CAUDALÍMETRO	N/A	1	70,00	70,00
VÁLVULA CHECK	N/A	1	50,00	50,00
ROTÁMETRO	N/A	1	30,00	30,00
BÁSCULA	N/A	1	30,00	30,00
	SUBTOTAL P			210,00

Nota: En la tabla se observa el costo CIF de transporte de equipos e insumos para el sistema de dosificación de cloro gas.

- Costo total de implementación

Al tener los gastos de materiales, mano de obra indirecta, gastos generales y transporte, entonces se procede a hacer el costo total del sistema para poder realizar su implementación a futuro.

Tabla 18*Análisis de Precio total Unitario.*

RESUMEN DE COSTOS		
DESCRIPCIÓN	Valor mensual	Valor total (2 meses)
MATERIA PRIMA	-	\$9.944,85
MANO DE OBRA	\$3.550,00	\$7.100,00
COSTOS INDIRECTOS	\$334,00	\$668,00
	VALOR TOTAL	\$17.712,85

Nota: En la tabla se puede observar el Precio Total Unitario para una posible implementación del sistema monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas en el agua a potabilizar.

6.4.2. Estado de rentabilidad del sistema automatizado para la dosificación de cloro.

- Estado de costos de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés de los años 2019, 2020 2021 y 2022.

El análisis del Flujo de Caja Proyectado muestra una estimación detallada de los ingresos y gastos esperados para el proyecto a lo largo de los años 2023-2027, con base en la tendencia histórica de los años 2020-2022 El flujo de caja normal permite tener una visión más clara y realista de cómo se espera que el proyecto evolucione financieramente en el tiempo, sin considerar aún la inversión inicial. Se aprecian en la tabla 21 que los ingresos aumentan progresivamente año tras año, principalmente debido a las recaudaciones, nuevas acometidas y otros conceptos que muestran un crecimiento constante. Estos ingresos se proyectan en \$467.252,05 para 2023, incrementándose a \$693.361,67 para el año 2027. Esta tendencia positiva indica una posible mejora en la eficiencia y demanda de la planta de agua Patamarca San Andrés. En cuanto a los costos, se destacan los insumos químicos como uno de los principales gastos operacionales, incrementándose paulatinamente junto con los ingresos. Los gastos de sueldos, servicios básicos, materiales y otros también aumentan con el tiempo, en línea con el desarrollo del proyecto y el crecimiento de la operación.

Tabla 19

Estado de flujos de efectivo de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés.

ESTADO DE FLUJO 2019 A 2022							
DESCRIPCION	2019	2020	Variación	2021	2022	Variación	Variación ponderada
Ingresos							
recaudaciones, nuevas acometidas y otros	\$316.229,32	\$327.888,52	3,69 %	\$358.547,72	\$423.349,51	18,07 %	10,37 %
Costos							
insumos químicos	\$24.852,31	\$25.419,81	2,28 %	\$27.285,71	\$33.260,38	21,90 %	10,51 %
Resultado Bruto	\$291.377,01	\$302.468,71	3,81 %	\$331.262,01	\$390.089,13	17,76 %	10,36 %
Gastos Operacionales							
sueldos	\$120.534,54	\$123.688,16	2,62 %	\$128.756,91	\$163.057,74	26,64 %	11,12 %
servicios básicos	\$3.850,82	\$4.326,01	12,34 %	\$5.240,10	\$5.965,71	13,85 %	15,77 %
Servicio telefonia celular CONECEL	\$1.385,30	\$1.593,96	15,06 %	\$1.622,93	\$1.311,68	-19,18 %	-0,77 %
dietas directivos	\$14.445,00	\$12.195,47	-15,57 %	\$14.970,00	\$7.420,00	-50,43 %	-14,42 %
iess	\$41.806,42	\$48.704,96	16,50 %	\$44.026,51	\$45.690,28	3,78 %	3,56 %
honorarios profesionales	\$17.540,00	\$7.992,21	-54,43 %	\$8.629,11	\$2.717,19	-68,51 %	-38,33 %
materiales	\$99.265,75	\$63.069,79	-36,46 %	\$102.613,40	\$80.141,35	-21,90 %	1,44 %
junta riego machangara	\$1.960,92	\$2.145,78	9,43 %	\$1.815,66	\$1.980,72	9,09 %	1,04 %
Utilidad Operativa	-\$9.411,74	\$38.752,37	-511,75 %	\$23.587,39	\$81.804,46	246,81 %	-101,35 %
Gastos financieros							
Cuotas Préstamo Tanque					\$10.409,20		
servicios bancarios	\$126,78	\$134,58	6,15 %	\$154,81	\$77,90	-49,68 %	-9,50 %
Otros gastos							
varios	\$15.370,71	\$23.304,94	51,62 %	\$28.818,06	\$15.600,01	-45,87 %	9,80 %
Utilidad Antes de Impuesto a la Renta y Depreciación	-\$24.909,23	\$15.312,85	-161,47 %	-\$5.385,48	\$55.717,35	-1134,58 %	-477,08 %
Depreciación							
Utilidad Antes de Impuesto a la Renta	-\$24.909,23	\$15.312,85	-161,47 %	-\$5.385,48	\$55.717,35	-1134,58 %	-477,08 %
Impuesto a la Renta (SRI)	\$7.814,42	\$5.128,47	-34,37 %	\$11.131,05	\$8.290,84	-25,52 %	19,05 %
Utilidad Neta	-\$32.723,65	\$10.184,38	-131,12 %	-\$16.516,53	\$47.426,51	-387,15 %	-260,15 %

Nota: En la tabla se puede observar el estado de flujos de efectivo de la planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

Tabla 20

Estado de flujos de efectivo normal de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés.

ESTADO DE FLUJO NORMAL 2023 - 2027						
DESCRIPCIÓN	Inversión	2023	2024	2025	2026	2027
Recaudaciones, Nuevas Acometidas Y Otros		\$467.252,05	\$515.707,41	\$569.187,72	\$628.214,09	\$693.361,67
Costos						
Insumos Químicos		\$36.755,00	\$40.616,79	\$44.884,33	\$49.600,25	\$54.811,67
Resultado Bruto		\$430.497,05	\$475.090,62	\$524.303,39	\$578.613,84	\$638.550,00
Gastos Operacionales						
Sueldos		\$181.186,70	\$201.331,25	\$223.715,50	\$248.588,46	\$276.226,82
Servicios Básicos		\$6.906,65	\$7.995,99	\$9.257,16	\$10.717,24	\$12.407,61
Servicio Telefonía Celular CONECEL		\$1.301,63	\$1.291,66	\$1.281,76	\$1.271,94	\$1.262,20
Dietas Directivos		\$6.350,12	\$5.434,50	\$4.650,90	\$3.980,29	\$3.406,38
IESS		\$47.316,01	\$48.999,59	\$50.743,07	\$52.548,59	\$54.418,35
Honorarios Profesionales		\$1.675,81	\$1.033,55	\$637,43	\$393,13	\$242,46
Materiales		\$81.299,33	\$82.474,04	\$83.665,72	\$84.874,63	\$86.101,00
Junta Riego Machangara		\$2.001,41	\$2.022,31	\$2.043,44	\$2.064,78	\$2.086,35
Resultado Operativa		\$102.459,40	\$124.507,73	\$148.308,40	\$174.174,78	\$202.398,83
Cuotas Préstamo Tanque		\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20
Servicios Bancarios		\$70,50	\$63,80	\$57,74	\$52,26	\$47,29
Otros Gastos						
Varios		\$17.129,25	\$18.808,39	\$20.652,13	\$22.676,62	\$24.899,56
Resultado Antes De Impuesto A La Renta Y Depreciación		\$74.850,46	\$95.226,34	\$117.189,32	\$141.036,70	\$167.042,78
Depreciación		\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00
Resultado Antes De Impuesto A La Renta		\$69.350,46	\$89.726,34	\$111.689,32	\$135.536,70	\$161.542,78
Impuesto A La Renta (SRI)		\$9.870,42	\$11.750,95	\$13.989,76	\$16.655,11	\$19.828,27
Déficit/Superavit		\$59.480,03	\$77.975,39	\$97.699,56	\$118.881,59	\$141.714,51
Depreciación		\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00

Nota: En la tabla se puede observar el estado de flujos normal de efectivo de la planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

Tabla 21

Estado de flujos de efectivo normal de los próximos años de la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés.

ESTADO DE FLUJO NORMAL 2023 - 2027						
DESCRIPCIÓN	Inversión	2023	2024	2025	2026	2027
Flujo De Caja		\$64.980,03	\$83.475,39	\$103.199,56	\$124.381,59	\$147.214,51
Saldo Acumulado		\$29.764,28	\$94.744,31	\$178.219,70	\$281.419,26	\$405.800,85
Total		\$94.744,31	\$178.219,70	\$281.419,26	\$405.800,85	\$553.015,36
Inversión	495.000,00					
Flujo Neto	-495.000,00	\$64.980,03	\$83.475,39	\$103.199,56	\$124.381,59	\$147.214,51

Nota: En la tabla se puede visualiza el estado de flujos neto de efectivo para los proximos años de la planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

- Estado de costos con el sistema propuesto para la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés de los años 2023, 2024, 2025, 2026 y 2027.

El nuevo Flujo de Caja Proyectado, considerando la implementación del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas en la planta de agua Patamarca San Andrés, presenta un panorama financiero más detallado y realista del proyecto. Se puede observar que la inversión inicial ha aumentado en comparación con el Flujo anterior, debido a la inversión adicional que conlleva el nuevo proyecto, la cual es sumada a la inversión continua de la planta en general. Se aprecian en la tabla 23 que los ingresos aumentan su valor con un porcentaje considerable.

Tabla 22

Estado de flujos con el sistema implementado para la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés.

ESTADO DE FLUJOS DE EFECTIVOS CON EL SISTEMA AUTOMATIZADO					
DESCRIPCION	2023	2024	2025	2026	2027
Recaudaciones, Nuevas Acometidas Y Otros	\$467.252,05	\$515.707,41	\$569.187,72	\$628.214,09	\$693.361,67
Costos					
Insumos Químicos	\$36.755,00	\$40.616,79	\$44.884,33	\$49.600,25	\$54.811,67
Resultado Bruto	\$430.497,05	\$475.090,62	\$524.303,39	\$578.613,84	\$638.550,00
Gastos Operacionales					
Sueldos	\$171.969,14	\$191.088,87	\$212.334,36	\$235.941,95	\$262.174,26
Servicios Básicos	\$6.906,65	\$7.995,99	\$9.257,16	\$10.717,24	\$12.407,61
Servicio Telefonía Celular CONECEL	\$1.301,63	\$1.291,66	\$1.281,76	\$1.271,94	\$1.262,20
Dietas Directivos	\$6.350,12	\$5.434,50	\$4.650,90	\$3.980,29	\$3.406,38
IESS	\$47.316,01	\$48.999,59	\$50.743,07	\$52.548,59	\$54.418,35
Honorarios Profesionales	\$1.675,81	\$1.033,55	\$637,43	\$393,13	\$242,46
Materiales	\$81.299,33	\$82.474,04	\$83.665,72	\$84.874,63	\$86.101,00
Junta Riego Machangara	\$2.001,41	\$2.022,31	\$2.043,44	\$2.064,78	\$2.086,35
Resultado Operativo	\$111.676,96	\$134.750,11	\$159.689,54	\$186.821,28	\$216.451,39
Cuotas Préstamo Tanque	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20
Servicios Bancarios	\$70,50	\$63,80	\$57,74	\$52,26	\$47,29
Otros Gastos					
Varios	\$17.129,25	\$18.808,39	\$20.652,13	\$22.676,62	\$24.899,56
Resultado Antes De Impuesto A La Renta Y Depreciación	\$84.068,02	\$105.468,72	\$128.570,46	\$153.683,21	\$181.095,34
Depreciación	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00
Resultado Antes De Impuesto A La Renta	\$78.568,02	\$99.968,72	\$123.070,46	\$148.183,21	\$175.595,34
Impuesto a la Renta (SRI)	\$9.870,42	\$11.750,95	\$13.989,76	\$16.655,11	\$19.828,27
Déficit/Superávit	\$68.697,59	\$88.217,76	\$109.080,70	\$131.528,10	\$155.767,07
Depreciación	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00

Nota: En la tabla se puede encontrar el estado de flujos de efectivo con el sistema implementado para la planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

Tabla 23

Estado de flujos de efectivo total con el sistema implementado para la Junta Administradora de agua potable Patamarca - San Andrés.

ESTADO DE FLUJOS DE EFECTIVOS CON EL SISTEMA AUTOMATIZADO						
DESCRIPCIÓN	INVERSIÓN	2023	2024	2025	2026	2027
Flujo de caja		\$74.197,59	\$93.717,76	\$114.580,70	\$137.028,10	\$161.267,07
Saldo Acumulado		\$29.764,28	\$103.961,87	\$197.679,64	\$312.260,34	\$449.288,44
Total		\$103.961,87	\$197.679,64	\$312.260,34	\$449.288,44	\$610.555,51
Inversión	517.412,85					
Flujo neto	-517.412,85	\$74.197,59	\$93.717,76	\$114.580,70	\$137.028,10	\$161.267,07

Nota: En la tabla se puede visualiza el estado de flujos de efectivos total con el sistema implementado para la planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

7. Resultados

7.1. Parámetros establecidos para el diseño de un sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas según la norma INEN 1108

Se identificaron los diferentes procesos que realizan los operadores de la Planta de agua potable Patamarca San Andrés, en este proceso se identifica que para el proceso de desinfección se necesita suministrar cloro, (en este caso se agrega cloro gas) para ello se debe de cumplir los requisitos establecidos por la norma INEN 1108 en el proceso de desinfección, para que el agua ya filtrada pase a ser agua potable y apta para el consumo humano.

En la etapa de desinfección, para la aplicación de cloro gas nos basamos en los datos de las bitácoras de los operadores donde se encuentra registrado la cantidad de cloro aplicado en diferentes caudales para agregar la cantidad de cloro gas necesario, en estas mismas nos mencionan que la aplicación de cloro gas depende directamente de la entrada de caudal. Además se realizó una comprobación con la ecuación número (6) que define que para la aplicación de cloro gas en caudal directo.

7.2. Diseño para el monitoreo continuo y dosificación de cloro gas.

Para el diseño de monitoreo y dosificación de cloro gas se utilizo el software de TIA Portal en su versión V16, en el HMI se puede observar los valores de aplicación necesarios de cloro

todo este proceso se realizó la simulación mediante un PLC S7-1200 y un HMI KTP700 físico disponible en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana. Se puede evidenciar en los apartados de la sección 6.3 y el programa realizado en el Anexo A.

7.3. Resultados de la simulación del diseño para el monitoreo continuo y dosificación de cloro gas.

Los resultados de la simulación mediante el PLC S7-1200 y el HMI para la dosificación de cloro gas, además se usa el software de Factory IO para la simulación del cilindro contenedor de cloro gas y su respectiva cantidad.

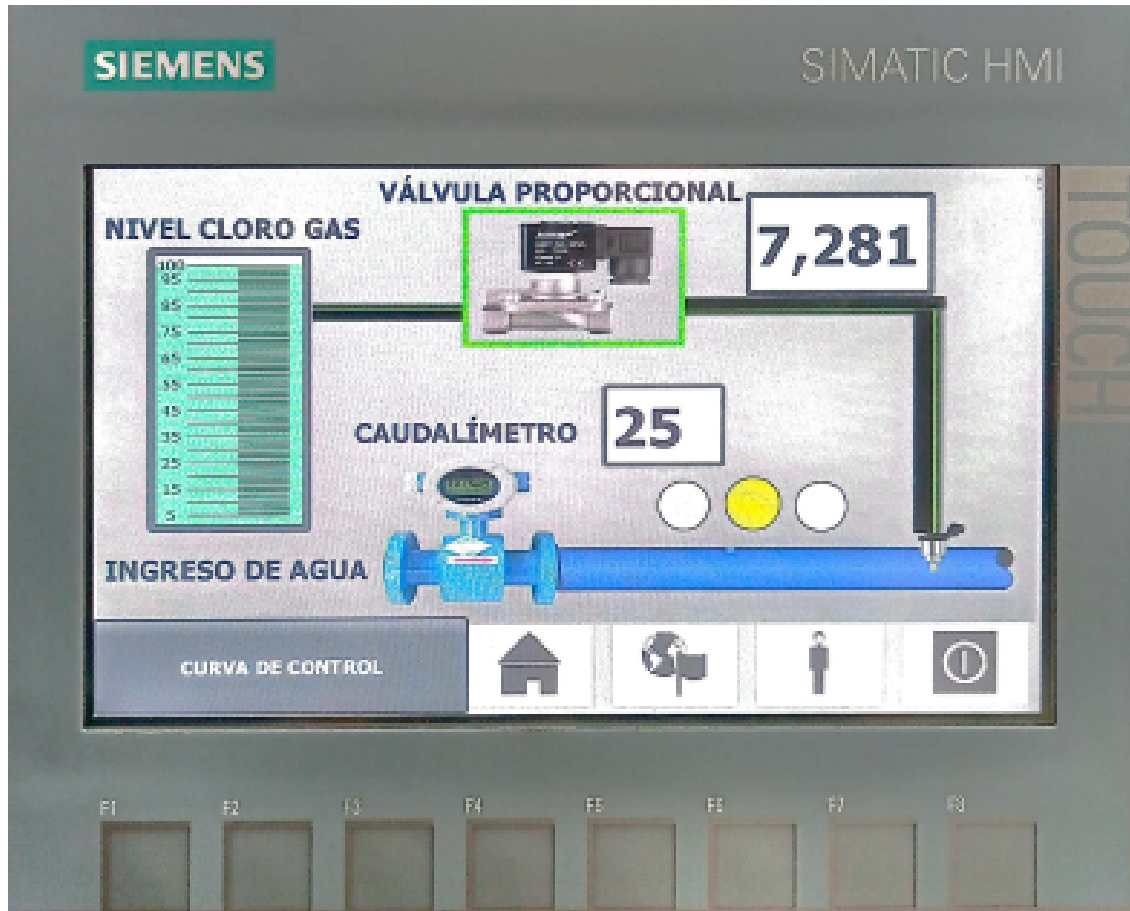
7.3.1. Datos que se registran de la simulación de la dosificación de cloro gas

En la siguiente sección se aprecia la dosificación de cloro gas con la aplicación directa al caudal de agua filtrada en la figura 23.

- Sensor de caudal registra un valor analógico 25 l/s
- Porcentaje de la apertura de la válvula proporcional se encuentra en 7,281 lbx24h.

Figura 23

Datos obtenidos en la simulación mediante la interfaz HMI.



Nota: En la imagen se evidencia los valores de entrada de caudal y la dosis de cloro aplicado.

Tabla 24

Comparación de los datos simulados y los obtenidos en las bitácoras.

Caudal de agua (l/s)	Dosis de cloro aplicado lb x24h	Dosis simulada lb x 24h
0	0	0
24	7	6.99
25	7	7.8281
28	8	8.154
30	9	8.737
35	9	10.19
40	11	11.65
45	15	13.11
50	15	14.56
55	16	16.02

Nota: Datos obtenidos mediante la simulación en comparación con los datos de las bitácoras.

7.3.2. Visualización de la simulación en el software Factory IO

Se visualiza la simulación del en el software Factory IO en este caso se realizo la simulación para el llenado del cilindro de cloro gas para poder determinar cuándo se encuentra en su máxima capacidad, y así mismo determinar cuando este se encuentre en un nivel bajo.

Figura 24

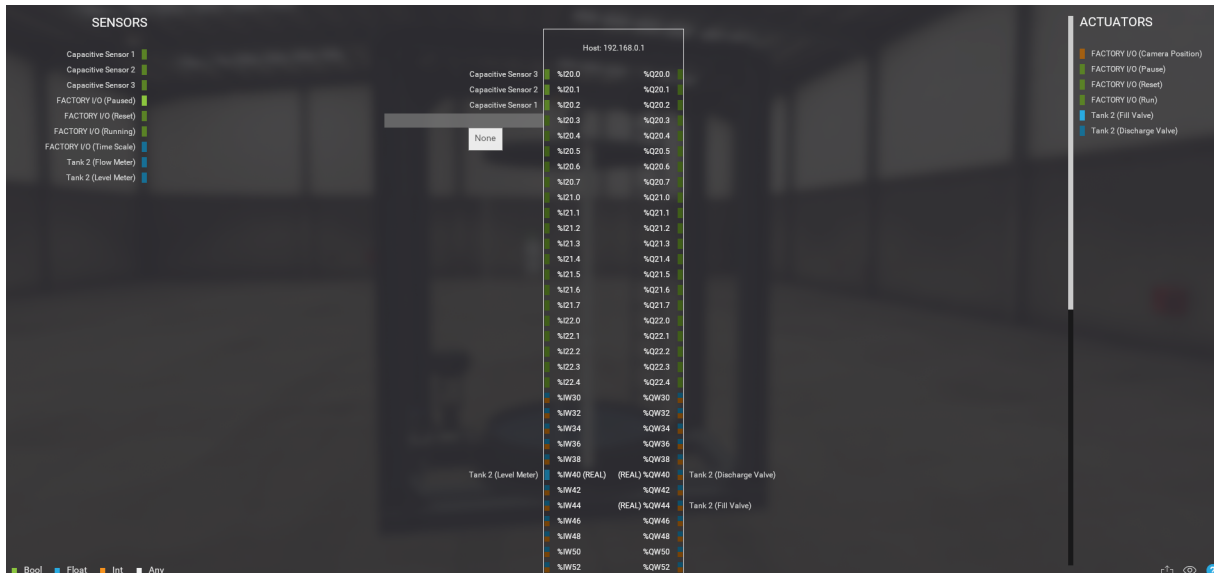
Simulación Factory IO



Nota: Se observa el nivel del tanque de cloro gas este mismo se evidencia de igual manera en el HMI.

Figura 25

Entradas y salidas Factory IO



Nota: En la imagen nos muestra los sensores y actuadores presentes en el driver este nos permite visualizar la dosificación

7.4. Resultados para el análisis de costos de implementación del diseño de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas en la Planta de agua potable Patamarca - San Andrés.

El nuevo Flujo de Caja Proyectado, considerando la implementación del sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas en la planta de agua Patamarca San Andrés, presenta un panorama financiero más detallado y realista del proyecto. Se puede observar que la inversión inicial ha aumentado en comparación con el Flujo anterior, debido a la inversión adicional que conlleva el nuevo proyecto, la cual es sumada a la inversión continua de la planta en general.

Tabla 25*Factibilidad del sistema para su implementación.*

FACTIBILIDAD FINANCIERA		
INDICADORES	SIN LA PROPUESTA	CON LA PROPUESTA
TMAR	3%	3%
VAN	-\$21.286,85	\$8.677,29
TIR	1,7%	3,5%

Nota: En la tabla se observa la rentabilidad de implementación del sistema de dosificación de cloro gas en la planta de agua potable Patamarca - San Andres.

Bajo el enfoque de una empresa pública que busca maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y cumplir con los principios del sector público, el análisis de factibilidad financiera adquiere una perspectiva diferente. En este caso, la TMAR no representa una tasa de rendimiento esperada por los inversionistas, sino más bien un criterio para evaluar la eficiencia de la inversión pública. El objetivo principal sería asegurar que el proyecto ofrezca beneficios tangibles a la comunidad y a la planta de agua, optimizando el uso de los recursos públicos del 3%.

Tanto el VAN (Valor Actual Neto) como la TIR (Tasa Interna de Retorno) siguen siendo herramientas útiles para evaluar el impacto financiero del proyecto, pero el enfoque ahora se centra en determinar si el proyecto generará un ahorro significativo o una mejora en la gestión de recursos. En este contexto, el VAN positivo de \$8.677,29 da a conocer que el proyecto tiene la capacidad de generar ahorros en los costos operacionales a lo largo del tiempo. Esta reducción de costos contribuiría a mejorar la eficiencia de la planta de agua y permitiría aprovechar mejor los recursos públicos destinados al proyecto.

Una TIR del 3,5% implica que el proyecto es financieramente favorable, ya que la tasa de rendimiento supera la TMAR (Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento) del 3%. Esto significa que la eficiencia y los beneficios del proyecto están en línea con las metas y principios del sector público, y que la inversión en el sistema de monitoreo continuo y dosificación de cloro gas para la planta de agua Patamarca San Andrés es adecuada y prometedora.

8. Conclusiones

Después de desarrollar y analizar el diseño de un sistema de monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas en la planta de agua potable Patamarca – San Andrés, concluimos que este sistema representa una mejora en términos de precisión y eficiencia en la desinfección de agua, con la automatización para la aplicación de cloro gas en cantidades exactas, cumpliendo con la norma INEN 1108 que estipula las condiciones aptas para que el agua potabilizada sea consumida por los seres humanos sin provocar daños ni prejuicios a la salud.

Teniendo en cuenta las bitácoras dadas por la empresa para implementar un sistema automático, se concluye que nuestro sistema cumple con los parámetros dados por norma INEN 1108, que establece un rango de cloro residual libre de 0.3 a 1.5 mg/l, esto se observa en los resultados donde se realizó una comparativa entre los valores de la empresa y el nuevo sistema automatizado.

Gracias al monitoreo en tiempo real, el sistema ajustará la dosificación del agua mediante la inyección de cloro gas que a través de una válvula proporcional, la cual está controlada con base en el ajuste de curvas entregada por la empresa, teniendo como beneficio evitar el desperdicio de cloro y garantiza una desinfección efectiva y uniforme. El sistema de monitoreo continuo permite una supervisión constante de los niveles de cloro gas en el sistema. Esto ayuda a prevenir situaciones peligrosas en la salud como son: tos, irritación de garganta, problemas respiratorios, dolores estomacales, irritación de piel, entre otros.

La automatización del sistema disminuye la necesidad de una constante intervención manual del operador, lo que genera un suministro de cloro gas correcto para evitar problemas en el sistema como son: fugas en la tuberías o concentraciones excesivas de cloro gas y errores humanos.

Por otra parte, al ser un sistema de monitoreo continuo, detectará inmediatamente cualquier irregularidad en los niveles de cloración en el agua a potabilizar, lo que permite tomar medidas correctivas ante cualquier problema, evitando paradas inesperadas en el proceso de desinfección. Para finalizar, el sistema de monitoreo continuo para la dosificación de cloro gas optimiza el uso de cloro y mejorando la calidad del agua tratada.

9. Recomendaciones

Se recomienda adaptar un sensor de cloro residual, para retro alimentar los residuos de cloro libre presentes en la red de distribución de agua, este dispositivo permitirá una medición más precisa y confiable del nivel de cloro residual en el agua potable. Esto es especialmente importante para el sistema de distribución de agua potable, ya que permitirá ajustar la dosificación de cloro residual en cantidades exactas en la red de distribución mediante un sistema de control de lazo cerrado.

Al ser un sistema automatizado, el uso de alarmas y notificaciones ante cualquier parte de la dosificación es de vital importancia, ya que asegura una respuesta oportuna por parte del operador ante una situación crítica como son: fuga en las tuberías, fallas en la válvula proporcional y fallas en el inyector. Por lo que se recomienda tener un sistema de notificación mediante Iot a los encargados de la planta.

Se recomienda implementar un plan de mantenimiento y calibración regular del sistema propuesto, para asegurar su correcto funcionamiento a largo plazo. Esto incluye la limpieza y mantenimiento regular del sistema para garantizar una dosificación precisa del cloro. Además, se recomienda capacitar al personal encargado del manejo del sistema de dosificación de cloro gas, es importante que el personal encargado tenga conocimiento y experiencia necesaria para garantizar un manejo seguro y efectivo del equipo.

Referencias

- Arias Polanco, J. (2019). Análisis comparativo de los lenguajes de programación de plc definidos en la norma iec 61131-3.
- Benítez, D. (2021). Sistema de cloración automático para la junta administradora de agua potable regional oriental mulaló-joseguango bajo-alÁquez. *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*.
- Campos Antonio, S. E. K. E. G. I., Banda Richard. (2016). Distribución per cápita del agua en el ecuador. *Rev. Cient. Cien. Nat. Ambien.*
- Cando, C. (2021). *Boletín técnico 04-2020-gad municipales* (Inf. Téc.). Gestión de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales basadas en Registros Administrativos (GESARA).
- Chemical injection technologies technical bulletin [SUPERIOR Gas Chlorinators Sizing Guide]. (1993). (1293-2).
- Chulluncuy-Camacho, N. C. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Ingeniería industrial*(029), 153–170.
- Espinoza Ortega, E. A., y Abril Abril, J. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo y control de la concentración de manganeso en agua cruda en la planta de tratamiento de agua potable tixán-etapa ep* (B.S. thesis).
- Flow, F. (2018). Chlor-scale™ 150.
- Fustamante, N. (2017). Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural. *fondo Peruano-Alemania*.
- GAD Municipales, . (2020). Gestión de agua potable y saneamiento. *Agencia de Regulación y control del Agua*.
- hydro Instrumens. (s.f.). El clorador a gas más duradero del mercado. *BOLETÍN 200E Rev. 7/10*.
- IDROVO, C. (2010). Optimización de la planta de tratamiento de uchupucun. *UNIVERSIDAD DE CUENCA*.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2010, mayo). (NTE INEN 440)
- Jose Atancuri, A. L. P. V., Cristhian Carrasco. (2018). Planta de potabilización de agua sistema patamarca-cuenca. *Unidad académica de ingeniería, industrial y construcción.*
- López, E. P. (2016). Control de calidad en aguas para consumo humano en la región occidental de costa rica. *Revista Tecnología en Marcha*.
- López, M. G. R. (2016). Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: Desinfección y formación de subproductos. *INSTITUTO POLITÉCNICO*

NACIONAL.

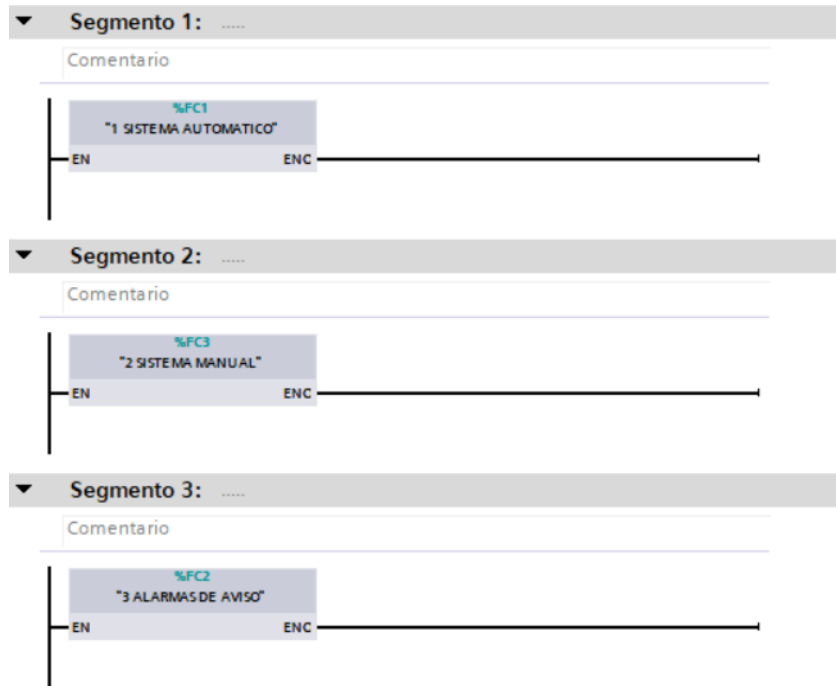
- Maria Garcia, M. M. (2016). “evaluación de la eficiencia del proceso de potabilización de agua de la planta “patamarca-san andrés”. *UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA.*
- Miguel Villanueva, J. A. (2019). Análisis de calidad del agua (turbiedad y color) de un sistema de filtración de flujo ascendente construido con materiales granulares para bajantes de agua lluvia. *UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL BOGOTÁ D.C.*
- NORMALIZACIÓN, I. E. D. (2020). Normatécnica ecuatoriana nte inen 1108. *Servicio Ecuatoriano de Normalización.*
- SIEMENS. (2010, noviembre). Caudalímetros electromagnéticos sitrans f m mag 5100 w.
- SIEMENS. (2014, marzo). Simatic s7 controlador programable s7-1200 [Manual de software informático]. Descargado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att_42774/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf
- SIEMENS. (2016, abril). Caudalímetros electromagnético transmisor mag 6000 i / mag 6000.
- SIEMENS. (2019, enero). Sipart ps2 con 4 a 20 ma/hart.
- SIEMENS. (2021, diciembre). Válvula de control hfv rosca npt lineal.
- SIEMENS. (2023a, julio). Data sheet simatic hmi, ktp700 basic [Manual de software informático]. Descargado de <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/us/Catalog/Product/6AV21232GB030AX0>
- SIEMENS. (2023b, marzo). Industry mall [Manual de software informático]. Descargado de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7222-1BF32-0XB0>
- UCuenca. (2012). Sistemas de agua potable y aguas residuales de la ciudad de Cuenca. *Revista Galileo.*
- Urrea, M. (2012). Coagulación y floculación. *Universidad Politécnica de Cartagena.*

ANEXOS

Anexo A: Programación implantada en TIA Portal versión V16 del sistema de monitoreo y dosificación de cloro gas.

Figura 26

Diseño de la arquitectura de la programación por bloques de función.



Nota: vista del main del software TIA Portal V16

Para el subsistema de modo automático tenemos varias etapas en las cuales está dada para la toma de datos mediante el sensor del caudalímetro esta señal es normalizada con el bloque NORMAL X y a su vez es escalada de 0 a 55 lo que sería el rango de entrada del nivel del caudal dándonos una salida numérica para luego aplicar en la función para multiplicar, la salida de esta la identificamos para enviar la señal de salida hacia la válvula proporcional para la respectiva apertura de la válvula proporcional.

Figura 27

Diseño de etapa 1.



Nota: En la siguiente función se recibe la señal del sensor (caudalímetro) y normaliza el rango del sensor.

Figura 28

Diseño de etapa 2.



Nota: Dosifica la cantidad de cloro en función del caudal de agua filtrada existente para dosificar.

Figura 29

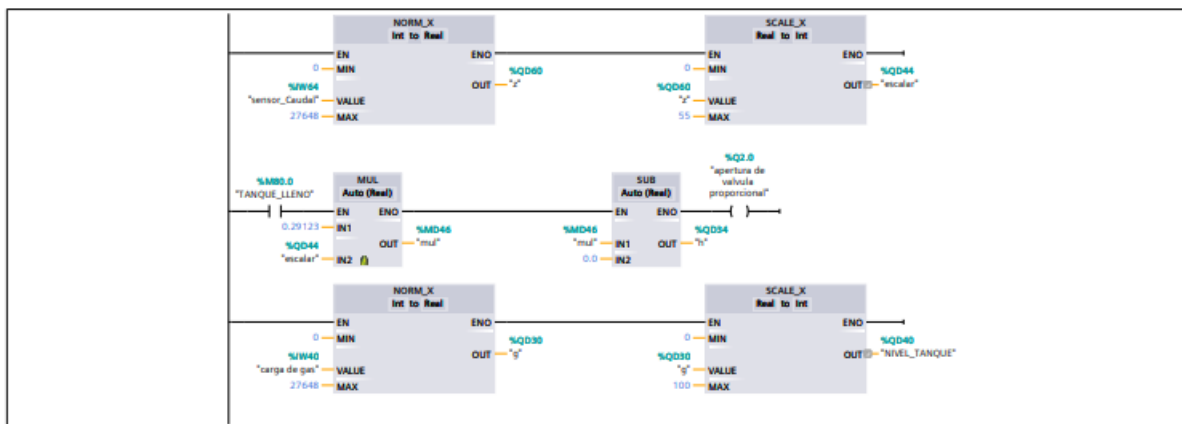
Diseño de etapa 3.



Nota: En la siguiente función se recibe la señal del sensor (Bascula) y normaliza el rango del sensor para determinar el nivel de tanque de cloro gas.

Figura 30

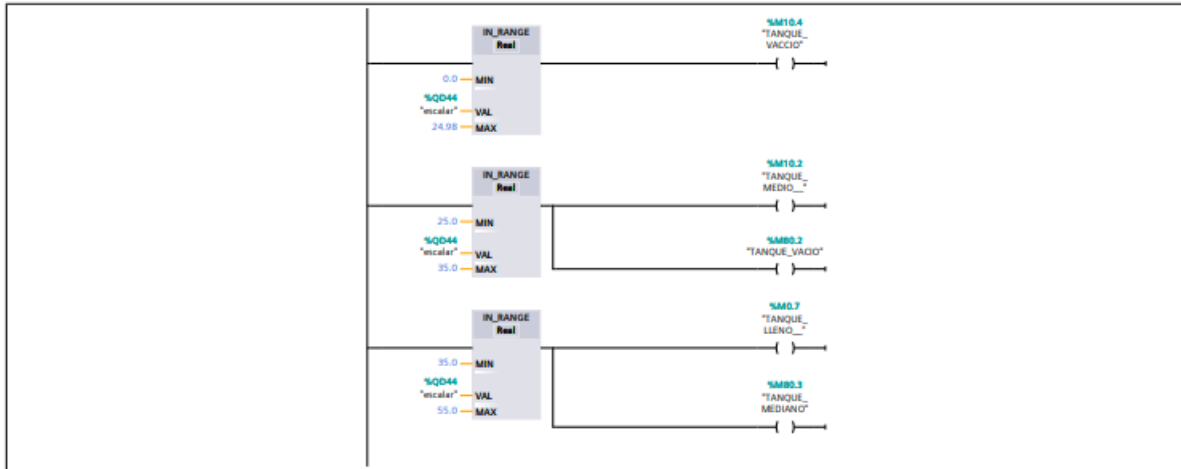
Bloques de programación en lenguaje KOP para el sistema de dosificación de cloro gas..



Nota: Toma de datos sensor (caudalímetro) y nivel de gas presente de cloro gas

Figura 31

Bloques de función de nivel del tanque de cloro gas.



Nota: Identificación del nivel del tanque de cloro gas.

Figura 32

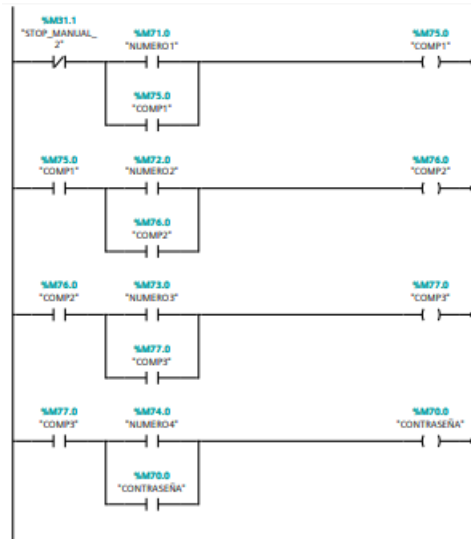
Identificación de tanque lleno de cloro gas.



Nota: Identificación del nivel del tanque de cloro gas, en estado de lleno

Figura 33

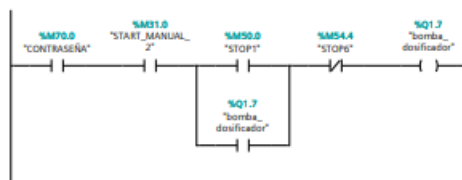
Bloques de programación de la contraseña.



Nota: Sistema de aplicación de contraseña para acceder al sistema de mantenimiento.

Figura 34

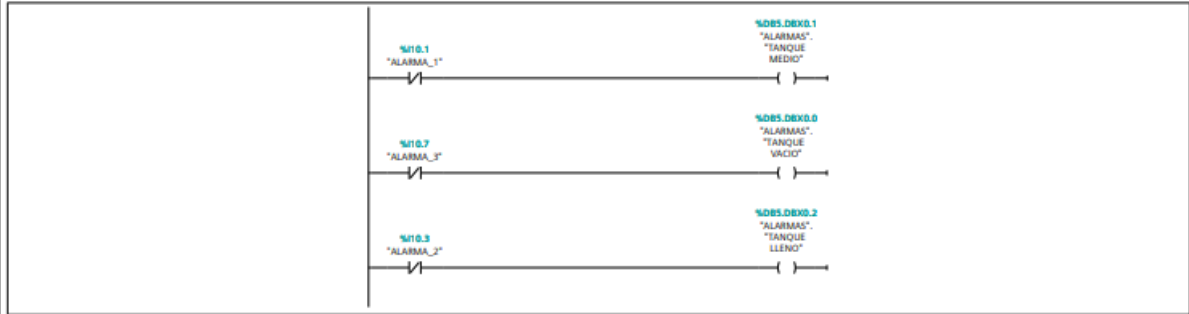
Función que permite el ingreso al subsistema mantenimiento.



Nota: Apartado que permite ingresar a mantenimiento.

Figura 35

Identificación del nivel de ingreso de caudal.

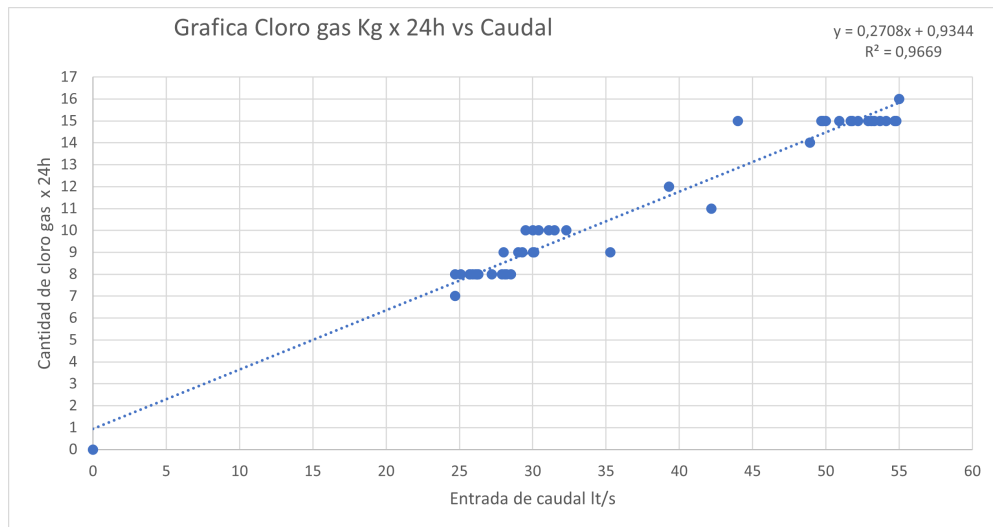


Nota: Sistema de alarmas de nivel de caudal en visualización del HMI.

Anexo B: Operacionalización de Variables

Figura 36

Grafica de dosificación de cloro gas dependido del caudal.



Nota: Se observa la ecuación lineal que nos permite obtener la dosis de cloro gas para cada nivel de caudal, datos proporcionados de las bitácoras de los operadores de la planta de agua potable Patamarca.

Tabla 26

Datos obtenidos de las bitácoras.

Caudal de agua (l/s)	Dosis de cloro aplicado Kg x h
55	16
54,8	15
54,7	15
54,1	15
53,7	15
53,3	15
53,1	15
52,9	15
52,2	15
51,8	15
51,7	15
50,9	15
50	15
49,8	15
49,7	15
48,9	14
44	15
42,2	11
39,3	12
35,3	9
32,3	10
31,5	10
31,1	10
30,4	10

Nota: En la tabla evidencia los datos obtenidos de las bitácoras de los operadores del mes de Octubre ordenados de mayor a menor para una mejor comprensión.

Tabla 27

Datos obtenidos de las bitácoras.

Caudal de agua (l/s)	Dosis de cloro aplicado Kg x h
30	9
29,5	10
29,3	9
29	9
28,5	8
28,2	8
28,1	8
28	9
27,9	8
27,2	8
26,3	8
26,2	8
26,2	8
26,1	8
25,9	8
25,7	8
25,7	8
25,1	8
24,7	8
24,7	7
0	0

Nota: En la tabla se evidencia los datos obtenidos de las bitácoras de los operadores del mes de Octubre ordenados de mayor a menor para una mejor comprensión.