



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE MONITOREO Y
DOSIFICACIÓN LÍQUIDA DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A PARA
EL AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE AGUA PATAMARCA SAN
ANDRÉS**

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

**AUTORES: JORGE ENRIQUE DOTA MALDONADO
JOFFRE GEOVANNY ULLOA SÁNCHEZ**

TUTOR: ING. PAUL ANDRES CHASI PESANTEZ MGTR.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jorge Enrique Dota Maldonado con documento de identificación N° 0707243002 y Joffre Geovanny Ulloa Sánchez con documento de identificación N° 0301984589; 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, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Jorge Enrique Dota Maldonado
0707243002



Joffre Geovanny Ulloa Sánchez
0301984589

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

Nosotros, Jorge Enrique Dota Maldonado con documento de identificación N° 0707243002 y Joffre Geovanny Ulloa Sánchez con documento de identificación N° 0301984589, 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 automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la planta de agua Patamarca San Andrés”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

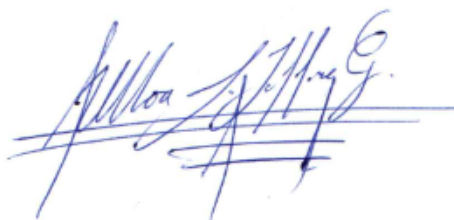
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Jorge Enrique Dota Maldonado
0707243002



Joffre Geovanny Ulloa Sánchez
0301984589

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Paúl 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 AUTOMÁTICO DE MONITOREO Y DOSIFICACIÓN LÍQUIDA DE SULFATO DE ALUMINIO TIPO A PARA EL AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE AGUA PATAMARCA SAN ANDRÉS, realizado por Jorge Enrique Dota Maldonado con documento de identificación N° 0707243002 y Joffre Geovanny Ulloa Sánchez con documento de identificación N° 0301984589, 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, 24 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Paúl Andrés Chasi Pesantez, Mgtr.
0103652095

Dedicatoria

Jorge Enrique

Dedico este trabajo a:

A mis padres Rosa y Gonzalo, quienes confiaron en todo momento en mí, mis abuelos Alberto y Zoila quienes me alentaban a seguir adelante.

A mis amigos, gracias por su apoyo, sus consejos y su aprecio

Finalmente a Dios, por sus infinitas bendiciones y sabiduría brindada a lo largo de mi vida.

Joffre Geovanny

Quiero dedicar este trabajo a aquellas personas que han sido un pilar fundamental para que yo pueda cumplir una meta más en mi vida.

A mis amigos, gracias por su constante apoyo, por cada consejo, por quererme y aceptarme tal y como soy.

Sin más, dedico este triunfo a Dios, que me acompañarán durante toda mi vida.

Agradecimientos

Jorge Enrique

Agradezco principalmente a Dios por permitirme culminar este trabajo de titulación. A mi madre Rosa y mi padre Gonzalo por el apoyo incondicional en todo este proceso, a mis abuelos Alberto y Zoila por ayudarme en mi formación personal.

a Dennise Salazar por todo el apoyo y motivación que me brindo a lo largo de todo este proceso.

Agradesco también al Ing. Paúl Chasi, por las correcciones oportunas respecto a este proyecto. Al ing Luis Lopez por el apoyo y la disposición de ayudar en este trabajo.

Joffre Geovanny

Agradezco a Dios por haberme brindado salud para poder realizar este proyecto de titulación. A mi padre Luis, por el apoyo incondicional que me brindo a alcanzar todos mis sueños. A la familia Tigre por estar conmigo en todo momento y apoyarme incondicionalmente en la ejecución de este trabajo

Al Ing. Paúl Chasi, pues sin su guía no sería posible haber alcanzado un trabajo final de carrera exitoso. Al Ing. Luis López por la ayuda del trabajo de titulación, de igual manera al Ing. Eugenio Cárdenas y a todas las personas que me faltan y han sido un gran soporte para yo poder seguir adelante con mis estudios.

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	3
2.3. Importancia y alcances	4
2.4. Delimitación	4
2.4.1. Espacial o geográfica	4
2.4.2. Temporal	5
2.4.3. Sectorial o institucional	5
2.5. Problema General	5
2.6. Problemas Específicos	6
3. Objetivos	6
3.1. Objetivo General	6
3.2. Objetivos Específicos	6
4. Hipótesis	7
4.1. Hipótesis General	7
4.2. Hipótesis Específicas	7

5. Marco Teórico	8
5.1. Importancia del agua potable	8
5.2. Normativa al tratamiento del agua potable	8
5.3. Procesos en las plantas de tratamiento de agua potable	9
5.4. Químicos al tratamiento del agua potable	9
5.5. Sistemas de dosificación de sulfato de aluminio tipo A en plantas de agua potable	10
5.6. Obtención de la dosis a dosificar en la PTAP	11
5.6.1. Ensayo de jarras	11
5.7. Sistemas de control	11
5.8. Costos de producción	12
6. Marco metodológico	14
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales según la Norma INEN 1108 para el diseño de un sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	14
6.1.1. Proceso actual en la PTAP de Patamarca San Andrés	14
6.1.2. Proceso actual de dosificación del sulfato de aluminio tipo A	23
6.1.3. Datos de la PTAP de San Andrés	25
6.2. Diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	26
6.2.1. Propuesta de diseño	26
6.2.2. Dimensionamiento de la tolva	29
6.2.3. Dimensionamiento del transportador helicoidal	30
6.2.4. Dimensionamiento de la bomba de agua	35
6.2.5. Dimensionamiento del motor de agitación para el mezclado entre el sulfato de aluminio tipo A y el agua cruda.	45
6.3. Fases para automatizar el sistema de dosificación de SA	50
6.3.1. Propuesta de diseño desarrollado en diagrama P&ID	50
6.3.2. Definir las necesidades de la planta de dosificación del SA	52
6.3.3. Definir las variables a controlar de la planta de dosificación del SA . .	53
6.3.4. Selección de sensores y actuadores de la planta de dosificación del SA	53
6.3.5. Definir el numero de entradas y salidas	60
6.3.6. Selección del controlador lógico programable (PLC) y Interfaz hombre maquina (HMI)	62
6.3.7. Diseño de software	65

6.4. Simulación del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	67
6.4.1. Diseño del HMI	68
6.4.2. Diseño y simulación del sistema automático por medio del software Factory IO	72
6.5. Analizar la factibilidad de la implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	73
6.5.1. Inversión y análisis del proyecto de implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	74
6.5.2. Rentabilidad e indicadores financieros	79
7. Resultados	83
7.1. Parámetros iniciales establecidos según la Norma INEN 1108 para el diseño de un sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	83
7.2. Diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	83
7.3. Resultados de la simulación del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	83
7.3.1. Visualización de los resultados de la dosis del SA en el HMI	84
7.3.2. Simulación en el software Factory IO	86
7.4. Resultados del análisis de factibilidad de la implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A . .	88
7.4.1. Optimización de los recursos por la implementación del sistema automático de dosificación de SA	88
7.4.2. Factibilidad de la propuesta con el sistema automático de dosificación de SA	89
8. Conclusiones	89
9. Recomendaciones	90
Referencias	94
ANEXOS	95

Anexo A: Programa en TIA Portal V16 del sistema de monitoreo y dosificación del sulfato de aluminio tipo A	96
Anexo B: Gráficas para dosificar el sulfato de aluminio tipo A	101

Lista de Tablas

1.	Características químicas del SA tipo A	10
2.	Norma INEN 1108	25
3.	Hoja técnica de sulfato de aluminio tipo A	26
4.	Tipo de carga del material a transportar	31
5.	Datos iniciales transportadores helicoidales de Martín	32
6.	Datos iniciales de inclinación del canalón para el transportador	33
7.	Datos iniciales para el tipo de material para el transportador	34
8.	Datos iniciales para el dimensionamiento de bomba de agua	35
9.	Diámetro comercial de tubería de descarga	36
10.	Datos de la altura dinámica total	38
11.	Datos de las perdidas primarias	38
12.	Datos del calculo de tubería de succión	42
13.	Datos para calcular el NPSH	42
14.	Selección de bomba	43
15.	Datos para el dimensionamiento del motor de agitación	47
16.	Lista de acrónimos del diagrama P&ID	52
17.	Lista de acrónimos y condiciones en las diferentes etapas	53
18.	Número de entradas y salidas para la programación en Software TIA Portal V16	61
19.	Definición del número de entradas y salidas para el dimensionamiento del controlador	62
20.	Datos técnicos del PLC Siemens	63
21.	Datos técnicos del modulo de salidas digitales	64
22.	Datos técnicos del HMI KTP700	65
23.	Mano de obra directa	75
24.	Mano de obra indirecta	75
25.	Materia prima directa	76
26.	Materia prima indirecta	77
27.	Materia prima indirecta	77
28.	Gastos generales variables	78
29.	Costos de producción	78
30.	Estado de resultados de la Junta Administradora de agua potable de San Andrés de 2019, 2020, 2021 y 2022	80
31.	Flujo de caja sin sistema automatizado	81

32.	Flujo de caja con sistema automatizado	82
33.	Comparación de los resultados esperados frente a los obtenidos en la simulación	85
34.	Optimización de los recursos por el sistema automático de dosificación de SA	88
35.	Índices de factibilidad sin sistema de automatización.	89
36.	Índices de factibilidad con sistema de automatización.	89

Lista de Figuras

1.	Ubicación de la PTAP de Patamarca San Andrés	5
2.	Plano de la planta San Andrés	15
3.	Caudalímetro electromagnético	17
4.	Desarenador	18
5.	Aireación y canal de mezcla rápida	19
6.	Floculación.	20
7.	Sedimentador.	21
8.	Filtración.	22
9.	Proceso actual de dosificación SA. manual de la PTAP	23
10.	Tanques de mezclado entre agua cruda y sulfato de aluminio tipo A	24
11.	Sistema manual de dosificación química	25
12.	Diagrama de bloques del diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A	27
13.	Diagrama de Moody	39
14.	Diagramas de selección de bomba	44
15.	Dimensión de selección de bomba	45
16.	Dimensión de turbina para el tanque de agitación	46
17.	Obtención del número de Reynolds	48
18.	Diagrama P&ID del sistema automático de dosificación del SA	51
19.	Caudalímetro electromagnético SITRANS FM MAG 8000	54
20.	Bomba centrífuga para agua	55
21.	Agitador vertical	56
22.	Válvula de asiento	57
23.	Válvula reguladora de asiento recto motorizada de 2 vías	58
24.	Sensor de nivel ultrasónico M30	59
25.	Sensor de turbiedad Optisys Tur 1060	60
26.	PLC Siemens S7-1200	62
27.	Módulo de I/O digitales	63
28.	Interfaz hombre máquina	64
37.	Entorno de simulación en Factory IO del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A	73
38.	Resultado de la dosificación del SA	84
39.	Resultado de la simulación del sistema de dosificación del SA	86

40.	Driver del software Factory como resultado de la simulación de la dosificación del SA	87
41.	Bloques del main en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	96
42.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	97
43.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	97
44.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	98
45.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	99
46.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	99
47.	Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA	100
48.	Gráfica para dosificar según la turbiedad vs la dosis	101
49.	Gráfica para dosificar según la dosis vs el numero de vueltas en el dosificador	102

Resumen

En el presente trabajo de titulación se propone un diseño de un sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la planta de agua Patamarca San Andrés en la ciudad de Cuenca, con la finalidad de automatizar y estandarizar el proceso que actualmente se lo realiza de manera manual por cuatro operarios en horarios rotativos.

El proceso manual llevado por la empresa sirvió de base para obtener los parámetros iniciales, diseño del control por eventos mediante la programación por bloques en el software TIA Portal para la respectiva dosificación en la etapa de coagulación y mezcla rápida, la simulación mediante el software Factory IO y el análisis de factibilidad para determinar si es posible la implementación por parte de la empresa.

El presente trabajo busca reducir los tiempos de respuesta ante posibles variaciones de los valores de entrada como es el caso de la turbiedad y caudal; de igual manera reducir el error que existe cuando los operarios abren o cierran las válvulas de suministro del sulfato de aluminio en la etapa de coagulación.

Palabras clave: Sulfato de aluminio tipo A, Dosificación, Agua potable, Turbiedad, Caudal, Planta de tratamiento, Monitoreo, Factibilidad.

Abstract

The present titration work proposes the design of an automatic system for monitoring and dosing of aluminum sulfate type A liquid monitoring and liquid dosing of aluminum sulfate type A for raw water at the Patamarca San Andres water plant in the city of Cuenca, in order to water plant Patamarca San Andres in the city of Cuenca, in order to automate and standardize the process that is currently standardize the process that is currently performed manually by four operators on rotating schedules. on rotating schedules.

The manual process carried out by the company served as the basis for obtaining the initial parameters, the design of the event control through block programming in the TIA Portal software for the respective dosing in the coagulation and rapid mixing stage, the simulation using the Factory IO software and the feasibility analysis to determine whether it is possible for the company to implement it.

This work seeks to reduce response times to possible variations in input values such as turbidity and flow rate, as well as to reduce the error that exists when operators open or close the aluminum sulfate supply valves in the coagulation stage.

Keywords: Aluminum sulfate type A, Dosage, Potable water, Turbidity, Flow rate, Treatment plant, Monitoring, Feasibility.

1. Introducción

El agua es vida, compone la mayor parte del cuerpo humano, de ahí que es un recurso vital y se debe ingerir a diario, aunque en la antigüedad no era necesario purificarla para beberla, actualmente es indispensable ya que la contaminación ambiental a ido afectando a la pureza de la misma (SEPÚLVEDA y OBLIGATORIA, s.f.).

En territorio ecuatoriano, las Plantas de Tratamiento de agua potable (PTAP) son controladas por la norma INEN 1108 la cual establece los parámetros en los cuales el agua se considera apta para ser consumida por los seres humanos, es decir obliga a las PTAPs a tratar el agua para eliminar toda impureza que se pueda encontrar en el agua que es extraída desde la fuente hidrográfica, para este fin existen diferentes químicos que son utilizados para la purificación del agua, dentro de ellos podemos encontrar el sulfato de aluminio (SA), el sulfato de cobre, entre otros, los cuales cumplen la función de encapsular las micro-partículas presentes en el agua durante la etapa de floculación, para posteriormente ser detenidas en la etapa de filtración. En la PTAP Patamarca San Andrés actualmente cuenta con cerca de 5000 usuarios.

El uso de sistemas manuales para la dosificación de SA tipo A en la PTAP Patamarca San Andrés, que aunque hasta el momento no a presentado poblemas, debido a la experticie de sus operarios, es un sistema que siempre esta expuesto al error humano, haciendo énfasis a la etapa de coagulación, que es donde se hace uso de un sistema manual de dosificación, por lo tanto se plantea la siguiente pregunta,Es posible diseñar un sistema automático de monitoreo y dosificación liquida de SA tipo A para el agua cruda en la planta de tratamiento de agua Patamarca San Andrés?, para lo que se debe de reconocer todo el funcionamiento de la PTAP Patamarca San Andrés, encontrar las variables de las cuales depende el funcionamiento de la misma

El presente trabajo detalla todo el procedimiento que se realizo para poder obtener un sistema de dosificación de SA tipo A, partiendo desde el reconocimiento de la planta, con la finalidad de poder establecer todas las variables que se deben de considerar para poder dosificar el sulfato y obtener agua de acuerdo a la norma establecida, también se constato de algunos paso adicionales que se realizan únicamente en la planta Patamarca San Andrés, la cual es preparar una solución previa a la dosificación ya que la presentación del SA que ellos tienen se la encuentra en forma granular y debe de ser liquida para su dosificación.

También se puede ver el diseño de un sistema compuesto por una serie de pasos a cumplir

para poder entregar una dosis adecuada, dependiendo del caudal y de la turbiedad encontrada en el agua, se podrá ver el uso de un PLC (programador lógico computarizado) para el control tanto de los pasos establecidos y a su vez controlar la apertura de la electroválvula que se encarga de suministrar la dosis.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La captación del agua viene desde la parte alta del río Machángara y es conducida hasta la central hidroeléctrica Saymirín y por medio de un canal de riego Machángara hasta ingresar a la PTAP de Patamarca; la misma fue creada el 5 de septiembre de 1981 mediante un convenio entre ETAPA y la fundación CARE de Canadá. (García Reino y cols., 2014).

La ubicación de la planta, ver figura 1, se encuentra en el sector de Chiquintad, Barrio San Andrés Alto perteneciente a la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay, sobre los 2800 msnm., cubriendo un área de 4.000 m^2 ; la misma abastece a varias comunidades como: Mayancela, San Vicente El Rosal, la Libertad; Bellavista, San Andrés, entre otras.

Actualmente, la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento Regional San Andrés se encuentra funcionando con un caudal nominal aproximado de 50 l/s y su capacidad de suministro se centra a 4554 hogares en un aproximado según su pagina oficial, (jaapsr, 2023).

En el proceso de potabilización del agua cruda se requieren de las siguientes etapas:

- a) Entrada de agua cruda
- b) Desarenador
- c) Aireación
- d) Coagulación
- e) Floculación
- f) Sedimentador
- g) Filtros
- h) Desinfección

i) Almacenamiento

j) Distribución

Dentro de la planta operan cuatro personas de forma manual en turnos rotativos durante las 24 horas los 7 días de la semana, encargados de velar de la correcta dosificación de SA tipo A. El proceso se resume en cinco pasos :

1. Medir el caudal: se lo realiza posterior a la etapa de entrada de agua cruda.
2. Recolección de muestras del agua cruda se obtiene después de la etapa de Aireación.
3. El operario lleva la muestra al laboratorio para analizar la turbiedad, PH, color mediante un instrumento llamado colorímetro.(Hatch, 2009)
4. Los resultados obtenidos del agua cruda serán verificados según la Norma NTN INEN 1 108.
5. Retorna a la bodega de químicos para la preparación del SA tipo A.
6. Dosificación correcta de químicos como: el SA tipo A, cloro gas o cloro granulado. (Espinoza Ortega y Abril Abril, 2020)
7. El operario abre la válvula de 19.05 mm tipo compuerta del tanque Dosificador del SA tipo A para la aplicación del químico al agua cruda.
8. Cumplir los requisitos microbiológicos según la Norma NTN INEN 1 108.

2.2. Descripción del problema

La calidad de agua en la Junta de Agua Patamarca San Andrés puede verse afectado por los tiempos de respuesta y monitorización del proceso porque las personas que controlan la planta en los diferentes etapas podrían pasar por alto los requisitos que obliga la Norma NTN INEN 1108 de agua potable, por causas de: cansancio del operario, trabajo rutinario, malos procedimientos en la preparación de los químicos, inexperiencia, etc. Es decir, la falta de automatización en la planta ocasionaría una serie de problemas que podría dañar la calidad de agua los cuales se menciona a continuación:

- En la entrada de agua cruda: no existen un sistema de control automático respecto a la apertura o cierre de la llave de agua en la entrada durante las horas del día, la cual puede verse afectado por desastres naturales.

- Afección de la coagulación por la incorrecta medición de los datos del agua cruda, dosificación del SA tipo A.
- Durante la etapa de Desinfección por el mal suministro del cloro gas o cloro granulado.
- La Floculación y el resto de etapas son afectadas directamente por la etapa de Coagulación, que al no ser controladas de forma idónea perjudica la calidad de agua y costos de mantenimiento.

En consecuencia la calidad de agua es afectada al no existir un proceso óptimo del correcto suministro o preparación del SA tipo A sobre el agua cruda y la toma de datos necesarios para cumplir con los requisitos para que el agua sea potable.

2.3. Importancia y alcances

El presente trabajo de titulación tiene la importancia en los tiempos de respuesta, específicamente en la etapa de dosificación de SA tipo A. Durante el proceso, el operador de la planta tiene que realizar varios procedimientos como: la toma de datos, monitorizar el proceso, verificar cada cierto turno los parámetros de caudal y turbiedad, llevar al laboratorio las muestras de agua cruda para ser analizadas mediante el colorímetro y luego ser comparados los datos con la Norma NTN INEN 1 108, desplazarse al cuarto de químicos para su preparación y decidir si la mezcla es la óptima según la experiencia del operador. Como se observa el tiempo de respuesta que le lleva al operario en realizar esta serie de tareas puede verse afectado la calidad del agua para el consumo de su población. Bajo este criterio, se pretende mejorar los tiempos de respuesta y monitorización en la etapa de dosificación de SA tipo A garantizando que el agua en la PTAP de Patamarca San Andrés tenga una buena calidad.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

El proyecto se desarrollará en la PTAP de Patamarca San Andrés, se encuentra ubicada en el sector de Chiquintad, Barrio San Andrés Alto perteneciente a la ciudad de Cuenca de la provincia del Azuay.¹

Figura 1

Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.



Nota: Adaptado de (*Junta Administradora de Agua potable Patamarca - planta de tratamiento San Andrés - Google Maps, s.f.*).

2.4.2. Temporal

El tiempo seleccionado para la investigación y desarrollo del proyecto será de 400 horas las cuales se encuentran distribuidas en trabajo de titulación 1 y 2.

2.4.3. Sectorial o institucional

Según la Norma NTN INEN 1 108, el presente proyecto está enfocado a la sección de Recursos Hídricos, el cual debe cumplir con los requisitos físico-químicos del agua para que sea apta para el consumo humano.

2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema automático de dosificación de SA tipo A y monitorización para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá determinar los parámetros iniciales según la Norma NTN INEN 1 108:2014 para el diseño de un sistema dosificador de SA tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés?
- ¿Es posible diseñar el sistema de monitoreo y dosificación de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés?
- ¿Es posible simular el diseño del sistema dosificador de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés?
- ¿Es factible proponer el diseño del sistema dosificador de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros iniciales según la Norma NTN INEN 1 108:2014 para el diseño de un sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.
- Proponer el diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.
- Simular el sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.

- Analizar la factibilidad de la implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para la planta de agua Patamarca San Andrés.

4. Hipótesis

Dentro de esta sección se expondrá la Hipótesis general y específicas.

4.1. Hipótesis General

- El sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A permitirá mejorar los resultados de las pruebas físicas-químicas del agua cruda luego de la etapa de floculación en la planta de agua Patamarca San Andrés

4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinará los parámetros iniciales según la Norma NTN INEN 1 108:2014 para el diseño un sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.
- Se diseñará el sistema automático de monitorio y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.
- Se simulará el sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.
- El sistema de dosificación ayudara a reducir costos de tratamiento del agua en la planta de agua Patamarca San Andrés.
- Será factible proponer el diseño automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Patamarca San Andrés.

5. Marco Teórico

5.1. Importancia del agua potable

El agua es vida, es la frase que todos conocemos, porque dependemos de ella para que la vida siga. El ser humano esta constituido, dependiendo de su edad, por un porcentaje mayor del 50% de agua, en consecuencia, encontrar fuentes de agua que sea adecuadas para nuestro consumo se convirtió en una prioridad. (García, 2017)

El agua potable es una necesidad indispensable para el ser humano, debido a que es una parte importante de la vida, la empleamos para cosas cotidianas como beberla, preparar alimentos, aseo personal hasta las funciones biológicas del cuerpo humano como lo son la digestión, hidratación, eliminación de toxinas entre otros, no obstante no todos las personas tienen acceso a esta. Por este motivo se conoce que las personas que no tienen acceso al agua potable sufren de enfermedades desarrolladas por el déficit de agua en el organismo. (Moreno, 2008)

5.2. Normativa al tratamiento del agua potable

Según la Constitución de la República del Ecuador(CRE) como normativa máxima determina que el derecho al agua "es un derecho fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida". (Constitucional, 2008); a partir de esta, se desprenden diferentes normativas que garantizan el cumplimiento de este derecho y que sean en condiciones óptimas para la salud. Algunas de las normativas más importantes relacionadas con el tratamiento de agua potable en Ecuador son:

- Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Esta norma establece los requisitos y especificaciones para la calidad del agua potable en Ecuador. Define los límites máximos permisibles para los contaminantes y los parámetros de calidad del agua, y establece los métodos de prueba para evaluar la calidad del agua potable.
- Ley de Recursos Hídricos: Esta ley establece la política nacional para la gestión, conservación y uso sostenible de los recursos hídricos en Ecuador. La ley establece que el acceso al agua potable es un derecho humano fundamental y establece las responsabilidades de las autoridades y las empresas de agua en la protección y conservación de los recursos hídricos.(Hidricos, 2015)

- Reglamento de Saneamiento Ambiental: Este reglamento establece los requisitos para la gestión y tratamiento de aguas residuales, incluyendo el tratamiento de aguas residuales en plantas de tratamiento y la eliminación segura de lodos y residuos de tratamiento.
- Normativa del Ministerio de Salud Pública: El Ministerio de Salud Pública es responsable de establecer las normas y regulaciones relacionadas con la calidad del agua potable y la seguridad alimentaria en Ecuador. Establece los requisitos para la operación de las plantas de tratamiento de agua potable y el monitoreo de la calidad del agua potable en el país.

Es importante que las empresas y autoridades encargadas del tratamiento del agua potable en Ecuador cumplan con estas normativas y regulaciones para garantizar la seguridad y calidad del agua potable que se suministra a la población.

5.3. Procesos en las plantas de tratamiento de agua potable

Las PTAP son instalaciones diseñadas para procesar y purificar el agua cruda de los ríos, lagos, embalses o acuíferos, para convertirla en agua potable apta para el consumo humano. Estas plantas utilizan una serie de procesos químicos y físicos para eliminar impurezas y contaminantes del agua cruda (García y Marca, 2016). Algunos de los procesos comunes que se utilizan en las plantas de tratamiento de agua potable son:

- Sedimentación
- Coagulación
- Floculación
- Filtración
- Desinfección

Las PTAP son vitales para la salud pública y el bienestar humano, y deben cumplir con estrictas regulaciones y estándares de calidad para garantizar que el agua potable que suministran sea segura y saludable para el consumo humano.

5.4. Químicos al tratamiento del agua potable

Para el tratamiento del agua potable según Villanueva Barragan y Quispe Chahuara (2020) los químicos que se usa en general son:

- Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$
- Sulfato ferroso $FeSO_4$
- Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$
- Cloruro férrico $FeCl_3$
- Aluminio de sodio $NaAlO_2$
- Polímeros

Siendo el mas usado en la PTAP de San Andrés el SA tipo A. Éste alumbre es un compuesto químico utilizado en la coagulación del agua para su tratamiento y ayuda a la eliminación de partículas suspendidas y otros contaminantes en el agua, las partículas de SA se combinan con las impurezas en el agua, formando flóculos que pueden ser separados mediante procesos de sedimentación y filtración. Sin embargo, su uso debe ser regulado y controlado para evitar efectos adversos en la calidad del agua y la salud humana. (?).

Tabla 1

Características químicas del sulfato de aluminio tipo A (Quimicos, 2017).

Parámetro	Unidad	valor
Formula	$Al_2(SO_4)_3$	-
Densidad aparente	g/cc	1,0
Densidad real	kg/m^3	2672
Peso molecular	g/mol	342.1358
pH	Unidades de pH	3,0 - 3,6 al 1%
Presentación comercial	g/cc	790

5.5. Sistemas de dosificación de sulfato de aluminio tipo A en plantas de agua potable

Existen diversos tipos mediante los cuales se puede dosificar líquidos, de los cuales tenemos:

- Sistema de dosificación manual: Este tipo de sistema es aplicado por un operario, el cual se encarga de regular una válvula de salida del solvente, por ende este sistema no puede ser óptimo, debido a el factor humano siempre sera impreciso y no podrá estandarizarse en una sola unidad de color de agua al termino de la etapa.
- Sistema de dosificación por caudalímetro: Para determinar la cantidad del químico administrado es necesario utilizar un instrumento de medición de caudal llamado caudalímetro (López Mendoza, 2018).
- Sistema de dosificación por bascula: Este sistema se basa en el uso de una celda de carga que se encarga de pesar la solución que se suministra, también en estos sistemas se debe de emplear un caudalímetro para controlar la cantidad de agua cruda que se ingresa, con este tipo de sistemas se busca mejorar la presición de dosificación.

5.6. Obtención de la dosis a dosificar en la PTAP

Para cada PTAP existe una determinada dosis de SA tipo A que se debe de suministrar, la que es establecida por un ingeniero químico. Este realiza un procedimiento conocido como ensayo de jarras.

5.6.1. Ensayo de jarras

El ensayo de jarras consiste en un procedimiento experimental en el que se extrae muestras del agua cruda que viene de la fuente hidrográfica, suelen ser doce muestras, para analizar las propiedades físicas con las que está ingresa, es decir ver los niveles de color y turbiedad.

Posterior a esto se aplica distintas dosis de coagulantes, que al principio no es ninguno en especifico, dejando que estos actúen durante un determinado periodo de tiempo para luego proceder a medir nuevamente las propiedades físicas del agua (Fúquene y Yate, 2018), en función de los resultados obtenidos, se determina que coagulante brinda mejores resultados, después de establecer el mejor coagulante se prueba con distintas dosis del mismo para establecer la dosis apropiada en la planta de agua potable. Por ejemplo en la PTAP Patamarca San Andrés se determino que el mejor coagulante es el SA tipo A.

5.7. Sistemas de control

Los sistemas de control puede considerarse como un sistema que se puede utilizar para:

- Controlar una variable de cierto valor particular.

- Controlar la secuencia de eventos.
- Controlar si ocurre o no un evento.

Por lo general existen dos tipos de sistemas, en lazo abierto y lazo cerrado, siendo este último el más utilizado porque tiene una retroalimentación que permite que la respuesta del sistema sea relativamente insensible a perturbaciones externas y a variaciones internas de parámetros del sistema (Bolton, 2008).

5.8. Costos de producción

Se refiere a los costos del producto que una empresa incurre en desarrollar o contratar un servicio para innovar o para crecimiento de la misma. Estos costos se dividen en varias categorías y comprenden todos los recursos necesarios, tanto monetarios como no monetarios, que se utilizan en el proceso de producción (García, 2014).

Los costos de producción se clasifican generalmente en tres categorías principales:

1. **Costos en materia prima:** Son los costos asociados con la adquisición de los materiales necesarios para la producción. Incluyen el costo de compra de los materiales y cualquier gasto adicional relacionado con su transporte y almacenamiento.

La materia prima se divide en:

a) **Materia prima directa (MPD):** Son los materiales que se utilizan directamente en el proceso de producción de un bien o en la prestación de un servicio. Estos materiales son fácilmente identificables y se incorporan físicamente al producto final.

b) **Materia prima indirecta (MPI):** Son los materiales que se utilizan en el proceso de producción, pero no forman parte directamente del producto final. Estos materiales no se incorporan físicamente al producto, pero son necesarios para llevar a cabo el proceso de fabricación o prestación del servicio.

2. **Costos de mano de obra:** Representan los gastos en salarios y beneficios para los empleados directamente involucrados en el proceso de producción. Esto incluye los sueldos de los operarios, técnicos, supervisores y cualquier otro personal relacionado con la fabricación del producto o la prestación del servicio. La mano de obra se divide en:

- a) **Mano de obra directa (MOD):** Son los costos asociados con los trabajadores que están directamente involucrados en la fabricación de un producto o en la prestación de un servicio. Estos trabajadores realizan actividades específicas y físicas que contribuyen directamente a la producción.
- b) **Mano de obra indirecta (MOI):** Son los costos laborales asociados con los empleados que no están directamente involucrados en el proceso de producción, pero que desempeñan funciones de apoyo o de carácter indirecto en una empresa. Estos empleados brindan servicios y soporte que son necesarios para mantener el funcionamiento general de la empresa.
3. **Cargos indirectos :** Son los costos que no se pueden atribuir directamente a un producto o servicio en particular, pero que son necesarios para llevar a cabo la producción. Esto puede incluir los costos de los equipos de producción, el mantenimiento de las instalaciones, la energía eléctrica, el agua, el seguro, los impuestos y otros gastos generales.

Se dividen en:

- Costo primo
- Costo de transformación o conversión
- costo de producción
- Gastos de operación
- Costo total
- Precio de venta

6. Marco metodológico

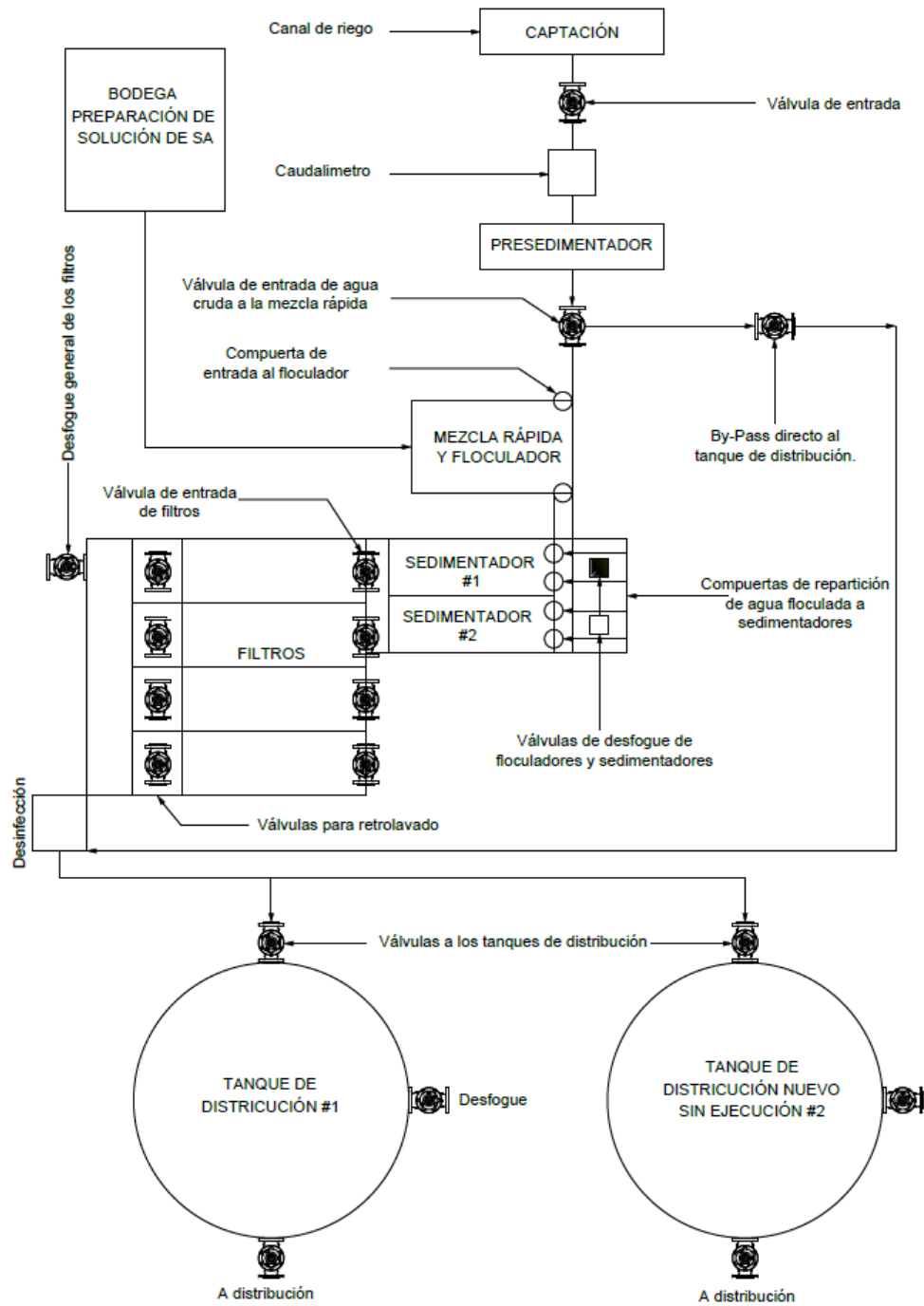
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales según la Norma INEN 1108 para el diseño de un sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

6.1.1. Proceso actual en la PTAP de Patamarca San Andrés

En la figura 2 se presenta de manera general la distribución de la PTAP, la misma comienza desde la captación de agua desde el río Machángara y es conducida hacia la planta por una tubería de acero de 200 mm de diámetro con un caudal aproximado de 50L/s. En esta primera etapa del proceso el agua pasa por medio de un caudalímetro, ver figura 3 hasta llegar al presedimentador.

Figura 2

Plano de la PTAP de Patamarca San Andrés.



Nota: Referencia de las diferentes etapas que involucra el tratamiento del agua potable, proporcionado por la Junta Administradora de Agua potable San Andrés.

a) Caudalímetro electromagnético

Un caudalímetro electromagnético es un dispositivo utilizado para medir el caudal volumétrico de un líquido conductor, como el agua, basándose en la ley de Faraday de la inducción electromagnética. El principio de funcionamiento del caudalímetro electromagnético se basa en la generación de un campo magnético que atraviesa perpendicularmente al flujo del líquido y, al mismo tiempo, la medición de la tensión inducida en el líquido en movimiento.

Cuando un líquido conductor se mueve a través de un campo magnético, se induce una fuerza electromotriz en el líquido proporcional a su velocidad de flujo. Esta fuerza electromotriz es medida por el caudalímetro electromagnético y utilizada para determinar el caudal volumétrico del líquido.

En la figura 3 se observa el caudalímetro instalado actualmente en la PTAP este se encuentra entre la entrada de agua cruda y el desarenador, el instrumento es de la marca Euromag International con los siguientes datos técnicos (Inc, 2007) :

- Modelo: MC 308/C
- Alimentación: 90/264V AC
- Protección IP: 68
- Temperatura: -20 + 60 C
- Frecuencia: 50/60 Hz
- Acoplamiento: ZAC2220
- Diámetro nominal: 200 mm

Figura 3

Caudalímetro electromagnético.



b) Presedimentador

El agua cruda al descender de una diferencia de altura entre el punto de suministro y el punto de consumo, el agua gana energía potencial por lo cual se tiene que reducir la misma porque podría dañar la infraestructura de la planta. Para reducir esta energía se lo realiza por un cámara abierta llamado rompe presión y posterior es depositado al tanque del desarenador. Este tanque se observa en la figura 4 tiene una dimensión de 5x3x2.25 m que cumple la función de no dejar pasar partículas pesadas de diámetro mayor como: piedras, gravas, arenas y arenillas, etc., dejando caer al fondo los sedimentos por el efecto de gravedad (Garcia y Marca, 2016).

Figura 4

Etapa de desarenador.



Nota: Tanque diseñado para evitar las sobrepresiones y las pulsaciones de presión y paso de partículas.

c) Aireación y canal de mezcla rápida

La aireación es un proceso en el que se agrega aire al agua cruda y el canal de mezcla rápida se utiliza para mezclar el coagulante con el agua cruda de manera rápida y eficiente. El canal mide aproximadamente 6 metros de largo ver figura 5, la función de esta etapa es esparcir rápido y uniformemente el coagulante a través de un canal hidráulico, el cual es mezclado por efecto de la turbulencia provocado por la caída desde el desarenador hacia el canal de mezcla rápida (Sánchez Chama y cols., 2019).

Figura 5

Etapas de aireación y canal de mezcla rápida.



Nota: En la imagen se observa el canal de mezcla rápida y el depósito del coagulante.

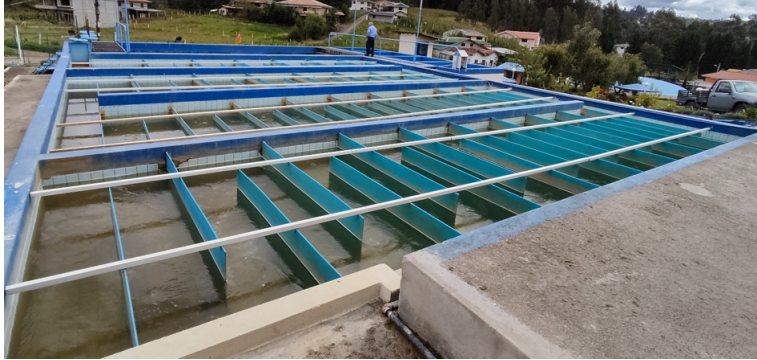
d) Coagulación y floculación

La coagulación y la floculación son procesos importantes en la mayoría de las PTAP, ver figura 6. La coagulación es el proceso en el que se agrega un coagulante al agua cruda para que las partículas finas se agrupen y formen partículas más grandes. Los coagulantes más comunes utilizados en las PTAP son el SA y el cloruro férrico. Cuando se agrega el coagulante, las partículas en el agua cruda se neutralizan eléctricamente y se agrupan en partículas más grandes llamadas flóculos. (Aguilar, 2002)

La floculación es el proceso en el que se agita suavemente el agua tratada para permitir que los flóculos formados durante la coagulación se unan y formen partículas aún más grandes. Esto se logra a través de una acción de mezcla lenta y controlada, lo que permite que los flóculos se adhieran y se consoliden. Al final del proceso de floculación, los flóculos se vuelven lo suficientemente grandes como para asentarse por gravedad y ser eliminados por sedimentación. (Lorenzo y Ocaña, 2010)

Figura 6

Etapa de floculación.



Nota: La PTAP cuenta con cuatro unidades de floculación horizontales en su etapa de floculación.

e) Sedimentador

Un sedimentador es un componente importante en una planta de tratamiento de agua que se utiliza para separar los sólidos suspendidos en el agua. También se conoce como clarificador o decantador. El proceso de sedimentación implica la eliminación de partículas sólidas del agua mediante la fuerza de gravedad. El sedimentador se encarga de permitir que los sólidos suspendidos en el agua se asienten y se acumulen en la parte inferior del tanque, mientras que el agua limpia se recoge en la parte superior y se envía al siguiente proceso de tratamiento. Los sedimentadores son particularmente útiles en la eliminación de partículas sólidas más grandes que no se pueden eliminar mediante procesos de filtración convencionales.

La PTAP dispone de un sedimentador cuya estructura tiene una inclinación de 60 grados, éste dispone de dos canales externos y otro canal que divide el sedimentador que sirve para el desfogue del agua ya tratada, ver figura 7. (Garcia y Marca, 2016)

Figura 7

Etapa de sedimentación.



Nota: La PTAP cuenta con dos unidades de sedimentación horizontales.

f) Filtración

La filtración es una de las etapas clave en el tratamiento de agua potable, y se utiliza para eliminar los sólidos en suspensión y otros contaminantes que puedan estar presentes en el agua. La filtración se realiza después de la etapa de sedimentación, donde los sólidos más grandes se han separado del agua.

Las cuatro unidades de filtración están compuestas por filtros retro lavados y una capa compuesta de arena, grava y atracita en su parte inferior, ver figura 8. El agua sedimentada ingresa por su canal hacia los medios filtrantes donde retiene las partículas en suspensión y otros contaminantes, mientras que el agua filtrada se recoge en la parte inferior del filtro y se envía al siguiente proceso de tratamiento de desinfección.(Garcia y Marca, 2016)

Figura 8

Etapa de Filtración.



Nota: La PTAP cuenta con cuatro unidades de filtración horizontales.

g) Desinfección

Esta etapa es importante en el tratamiento de agua potable, ya que se utiliza para eliminar los microorganismos que pueden estar presentes en el agua y que pueden causar enfermedades si se ingieren. La desinfección se realiza después de la etapa de filtración y puede ser realizada mediante diferentes procesos, como la cloración, la ozonización, la radiación ultravioleta y otros métodos. Para este caso se lo realiza mediante cloración, con la ayuda de un tanque de cloro gas, el cual es suministrado al agua ya filtrada en relación al caudal promedio de la planta usualmente se adiciona de 10 a 12 lb/día, este suministro se lo realiza de manera manual a través un dosificador de presión directa y regulado mediante una mirilla de vidrio con escala en gramos/hora y libras/día. (Garcia y Marca, 2016)

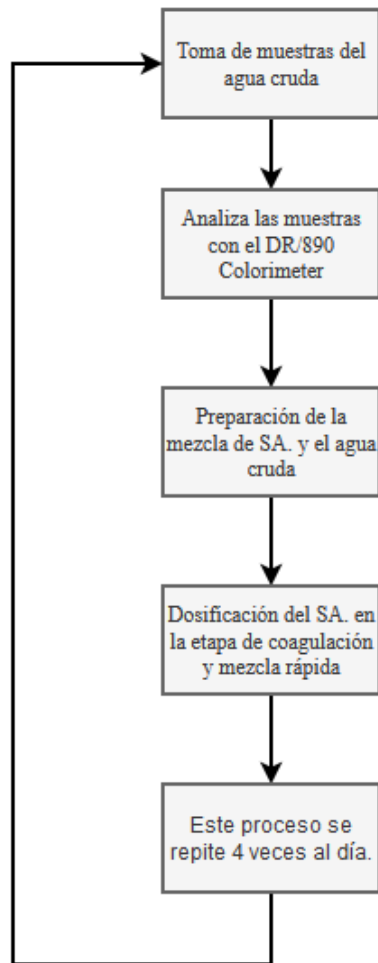
h) Almacenamiento y Distribución

El almacenamiento y la distribución son etapas críticas en el tratamiento de agua potable, ya que aseguran que el agua tratada llegue a los consumidores de manera segura y confiable. Una vez que el agua ha sido tratada y desinfectada, se almacena en tanques o reservorios que pueden estar elevados o enterrados. Estos tanques están diseñados para mantener el agua en condiciones seguras y para garantizar un suministro continuo a los consumidores, incluso durante interrupciones en la producción de agua.

6.1.2. Proceso actual de dosificación del sulfato de aluminio tipo A

Figura 9

Proceso actual de dosificación SA. manual de la PTAP.



La dosificación de sulfato de aluminio líquido comprende de tres etapas:

1. Primero se toma muestra del agua cruda para observar la turbiedad en el laboratorio que determina el porcentaje de dosificación del sulfato de aluminio a ser suministrada al agua cruda y la medición del caudal por medio del caudalímetro que verifica si esta bajo los niveles de operación de la planta.

2. La planta opera con la cantidad de 18.15 [kg] de sulfato de aluminio en 600 L de agua cruda, que sera agitado por 5 minutos por medio del accionamiento de un motor eléctrico de 110 VAC que cuenta con un acople tipo elice, posterior a ello, se dosifica un porcentaje de la solución al agua cruda en la etapa de mezclado rápido, ver figura 10.

Figura 10

Tanques de mezclado entre agua cruda y sulfato de aluminio tipo A.



Nota: Etapa previa para dosificar el químico.

3. La dosificación se lo realiza de manera manual, por medio de un recipiente compuesto de un conjunto de llaves de paso tipo compuerta que son reguladas según la turbiedad del agua y la experiencia de los operarios, ver figura 11.

Figura 11

Sistema manual de dosificación líquida del sulfato de aluminio.



Nota: Suministro de la solución química.

6.1.3. Datos de la PTAP de San Andrés

A nivel nacional la norma utilizada para el tratamiento de agua potable para el consumo humano es la norma INEN 1108 que deben cumplir todos los sistemas de abastecimientos públicos y privados, sea el caso por distribución o transporte; en la siguiente tabla se muestra los requisitos que debe cumplir la planta con la norma. (Norma, 2020)

Tabla 2

Requisitos físicos y químicos del agua potable.

Parámetro	Unidad	Limite permitido
Turbiedad	NTU	5
Color aparente	Pt-Co	15
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
pH	Unidades de pH	6,5 - 8,0

Nota: Los valores indicados en la tabla son tomados de la Norma INEN 1108, la información a sido tomada de (Norma, 2020).

Los requisitos para determinar el diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida para el sulfato tipo A mencionados en la tabla 2 son los necesarios. Actualmente, la planta de agua tiene su receta para su preparación de la solución química, que consiste una cantidad de 18,15 [kg] de sulfato de aluminio que se disuelve en una cantidad de 600 L de agua cruda. Además, para la correcta dosificación será necesario conocer datos sobre el sulfato de aluminio tipo A en su datasheet, ver tabla 3.

Tabla 3

Hoja técnica de sulfato de aluminio tipo A.

Parámetro	Unidad	valor
masa	kg	25
Peso molecular	g/mol	342.1358
Densidad aparente	g/cc	1,0
pH	Unidades de pH	3,0 - 3,6 al 1%
Densidad	kg/m^3	2672

Nota: Los valores indicados servirán de base para el diseño, la información a sido tomada de (Quimicos, 2017).

6.2. Diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

6.2.1. Propuesta de diseño

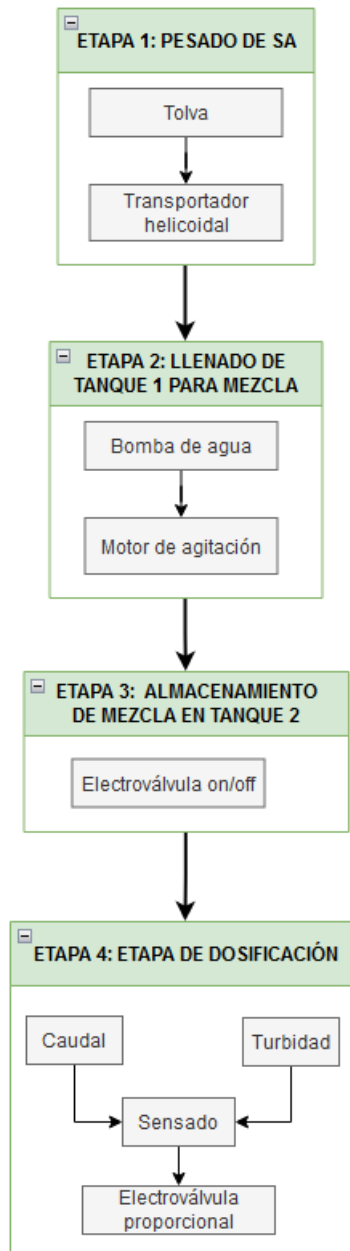
Al constatar las actividades realizadas por los operarios de la PTAP, se encontró partes del proceso de dosificación que deben de ser considerados como parte de una solución para la dosificación automática, debido a que están expuestas al error humano, además que pueden provocar afecciones a la salud de los operarios y al ser un proceso repetitivo. Los operarios se confían y muchas de las veces no realizan el procedimiento completo o se basan en lo que ven en lugar de las mediciones que se deben de realizar.

Como se menciono anteriormente para la dosificación es necesario preparar una mezcla del sulfato de aluminio tipo A con agua, con las cantidades ya mencionadas, en esta etapa en la parte del pesado de el sulfato utilizan una balanza analógica y los operarios deben de observar

que este en la cantidad desea, el problema radica en que no siempre se obtiene la cantidad exacta, porque se encuentran pequeñas variaciones que pueden ser despreciadas para ellos

Figura 12

Diagrama de bloques del diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A.



En la figura 12 se muestra la propuesta de diseño considerada para resolver cada unas de las problemáticas encontradas, cubriendo cada sub-etapa de la etapa de coagulación dentro de cada parte del proceso para la dosificación tenemos, la etapa de pesado de sulfato de aluminio, en la cual se busca que los operarios tengan el menor contacto con el sulfato de aluminio, por ello el uso de una tolva en la cual se dimensionara para que se cargue una sola vez por día, y también la parte del pesado para no depender de la vista de los operarios se dimensionara un transportador helicoidal con la intención de obtener un peso exacto de acuerdo con la receta que utilizan en la PATP.

Otra de las etapas es la del llenado del tanque con agua que es empleado para la mezcla, el cual se llena al abrir una válvula que permite el paso del agua hasta que se llene el tanque, el problema presente es que no siempre es la misma cantidad de agua ya que esto se basa en el criterio del operario que este realizando esta actividad, por ello planteamos el uso de una bomba de agua la cual se encargara de llenar el tanque con dos sensores de nivel el uno para cuando el tanque este lleno y el otro para cuando el tanque este vacío, logrando tener siempre las mismas cantidades de agua para el mezclado, y también se usa un motor de agitación para lograr tener una buena mezcla, y el cual se va a establecer un mismo tiempo garantizando siempre tener una misma mezcla cada vez que se la prepare.

Para la etapa de almacenamiento únicamente se dará apertura a una electroválvula, la cual se encargara de llenar un tanque de almacenamiento para poder volver a preparar una nueva mezcla, logrando siempre tener la mezcla del sulfato lista para ser dosificada y no parar la PTAP en ningún momento, con la excepción del día de mantenimiento de toda la planta.

En la etapa de dosificación se considera dos aspectos, la primera parte es la del censado, tanto del caudal como de la turbiedad de ingreso del agua a la PTAP, el problema detectado en esta etapa es que se toma únicamente una muestra de agua en cada turno que cubre cada operario, por ende aunque de manera visual no se vean cambios en el agua pueda no se asegura eso. Por lo tanto nuestra propuesta plantea el uso de sensores que se encargaran de medir de manera continua tanto el caudal como la turbiedad de ingreso del agua, para posteriormente pasar a la etapa de dosificación donde dependiendo de los valores censados se dosifica, logrando tener un resultado final dentro de la norma.

6.2.2. Dimensionamiento de la tolva

Como punto de partida debemos de establecer los valores preestablecidos para el diseño de la tolva. Entre ellos se tiene la capacidad de la tolva de 100 kg. Con esta consideración se establece el volumen mínimo que debe de tener la tolva para poder contener los 100 Kg de sulfato antes de mezclarse con el agua.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Donde:

ρ : Densidad, [kg/m^3]

m : Masa, [kg]

V : Volumen, [m^3]

Despejando el volumen tenemos:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (2)$$

reemplazando con los valores impuestos:

$$V = \frac{100}{800.923}$$

$$V = 0.125m^3$$

Obtenido el volumen mínimo que debe de cumplir la tolva se establece, debido a la forma de la tolva debemos de calcular como si fuese dos cuerpos diferentes, un paralelepípedo y una pirámide

■ Cálculo del paralelepípedo a partir del volumen

Teniendo la formula del volumen del paralelepípedo

$$V = a * b * h \quad (3)$$

Conociendo que el volumen debe de ser mayor de $0.032m^3$ podemos definir dos de los valores necesarios para calcular el dimensionamiento total de esta parte de la tolva.

Establecemos que: $a= 1$ [m], $h= 0.50$ [m]

Despejando de la ecuación 3 podemos encontrar el otro valor en relación al valor del volumen y los lados establecidos.

$$b = \frac{V}{a * h}$$

$$b = \frac{0.125}{(1 * 0.5)}$$

$$b = 0.25m$$

■ Cálculo de la pirámide a partir del volumen

Estableciendo las dimensiones del paralelepípedo podremos partir con el dimensionamiento de la segunda parte de la tolva, la pirámide, donde se busca que sea de esta forma con la intención de lograr que todo el sulfato pase hacia el transportador helicoidal.

Datos previos: a = 1 [m], b = 0.5 [m], V = 0.025 [m]

La formula de volumen de la pirámide es

$$V = \frac{A * h}{3} \quad (4)$$

Debido a que la forma de nuestra tolva no es una pirámide completa se debe de considerar dentro del calculo, entonces tenemos. la formula de volumen de la pirámide es

$$V = \left(\frac{A1 * h1}{3} \right) - \left(\frac{A2 * h2}{3} \right) \quad (5)$$

Por esta nueva consideración planteada impondremos datos respecto a la parte de la pirámide que se desea restar. Datos de la parte que se desea restar: a2=0.2 [m], b2=0.1 [m], h=0.1 [m], entonces

$$V = \left(\frac{(1 * 0.5) * 0.15}{3} \right) - \left(\frac{(0.2 * 0.1) * 0.1}{3} \right)$$

$$V = 0,024333[m^3]$$

6.2.3. Dimensionamiento del transportador helicoidal

Establecido que en la PTAP, previo a la dosificación necesita mezclar el SA tipo A grado 1 con agua, es necesario conocer lo “receta” que se emplea, en el caso de la PTAP es en 600L de agua se necesita 18.15 kg de sulfato de aluminio. Esta mezcla permite que el sulfato actúe apropiadamente y cumpla su función de coagular las partículas que se encuentran en el agua

permitiendo la clarificación, no obstante en la PTAP Patamarca San Andrés no siempre se cumple esta receta con exactitud, por ello es necesario partir desde este punto para el diseño de todo el sistema.

Existen guías para la el dimensionamiento de un transportador helicoidal, las cuales permiten obtener el transportador apropiado en función del material que se preténdete transportar, también permite conocer el flujo volumétrico que se transporta y por ende podríamos establecer el tiempo que se trasportarían 40L exactas, una mala selección ocasionaría problemas en la dosificación. Características del sulfato de aluminio

a) Velocidad del transportador

$$N = \frac{\text{capacidad requerida en } m^3/h}{\text{m}^3/h \quad a \quad 1 \quad rpm} \tag{6}$$

Tabla 4

Tabla de Capacidad para Transportadores Helicoidales Horizontales.

Carga Artesa	Diámetro Helicoidal	Capacidad m^3/h		max. rpm
		1 rpm	max. rpm	
45	4	0,62	114	184

Calculamos la velocidad para que transporte:

$$N = \frac{0.8888lb/pe^3}{0.62}$$

$$N = 1,433$$

Tabla 5*Tipo de carga*

Tipo de carga	Coefficiente de relleno, λ
Pesada y abrasiva	0.125
Pesada poco abrasiva	0.25
Ligera y poco abrasiva	0.32
Ligera y no abrasiva	0.4

Nota: Datos tomados de la guía para transportadores helicoidales de Martín .

Debido a la presentación que tenemos del sulfato de aluminio tipo A lo consideramos como una carga pesada y abrasiva.

b) Velocidad de desplazamiento del transportador

$$v = \frac{p * n}{60} \quad (7)$$

Donde:

v: Velocidad de desplazamiento, [m/s]

p: Paso del tornillo

n: Velocidad de giro del eje, [rpm]

$$v = \frac{0.02 * 120}{60}$$
$$v = 0.0366[m/s]$$

c) Determinación del flujo del materia

$$Q = 3600 * S * v * \rho * i \quad (8)$$

Donde

Q= Flujo del material, [t/h]

ρ : Densidad del material, $[t/m^3]$

i : Coeficiente de disminución del flujo del material debido a la inclinación del transportador

$$Q = 3600 * 0.00392 * 0.0366 * 2672 * 0.9$$

$$Q = 0,466526412[t/h]$$

Tabla 6

Inclinación del canalón

Inclinación del canalón	0°	5°	10°	15°	20°
i	1	0.9	0.8	0.7	0.6

Nota: Datos tomados de la guía para transportadores helicoidales de Martín .

▪ **Potencia de accionamiento**

$$P = PH + PN + Pi \tag{9}$$

a) **PH potencia para el desplazamiento horizontal (Kw)**

$$PH = \frac{c_o * Q * L}{367} \tag{10}$$

Donde:

L: longitud del transportador.

c_o : coeficiente de resistencia del material transportado.

$$PH = \frac{1.2 * 0.46652 * 1}{367}$$

$$PH = 0,00152[Kw]$$

Tabla 7*Tipo de material*

Tipo de material	Vavlor de c_0
Harina, aserrín, productos granulosos	1.2
Turba, sosa, polvo de carbón	1.6
Antracita, carbón, sal de roca	2.5
Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena	4

Nota: Datos tomados de la guía para transportadores helicoidales de Martín .

b) PN potencia de accionamiento del tornillo en vacío (Kw)

$$PN = \frac{D * L}{20} \quad (11)$$

Donde:

D: diámetro de la sección del canalón de la carcasa del transportador

$$PN = \frac{0.46652 * 1}{20}$$

$$PN = 0.01[Kw]$$

c) Pi potencia para un tornillo sin fin inclinado

$$Pi = \frac{Q * H}{367} \quad (12)$$

Donde:

H: altura de instalación

$$Pi = \frac{0.0466 * 1.2}{367}$$

$$Pi = 0.0019[Kw]$$

6.2.4. Dimensionamiento de la bomba de agua

Para el cálculo de bombas de agua se manejarán criterios como el caudal, la altura de succión, altura de descarga, altura geodésica, la longitud de la tubería, etc. Contando inicialmente con datos proporcionados por la PTAP en la tabla 8.

Tabla 8

Datos iniciales para el dimensionamiento de bomba de agua.

Parámetro	Unidad	valor
Volumen del tanque	m^3	1
Capacidad del tanque	L	600
Tiempo de bombeo estimado	s	600
Longitud de tubería de succión	m	3,5
Longitud de tubería de descarga	m	28

a) Cálculo del caudal

$$Q = \frac{V}{t} \quad (13)$$

Donde:

Q: Caudal, [m^3/s]

V: Volumen del tanque, [m^3]

t: Tiempo, [s]

$$Q = \frac{1m^3}{600s}$$
$$Q = 0,002 m^3/s$$

b) Cálculo del diámetro de tubería de descarga

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{V * \pi}} \quad (14)$$

Donde:

D: Diámetro interno de tubería, [m]

Q: Caudal, [m^3/s]

V: Velocidad, [m/s]

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,002m^3/s}{1,5m/s * \pi}}$$
$$D = 0,0412m$$

Una vez obtenido el diámetro de tubería de descarga se compara con los diámetros comerciales del fabricante de acuerdo a la figura 9, el diámetro seleccionado sera igual o el inmediato superior, para este caso es 0,042 m. Con este valor se procede a recalcular la corrección de la velocidad de descarga, obteniendo.

$$V = \frac{4 * Q}{D^2 * \pi} \quad (15)$$

$$V = \frac{4 * 0,002m^3/s}{0,042m * \pi}$$
$$D = 1.44m/s$$

Tabla 9

Diámetro comercial de tubería de descarga.

Diámetro Nominal (pulg)	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Longitud del tubo (m)
1 – 1/2"	48	41,4	3,3	5

Nota: Tubo para la instalación de fluido a presión CLASE 15 (1.5Mpa), (Tigre, 2017).

c) Cálculo del diámetro de tubería de succión

De la ecuación 14 se calcula el diámetro de tubería de succión, y se escoge un valor

comercial de la mano del resultado, para este caso es de 0,06 m tomado de la figura 9.

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

$$D = 0,0564m$$

Y se corrige la velocidad de succión en la tubería de ecuación 15.

$$V = \frac{4 * 0,002m^3/s}{0,06m * \pi}$$

$$D = 0,70m/s$$

d) Cálculo de la altura dinámica total (TDH)

Para el cálculo del TDH se utiliza la ecuación para fluidos incomprensibles de Bernoulli, donde sera necesario obtener las perdidas de las tuberías de succión, descarga y accesorios de conexión, con la finalidad de obtener la altura total de la bomba. (Cengel y Ghajar, 2007)

$$\Delta H = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2 * g} + Z_2 + \frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2 * g} - Z_1 + \text{Pérdidas} \quad (16)$$

Donde:

P_2 : Presión atmosférica 2

P_1 : Presión atmosférica 1

V_1 : Velocidad 1

V_2 : Velocidad 2

g : Gravedad

Z_1 : Altura de succión

Z_2 : Altura de descarga

Pérdidas: Sumatoria de pérdidas primarias y secundarias

En la ecuación 16, el sistema abierto al estar a igual presión atmosférica se eliminan y las velocidades en los puntos 1 y 2 se considera cero, quedando como.

$$\Delta H = Z_2 - Z_1 + \text{Pérdidas} \quad (17)$$

Tabla 10*Datos iniciales para el calculo del TDH.*

Parámetro	Unidad	valor
Altura de succión	<i>m</i>	1,5
Altura de descargue	<i>m</i>	28
Altura geodésica	<i>m</i>	29,5
Longitud total de tubería	<i>m</i>	31,5
Sumatoria de coeficientes de perdidas secundarias	-	6.45
Gravedad	<i>m/s²</i>	9.81

Nota: Los datos presentados son obtenidos en base al tendido de tuberías desde la succión hasta la descarga.

Para el cálculo de pérdidas primarias es necesario obtener el número de Reynolds y rugosidad relativa con la finalidad de obtener el factor de fricción de Darcy que se obtiene sobre el Diagrama de Moody, en seguida se presentan datos para su desarrollo.

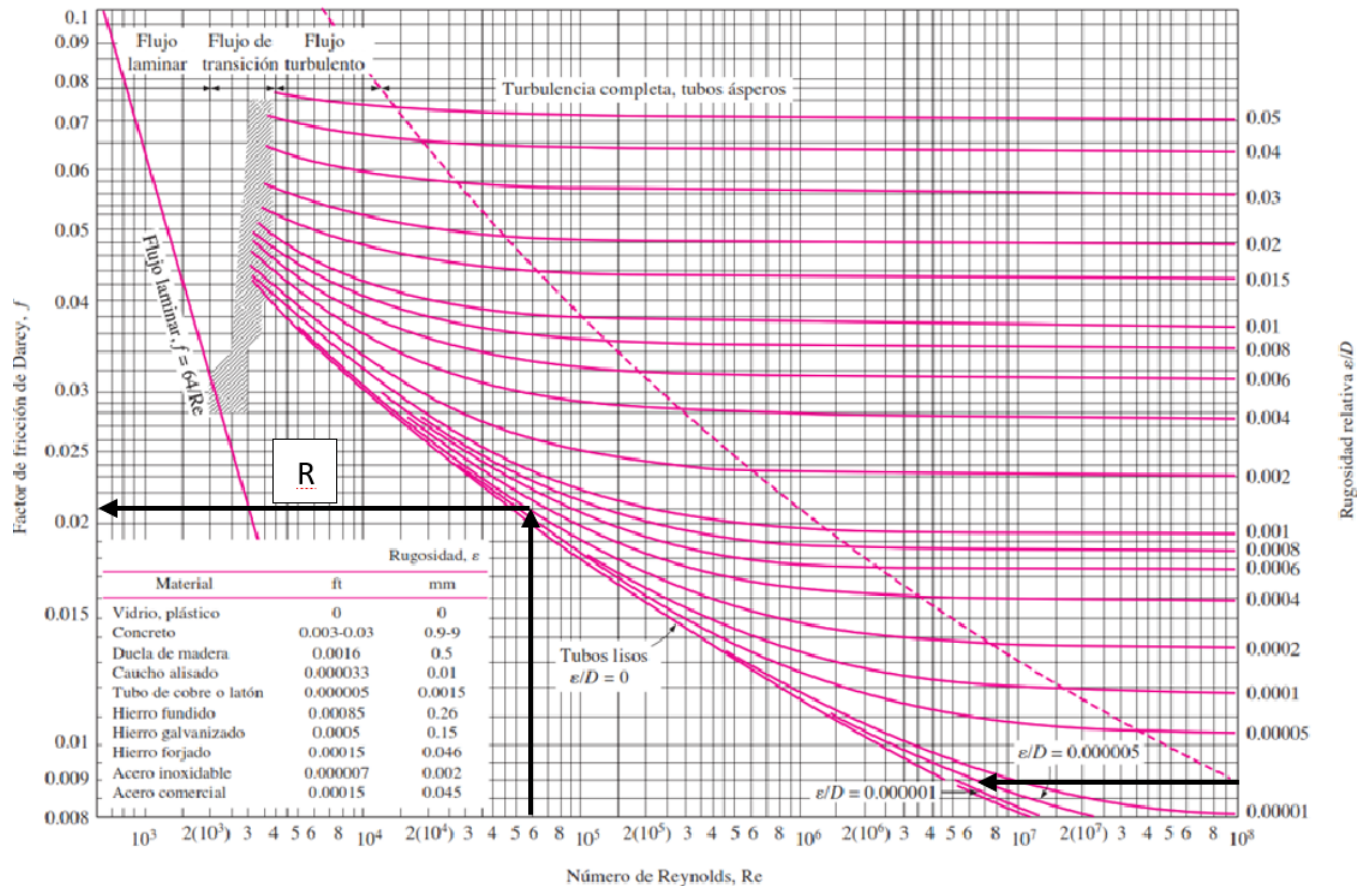
Tabla 11*Datos para el cálculo de las pérdidas primarias.*

Parámetro	Unidad	valor
Densidad del agua a 20°C	<i>kg/m³</i>	992
Velocidad de descargue	<i>m/s</i>	1,24
Diámetro de la tubería	<i>m</i>	0,0414
Viscosidad dinámica del agua a 20°C	<i>kg/m – s</i>	1,01E-03
Coefficiente de rugosidad (plástico)	<i>mm</i>	0.0015

Nota: Los datos presentados son obtenidos en base a tablas Cengel y Ghajar (2007).

Figura 13

Diagrama de Moody.



Nota: Relaciona la rugosidad, Numero de Reynolds y el factor de fricción de Darcy de 0,0218, (Cengel y Ghajar, 2007).

Para obtener el factor de ficción se debe calcular las ecuaciones 18 y 19, y posterior hallar el punto intersecante en la curva del diagrama de Moody ver figura 13.

$$\text{Rugosidad} - \text{relativa} = \epsilon/D \tag{18}$$

Donde:

ϵ : Coeficiente de rugosidad absoluta del material tubo plástico.

D : Diámetro de tubería

$$Rugosidad = \frac{0.0015}{42mm} = 3,57E - 05$$

Calcular el número de Reynolds.

$$Re = \rho * \frac{V * D}{\mu} \quad (19)$$

Donde:

ρ : Densidad del agua a $20^{\circ}C$, $[kg/m^3]$

V : Velocidad de descarga, $[m/s]$

D : Diámetro de la tubería, $[m]$

μ : Viscosidad dinámica del agua $[kg/m - s]$

$$Re = 992kg/m^3 * \frac{1.44m/s * 0.042m}{1,01E - 03kg/m - s} = 59668,066$$

Por lo tanto el factor de fricción es 0,0218:

$$f = f(Re, \varepsilon/D) \quad (20)$$

$$f = f(9668,066 \quad , \quad 3.57E - 05)$$

Cálculo de pérdidas Primarias:

$$H_f = \frac{f * L * V^2}{2 * g * D_H} \quad (21)$$

Donde:

f : Factor de fricción

L : Longitud total de tubería, $[m]$

V : Velocidad de descarga, $[m/s]$

g : Gravedad, $[m/s^2]$

D_H : Diámetro de tubería, $[m]$

$$H_f = \frac{0,0218 * 31,5m * 1,23m/s}{2 * 9,81m/s^2 * 0,0414m} = 1,67m$$

Cálculo de pérdidas secundarias:

$$h_f = \sum K \left(\frac{V^2}{2 * g} \right) \quad (22)$$

Donde:

V : Velocidad de descarga, [m/s]

g : Gravedad [9,81]

K : Suma de los Coeficientes de: codo 90°, válvula compuerta, válvula check o pie.

$$h_f = 6,45 \left(\frac{1,44^2 m/s}{2 * 9,81 m/s^2} \right) = 0,685 m$$

De la ecuación 16 se obtiene la altura de la bomba en la línea de descarga:

$$\Delta H = Z_2 - Z_1 + \text{Pérdidas (primarias y secundarias)}$$

$$\Delta H = 29,5 + 1,67 + 0,68 = 31,85 m$$

e) Cálculo de la carga positiva neta de aspiración requerida (NPSH) del sistema

Para el cálculo de la carga positiva neta de aspiración requerida se obtiene a partir de las ecuaciones 16 hasta la ecuación 23, es necesario recalculer las pérdidas en la tubería de succión, tanto primarias como secundarias, a continuación se presenta el desarrollo total en la tabla 12.

Cálculo de tubería de succión:

Tabla 12*Datos calculados de la tubería de succión.*

Parámetro	Unidad	valor
Rugosidad relativa	–	2,50E-05
Numero de Reynolds	–	4,18E+04
Factor de fricción	–	0,0218
Perdidas secundarias	<i>m</i>	0,082
Perdidas Primarias	<i>m</i>	0,018
Altura de bomba	<i>m</i>	29.60

Nota: Datos para el cálculo de NPSH.

En la siguiente tabla 13, se detalla las constantes a utilizar para el cálculo del NPSH.

Tabla 13*Datos para calcular el NPSH.*

Parámetro	Unidad	valor
Presión atmosférica	<i>PSI</i>	14,7
Presión de vapor del agua	<i>PSI</i>	0,2563
Gravedad especifico del agua	–	1
Altura de succión	<i>m</i>	1,5
Perdidas primarias y secundarias	<i>m</i>	0,1014

Nota: Datos obtenidos de tablas.

Sustituyendo los datos de la tabla 13 en la ecuación 23 se obtiene:

$$NPSH = \frac{0,7 * (P_s - P_v)}{G, E} - Z - h \quad (23)$$

$$NPSH = \frac{0,7 * (14,7 - 0,2563)}{1} - 1,5 - 0,1014$$

$$NPSH = 8,50m$$

f) Selección de una bomba centrífuga

Tabla 14

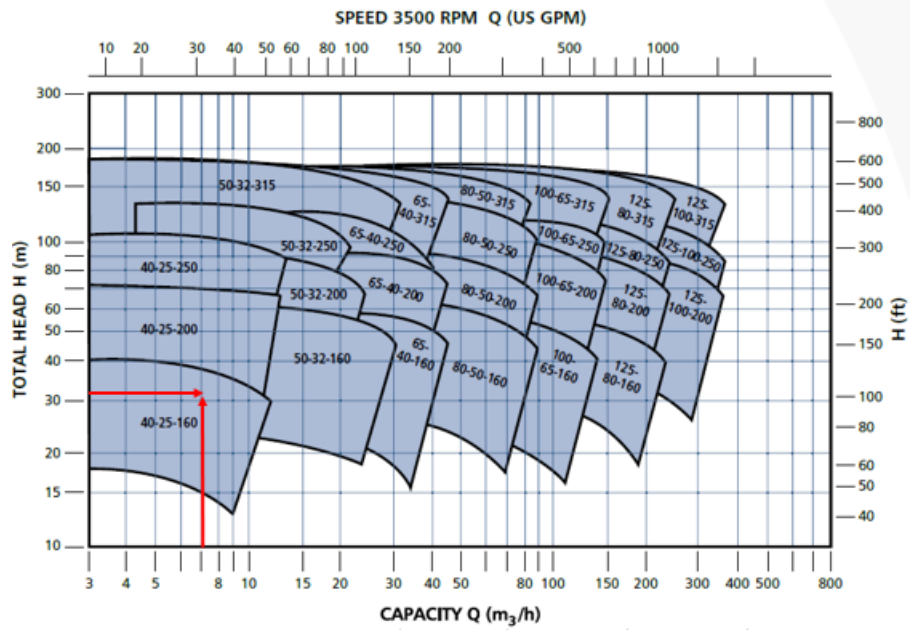
Datos obtenidos para seleccionar la bomba.

Parámetro	Unidad	valor
Caudal	m^3/h	7,2
Altura de bomba	m	31,85
Potencia de motor	Kw	1,1
Carga positiva neta de aspiración	m	8,50
Tubería de succión	mm	60
Tubería de descarga	mm	42

Nota: Datos obtenidos de los cálculos realizados.

Figura 14

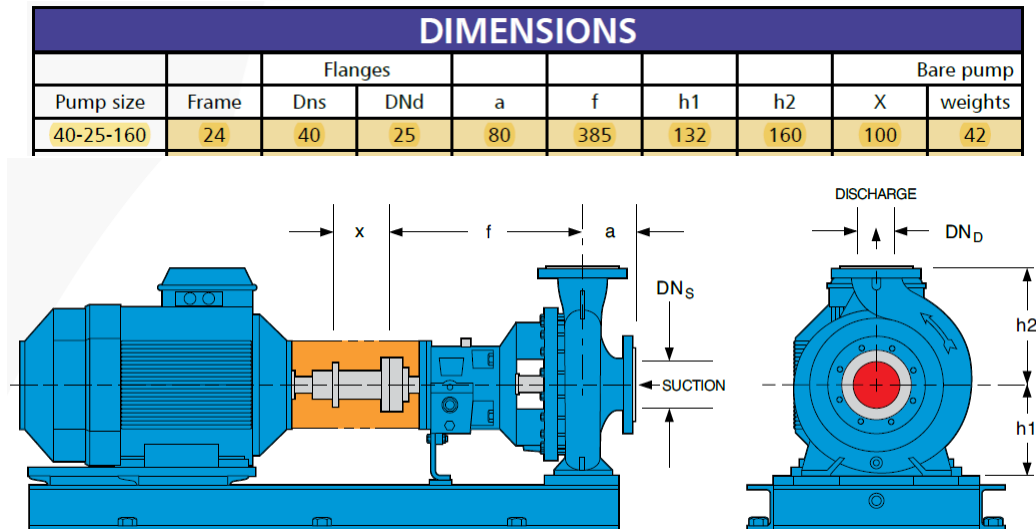
Diagrama de selección de bombas con la normativa IEC.



Nota: Gráficas que relacionan el caudal, altura de bomba y velocidad, (Goulds, 2021).

Figura 15

Diferentes dimensiones de bombas con la normativa IEC.



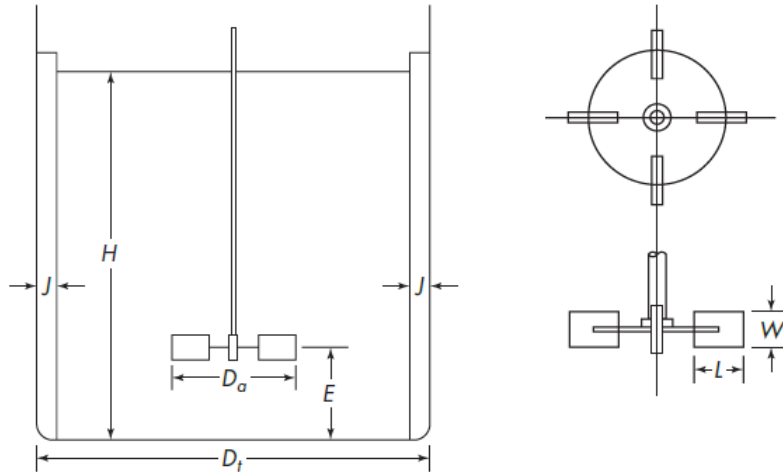
Nota: Datos a partir del diagrama de selección de bomba, (Goulds, 2021).

6.2.5. Dimensionamiento del motor de agitación para el mezclado entre el sulfato de aluminio tipo A y el agua cruda.

Para un diseño estándar del tanque agitador debe cumplir con ciertas relaciones geométricas típicas del sistema para que no exista cambios en la velocidad de circulación del líquido, los patrones de velocidad y consumo de potencia, para este caso se usa un diseño de turbina de disco con seis palas, ver figura 16.

Figura 16

Mediciones de turbina.



Nota: Diseño de un tanque de agitación, tomado de McCabe, Smith, y Harriot (2007).

a) Medidas del tanque de agitación

A continuación, se presenta las relaciones geométricas que debe cumplir el sistema del tanque de agitación, los datos obtenidos se presentan en la tabla 15.

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (24)$$

$$\frac{H}{D_t} = 1 \quad (25)$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \quad (26)$$

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \quad (27)$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5} \quad (28)$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \quad (29)$$

Donde:

D_a : Diámetro del agitador, [m]

D_t : Diámetro del tanque, [m]

H : Altura del tanque, [m]

J : Deflector, [m]

E : Altura del agitador entre el fondo del tanque y el agitador, [m]

W : Ancho de pala, [m]

L : Longitud de pala, [m]

Tabla 15

Datos para el dimensionamiento del motor de agitación.

Parámetro	Unidad	valor
Diámetro del tanque	m	0,915
Altura del líquido	m	0,915
Diámetro del impulsor	m	0,305
Ancho de pala	m	0,061
Deflector	m	0,0762
Viscosidad del agua	$kg/m - s$	0,0001008
Densidad del agua	kg/m^3	992
Velocidad	rev/min	200

Nota: La turbina para el diseño es de tipo disco de seis palas.

b) Cálculo de potencia

Primero se calcula el numero de Reynolds, con los datos de las propiedades físicas del agua, el diámetro del agitador y el numero de revoluciones, presentadas con anterioridad en la tabla 15.

$$N_{Re} = \frac{D_a^2 * N * \rho}{\mu} \quad (30)$$

Donde:

D_a : Diámetro del agitador, [m]

N : Numero de revoluciones del agitador, [rev/min]

ρ : Densidad del agua, $[kg/m^3]$

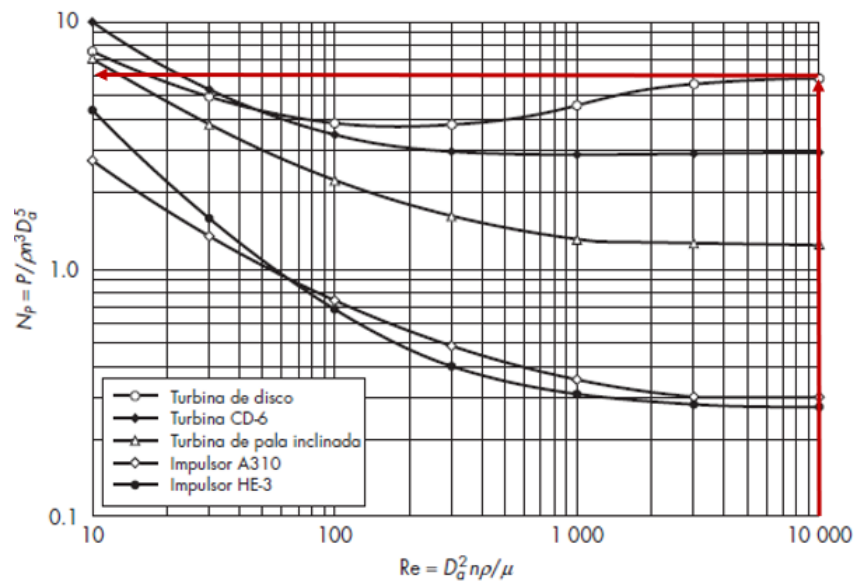
μ : Viscosidad del agua, $[kg/m - s]$

$$N_{Re} = \frac{0,915^2 * 200/60 * 992}{0,0001008}$$
$$N_{Re} = 305161,3757$$

Con el número de Reynolds obtenido se localiza el número de potencia mediante la siguiente figura 17, para este caso el número es de $N_p = 5$ localizado sobre la gráfica de turbina de disco.

Figura 17

Numero de potencia N_p en función del numero de Reynolds Re para turbinas e impulsores de alta eficiencia.



Nota: En la gráfica se observa los números de potencia para diferentes tipos de hélice, tomado de McCabe y cols. (2007).

Una vez localizado el número de potencia se procede a calcular la potencia despejando P de la siguiente ecuación.

$$N_p = \frac{P}{\rho * N^3 * D_a^5} \quad (31)$$

Donde:

N_p : Número de potencia,

P : Potencia del sistema de agitación, [w]

ρ : Densidad del fluido, [kg/m³]

N : Número de revoluciones, [rev/min]

D_a : Diámetro del agitador, [m]

$$P = \rho * N^3 * D_a^5 * N_p$$

$$P = 992 * 200/60^3 * 0.305^5$$

$$P = 484.86[w]$$

Al ser un valor teórico la potencia, se debe encontrar la real mediante la siguiente ecuación 32, para este caso se tomara el valor 70%

$$P_r = \frac{P}{\eta} \quad (32)$$

Donde:

P_r : Potencia real, [w]

η : Eficiencia

$$P_r = \frac{484.86[w]}{0,7}$$

$$P_r = 692,65[w]$$

Una vez calculado se debe tomar un valor comercial, la potencia sera de $P = 0,75[Kw]$ o 1 Hp.

6.3. Fases para automatizar el sistema de dosificación de SA

Para automatizar el proceso de dosificación de SA tipo A se siguen las siguientes fases donde involucre el diseño del sistema y las especificaciones como se presenta a continuación.

■ Especificación

1. Conocer el funcionamiento actual de la planta
2. Definir las necesidades de la planta
3. Definir las variables a controlar para el diseño del sistema

■ Diseño

1. Selección de sensores y actuadores para el funcionamiento del sistema
2. Definir el numero de entradas y salidas necesarias en el diseño
3. Selección del controlador apropiadoo
4. Diseño en TIA Portal V16 (software)

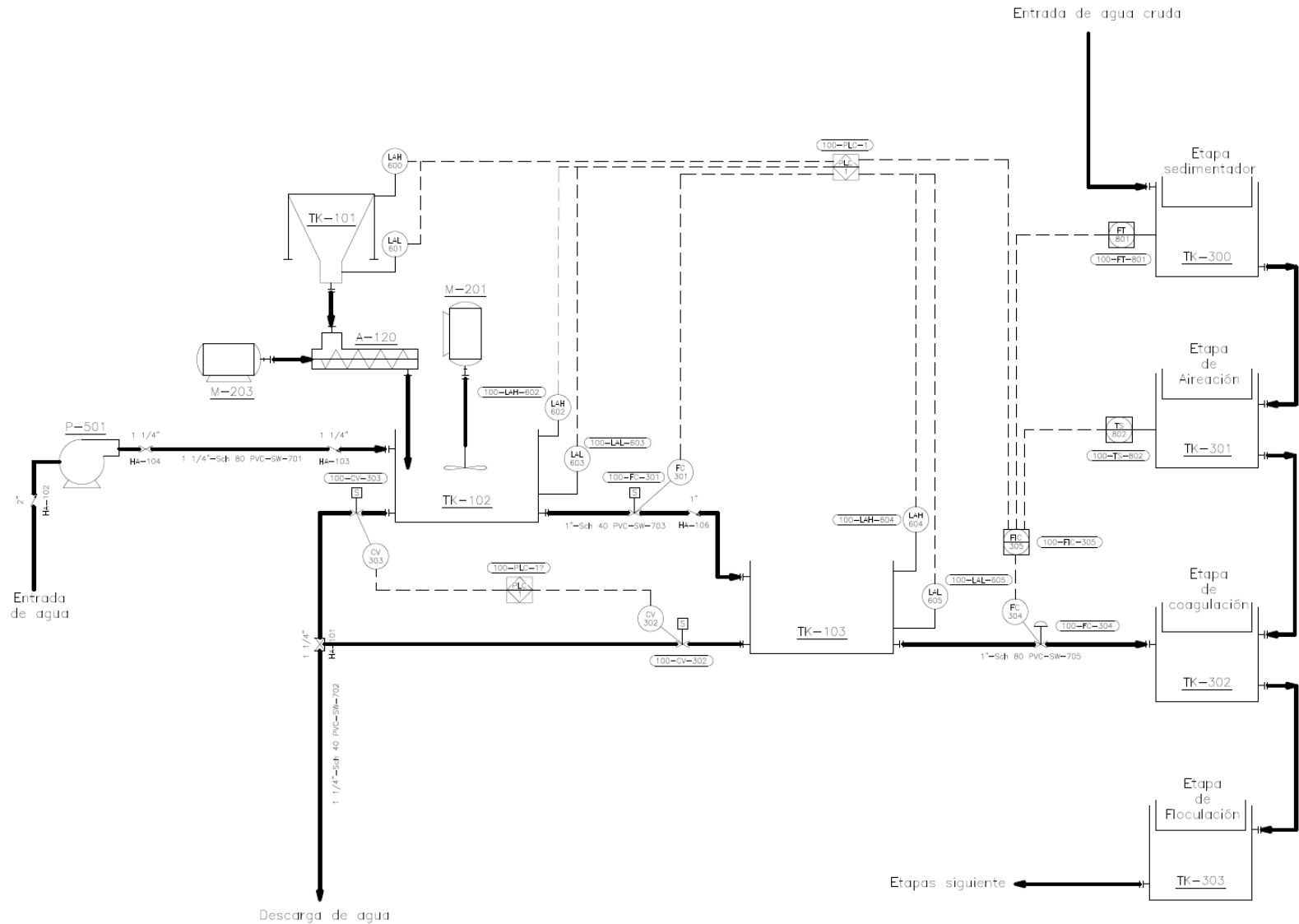
6.3.1. Propuesta de diseño desarrollado en diagrama P&ID

La PTAP en la etapa de dosificación de SA tipo A, el proceso comienza con el agua cruda impulsada por una bomba de agua, mientras que el SA sera removido de la tolva por un motor mediante un tornillo helicoidal para ser depositado en el tanque numero 1, donde se realiza la agitación por 5 minutos. Al terminar esta primera etapa la solución madre es depositada en el segundo tanque y la dosificación sera por medio de una válvula proporcional mediante un control por eventos mediante programación, finalmente la mezcla se lo realiza en la etapa de coagulación y mezcla rápida. En esta etapa se tiene el diagrama P&D figura 18 que servirá de referencia para el resto de fases y sus respectivos acrónimos en la tabla 16.

Figura 18

Diagrama P&ID del sistema automático de dosificación del SA.

51



Nota: Diagrama P&ID del sistema total de la planta de tratamiento de agua potable.

Tabla 16*Lista de acrónimos.*

Ítem	Acrónimo	Definición
1	LAH-600	Sensor de nivel alto
2	LAL-601	Sensor de nivel bajo
3	M-203	Motor de empuje de SA
4	A-120	Tornillo sin fin
5	P-501	Bomba de agua
6	M-201	Motor de agitación
7	TK-102	Tanque de preparacion SA de TK-102
8	LAH-602	Sensor de nivel alto
9	LAL-603	Sensor de nivel bajo
10	CV-302	Electroválvula on/off
11	CV-303	Electroválvula on/off
12	FC-301	Electroválvula on/off
13	TK-103	Tanque de acogida de SA de TK-102
14	LAH-605	Sensor de nivel alto
15	LAL-604	Sensor de nivel bajo
16	FC-304	Válvula proporcional
17	FT-801	Transmisor de caudal
18	TS-802	Sensor de turbiedad
19	HA-102	Válvula check de 2"
20	HA-104	Válvula de paso tipo globo de 1 – 1/4"
21	HA-103	Válvula check de 1 – 1/4"
22	HA-101	Acople en T de 1 – 1/4"

Nota: Fase uno, conocimiento de la planta.

6.3.2. Definir las necesidades de la planta de dosificación del SA

Se refiere a los requisitos y funcionalidades específicas según el objetivo del sistema. Para este caso debe cumplir que el sistema de dosificación siempre estará activo y proporcionando la dosis en la etapa de coagulación. En la siguiente tabla 17 se presenta:

Tabla 17

Lista de acrónimos y condiciones en las diferentes etapas.

Ítem	Acrónimos	Etapas (E) y condiciones (C)
1	LAH-600 y LAL-601	E1: C activo, si no alarma de llenado de tolva TK-101.
2	M-203	E2: Se activa siempre que etapa 1 se cumpla.
3	Temporizador	E3: Tiempo de 3 min.
4	P-501	E4: Se activa cuando cumpla etapa 1, 2 y 3.
5	LAH-602	E5: Se activa cuando se llene el TK-102 y desactiva etapa 4.
6	M-201	E6: Se activa cuando cumpla la etapa 5.
7	Temporizador	E7: Tiempo de 5 min.
8	FC-301	E8: Se activa cuando cumpla la etapa 6 y 7.
9	LAH-605	E9: Se activa cuando el TK-103 este lleno y desactiva etapa 8.
10	FC-304	E10: Se activa y dosifica el SA, con los datos de los FT-801 y TS-802.
11	LAL-604	E11: Repite el proceso.

Nota: Fase dos, conocimiento de la planta.

6.3.3. Definir las variables a controlar de la planta de dosificación del SA

Las variables a controlar en un sistema de automatización son las magnitudes o condiciones que deben ser monitoreadas y ajustadas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

- El flujo de entrada y salida de la FC-304 para la correcta dosificación del SA en la etapa de coagulación y mezcla rápida que se complementa con la FT-801 y TS-802.
- Nivel en los TK-101, TK-102 y TK-103.
- Tiempos de mezclado en TK-102.
- Tiempo de descarga de SA desde A-120.

6.3.4. Selección de sensores y actuadores de la planta de dosificación del SA

Los sensores permite convertir una magnitud física, como flujo, nivel, temperatura, etc., a una señal eléctrica de tipo digital que puede ser interpretada y utilizada por otros componentes

del sistema. Y por otro lado el actuador es es un dispositivo que convierte una señal eléctrica o digital en una acción física o en una respuesta en el entorno. En este caso las electroválvulas y los motores ejecutan acciones y llevan cambios al sistema de automatización presentado. Por ende, la correcta selección de los componentes ayudara a que el sistema sea eficiente, confiable y rentable.

a) Sensor de flujo electromagnético

La familia SITRANS FM de Siemens se puede conectar a cualquier PLC con registros de Modbus preprogramados para ser compatible con las marcas líderes del mercado. A continuación, se presenta sus características principales:

- Marca: Siemens
- Diseño: Compacto, campo continuo (DC)
- Tamaño: DN 200 (8")
- Conexión a proceso: Bridas
- Presión nomina: EN 1092-1 PN 40
- Precisión: Error de caudal $\pm 0,2$
- Materiales / temperatura: EPDM: 70 °C (158 °F)
- Comunicación: protocolo MODBUS RTU

Figura 19

Caudalímetro electromagnético.



Nota: SITRANS FM MAG 8000 tomado de (S. Siemens, 2021) .

b) Bomba de agua

Una bomba de agua es un dispositivo mecánico que se utiliza para mover el agua desde el tanque de filtración hasta los depósitos para el mezclado de la solución del sulfato, sus principales características se presentan a continuación:

- Marcar: Truper
- Altura máxima: 33 m
- Flujo máximo: 159 L/min
- Profundidad máxima de succión: 8 m
- Voltaje de alimentación: 115 V / 230 V
- Potencia: 1HP
- Diámetro de salida: 1 1/4" NPT / 1" NPT

Figura 20

Bomba centrífuga para agua.



Nota: Bomba de la marca Truper, de acuerdo a (Truper, 2023).

c) Motor de agitación

Es un agitador vertical con moto-reductores de velocidad media para el proceso de mezcla entre el SA y el agua cruda. Su instalación se realiza descentrado para evitar el derrame del producto y la entrada en rotación del producto; la forma de la hélice permite que el producto sea empujado hacia al fondo y retorne a la superficie de manera constante (Inoxpa, 2023)

- Marca: Serie NBI de Inoxpa
- Potencia: 1.1 kw
- rpm: 476
- Eje del agitador: 1400
- Diámetro de hélice: 400
- Clase de aislamiento: F

Figura 21

Agitador vertical.



Nota: Agitador de la línea Inoxpa, de acuerdo a (Inoxpa, 2023).

d) Electroválvula on/off

La válvula de asiento está formada por un agujero y un tapón cónico. Por su construcción, estas válvulas funcionan muy bien para regular fluido; aunque se adaptan a aplicaciones de solo dos opciones on/off (Parkern, 2023). Se presenta sus características importantes:

- Temperaturas: -10°C a 180°C

- Presiones de trabajo: 16 Bar
- Diámetro: 1" a 2"
- Conexión: Threads BSP

Figura 22

Válvula de asiento.



Nota: Válvula de la familia Parker, de acuerdo a (Parkern, 2023).

e) Electroválvula de control

La válvula reguladora de proceso Tipo 3361 de Bürkert es la solución ideal para cumplir en condiciones difíciles. Posee un actuador motorizado con husillo de bolas ajusta el cono de regulación con la máxima precisión, alta velocidad de ajuste, de 6 mm/s, que reacciona a las señales de proceso casi sin retardo (Burkert, 2023), a continuación, se presentan sus características:

- Temperaturas: -40°C a 130°C
- Presiones de trabajo: 16 Bar
- Diámetro: 1" a 2"
- Alimentación: 24VDC

Figura 23

Tipo 3361 - Válvula reguladora de asiento recto motorizada de 2 vías.



Nota: Válvula de la familia Brukert, de acuerdo a (Burkert, 2023).

f) Sensor de nivel ultrasónico M30

Es un dispositivo que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia para detectar la presencia de objetos en su entorno, emiten pulsos de sonido ultrasónico que viajan a través del aire y luego miden el tiempo que tarda el eco del sonido en regresar después de rebotar en un objeto. La distancia al objeto se calcula a partir del tiempo de vuelo del eco y la velocidad del sonido en el medio en el que se está propagando.

- Temperaturas: -25°C a $+70^{\circ}\text{C}$
- IO - Link interface
- Voltaje de operación: 15...30VDC
- Corriente de operación: ≤ 150 mA
- Rango: 60...600cm

Figura 24

Sensor de nivel ultrasónico M30.



Nota: Sensor de nivel M30, de acuerdo a (Turck, 2023).

g) Sensor de turbiedad Optisys Tur 1060

Según turbiedad Krohne (2023) es un sistema compacto de medida de la turbidez OPTISYS TUR 1060 utiliza el método de luz dispersa en un ángulo de 90° para analizar muestras de líquidos en una cubeta de vidrio. Es decir, las ópticas de medida no están expuestas directamente a la muestra y por tanto requieren menos mantenimiento.

- Temperaturas: $+1\dots+50^\circ\text{C}$
- Registro de datos con intervalo: $1\dots60$ min
- Rango de medida: $0\dots100$ NTU/FNU
- Salidas $4\dots20\text{mA}$
- RS-485 Modbus
- Tiempo de respuesta: $1\dots60$ s
- Alimentacion: $100\dots240\text{VAC}$

Figura 25

Sensor de turbiedad Optisys Tur 1060.



Nota: Sensor Tur 1060, de acuerdo a (turbiedad Krohne, 2023).

6.3.5. Definir el numero de entradas y salidas

El número de entradas y salidas en esta fase de automatización se refiere a la cantidad de señales de entradas y salidas utilizadas en el sistema automatizado de dosificación de SA para capturar la información del entorno y generar las acciones correspondientes. En la siguiente tabla 18 se presentan.

Tabla 18*Número de entradas y salidas.*

Equipo	Símbolo	I/O	Tipo
Motor de suministro de SA	M-203	Salida analógica	110V AC
Bomba de agua	P-501	Salida analógica	110V AC
Motor de agitación	M-201	Salida analógica	110V AC
Electroválvula 1	FC-301	Salida digital	24V DC
Electroválvula 2	FC-302	Salida digital	24V DC
Electroválvula 3	FC-303	Salida digital	24V DC
Electroválvula 4	FC-304	Salida digital	24V DC
Sensor de nivel 1	LAH-600	Entrada digital	24 V DC
Sensor de nivel 2	LAL-601	Entrada digital	24 V DC
Sensor de nivel 3	LAH-602	Entrada digital	24 V DC
Sensor de nivel 4	LAL-603	Entrada digital	24 V DC
Sensor de nivel 5	LAH-605	Entrada digital	24 V DC
Sensor de nivel 6	LAH-604	Entrada digital	24 V DC
Sensor de caudal	FT-801	Entrada analógica	24V DC
Sensor de turbiedad	TS-802	Entrada analógica	24V DC
Pulsante start 1	Start	Salida digital	24 V DC
Pulsante stop 1	Stop	Salida digital	24 V DC
Pulsante start 2	Start	Salida digital	24 V DC
Pulsante stop 2	Stop	Salida digital	24 V DC
Luz piloto 1	A1	Salida digital	24 V DC
Luz piloto 2	A2	Salida digital	24 V DC
Luz piloto 3	A3	Salida digital	24 V DC
Luz piloto 4	A4	Salida digital	24 V DC
Luz piloto 5	A4	Salida digital	24 V DC

Nota: La simbología presentada se utilizara en el Software TIA Portal V16.

A continuación, se presenta el total de numero de I/O de digitales y analógicas necesarias para el dimensionamiento del PLC.

Tabla 19

Definición del número de entradas y salidas.

I/O	Tipo	Cantidad
Entradas digitales	24V DC	6
Entradas analógicas	24V DC	2
Salidas digitales	24V DC	13
Salidas analógicas	24V DC	3

Nota: El total de las variables se utilizara para el dimensionamiento del controlador.

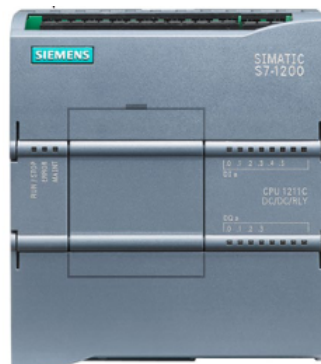
6.3.6. Selección del controlador lógico programable (PLC) y Interfaz hombre maquina (HMI)

a) PLC S7-1200

El PLC es un dispositivo electrónico utilizado en automatización industrial y sistemas de control para monitorear entradas, procesar instrucciones lógicas y generar salidas para controlar máquinas o proceso.

Figura 26

PLC Siemens S7-1200.



Nota: El dispositivo CPU 1214C DC/DC/relé. , tomado de (S. Siemens, 2018b).

Tabla 20

Datos técnicos del PLC Siemens S7-1200.

Parámetro	Unidad	valor
Condiciones ambientales	$^{\circ}C$	-40 a +70
Tensión nominal	VDC	24
Corriente de entrada	mA	5
Especificaciones generales	–	CPU1214C
E/S digitales integradas	–	14 in/10 out
E/S analógicas integradas	–	2
Comunicación	–	1 puerto Ethernet

Nota: El dispositivo CPU 1214C DC/DC/relé. (S. Siemens, 2018b)

b) Modulo de I/O digitales

El modulo de entradas y salidas digitales es un componente que se utiliza para controlar dispositivos de salida en un sistema automatizado, en este el sistema de dosificación del SA.

Figura 27

Modulo de salidas digitales.



Nota: El dispositivo 6ES7222-1BF32-0XB0, tomado de (M. I. Siemens, 2023).

Tabla 21

Datos técnicos del Modulo de salidas digitales.

Parámetro	Unidad	valor
Tensión de alimentación	<i>VDC</i>	24
Salidas digitales	–	DQ 8x24
Entradas digitales	–	DI 8x24
Grado de protección	<i>IP</i>	20
Condiciones ambientales	<i>°C</i>	-20 a 55
Designación	–	SM 1223, DI 8x24 V DC, DQ 8x24 V DC

Nota: El dispositivo 6ES7222-1BF32-0XB0. (M. I. Siemens, 2023)

c) Interfaz hombre maquina (HMI)

El HMI es un dispositivo o software que proporciona una interfaz intuitiva y fácil de usar para que los operadores interactúen con máquinas o sistemas automatizados. Permite supervisar, controlar y ajustar parámetros del sistema, presentando información en tiempo real de forma visual y permitiendo la entrada de comandos.

Figura 28

HMI KTP700.



Nota: El dispositivo 6AV2123-2GB03-0AX0, tomado de (S. Siemens, 2018a).

Tabla 22

Datos técnicos del HMI KTP700.

Parámetro	Unidad	valor
Tipo de operación	–	KTP700 Basic color PN
Voltaje de alimentación	DC	24 V
Interfaz	–	Serial/EtherNet/IP /PROFINET
Numero de articulo	–	6AV2123-2GB03-0AX0

Nota: El HMI (6AV2123-2GB03-0AX0. (S. Siemens, 2018a)

6.3.7. Diseño de software

En esta etapa el diseño de software sera sistemático para asegurar que cumpla con los requisitos y objetivos del sistema de dosificación de SA, que controlara y gestionara el sistema automatizado. Para este caso se trabajara según la norma IEC 61131-3 (IEC, 2023), es decir, con Lenguajes de programación que nos facilita TIA Portal V16 como:

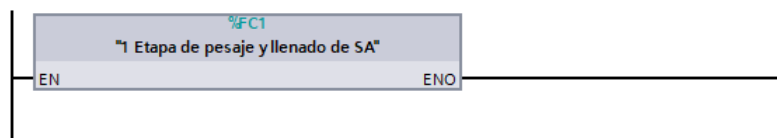
- Lenguaje de Contactos Ladder o KOP.
- Lenguaje de Grafcet
- SCL y FUP

Para el diseño del software se desarrollo un sistema manual y automático, este último se presenta a continuación:

- Etapa 1: Sistema automático de pesaje y llenado de SA en TK-101 y TK-102,

Figura 29

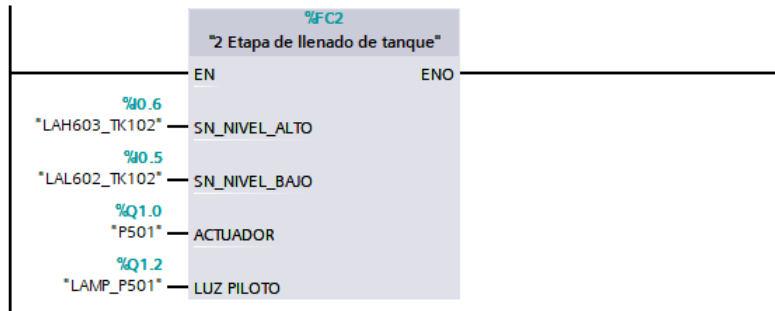
Etapa 1.



- Etapa 2: Llenado de tanque TK-102.

Figura 30

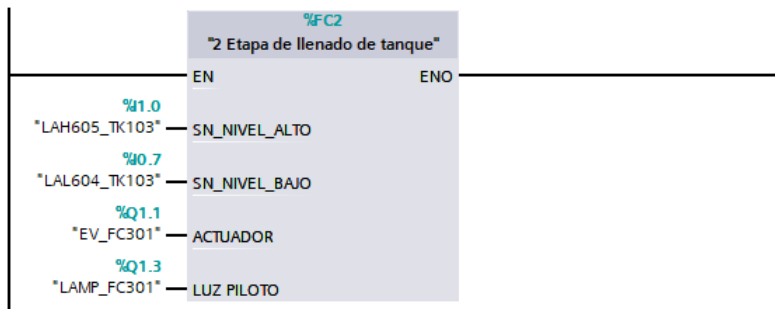
Etapa 2.



- Etapa 3: Llenado de tanque TK-103.

Figura 31

Etapa 3.



- Etapa 4: Dosificación de SA.

Figura 32

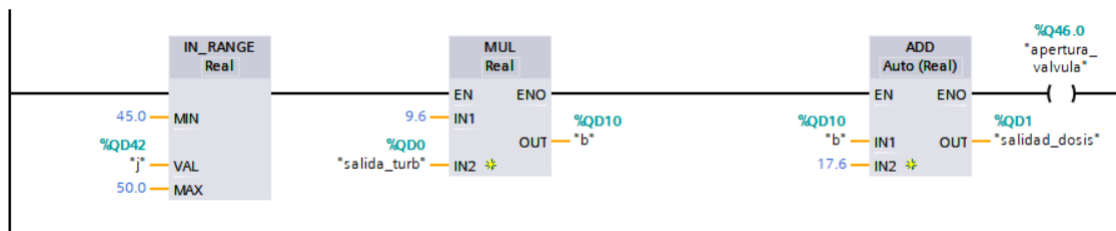
Etapa 4.



Nota: Esta función recibe la señal del sensor y la normaliza el rango del sensor.



Nota: Se encarga de determinar la dosis apropiada en función a la dosis de ingreso.



Nota: Dosifica en función al caudal de ingreso de agua cruda que exista en ese momento en la planta.

6.4. Simulación del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

La simulación del sistema de dosificación se lo realiza en el software TIA Portal V16, mediante un HMI en donde se mostrara las variables de las entradas y salidas del proceso de dosificación del SA tipo A y posterior se realiza en Factory IO. El sistema consta de cuatro etapas:

1. Pesaje y llenado del sulfato de aluminio en la tolva.
2. Llenado del tanque 1 con el agua cruda y sulfato de aluminio.
3. Preparación de la solución madre y posterior el llenado del tanque 2.
4. Dosificación del SA en la etapa de coagulación y mezcla rápida.

Para la programación de las diferentes etapas se utilizo el lenguaje KOP y sus bloques de funciones propios del TIA Portal, con la finalidad de dividir y tener una fácil comprensión del mismo.

6.4.1. Diseño del HMI

En el entorno del HMI se presenta cuatro presentaciones para que el operador tenga la opción de un control automático, manual y visualización de los valores necesarios para la dosificación del SA. En la vista principal o home le da la opción al operador a elegir: sistema automático, sistema manual o visualizar las variables del sistema de control, en la siguiente figura 33 se muestra.

Figura 33

Diseño del HMI del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A.

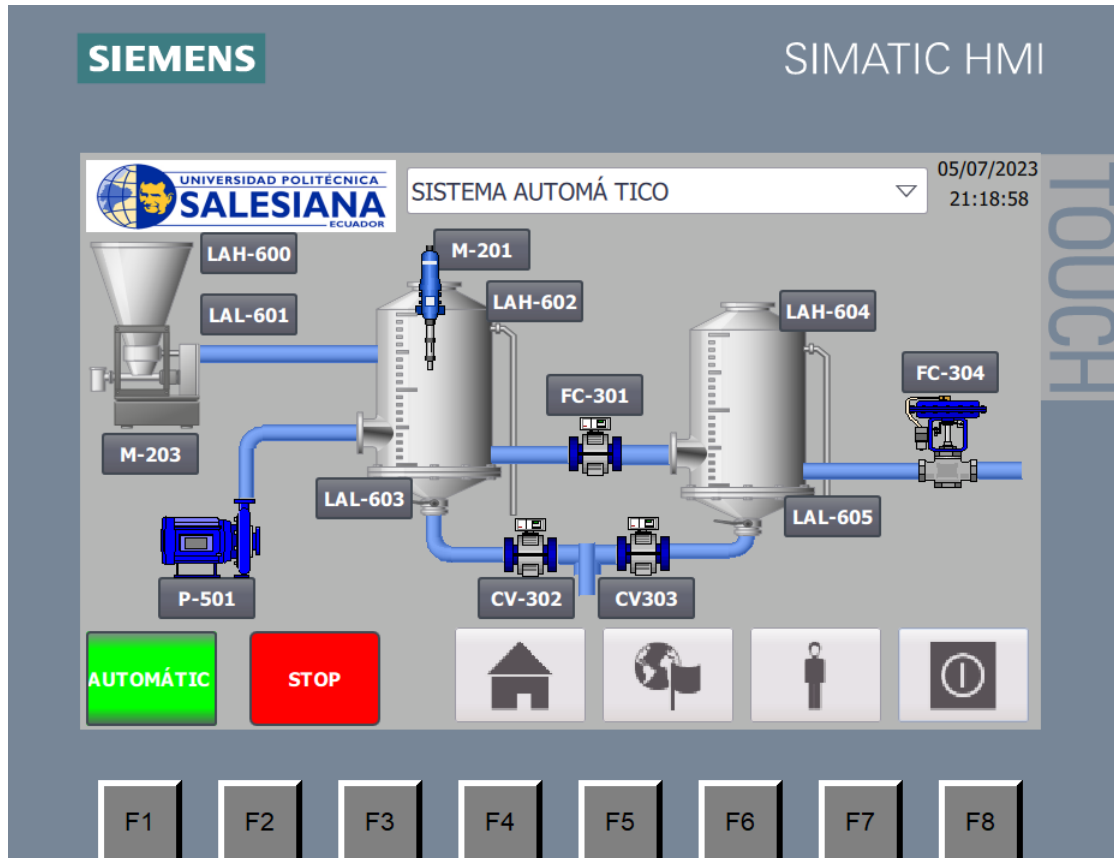


Nota: Vista principal del diseño del HMI.

El HMI del sistema automático, se puede observar las diferentes variables de entradas y salidas de las diferentes etapas presentadas en el diagrama P&ID del sistema automático de dosificación del SA. El diseño del HMI busca proporcionarle al operador un panorama general del sistema y visualización en tiempo real, tal como se indica en la figura 34.

Figura 34

Diseño del HMI del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A.

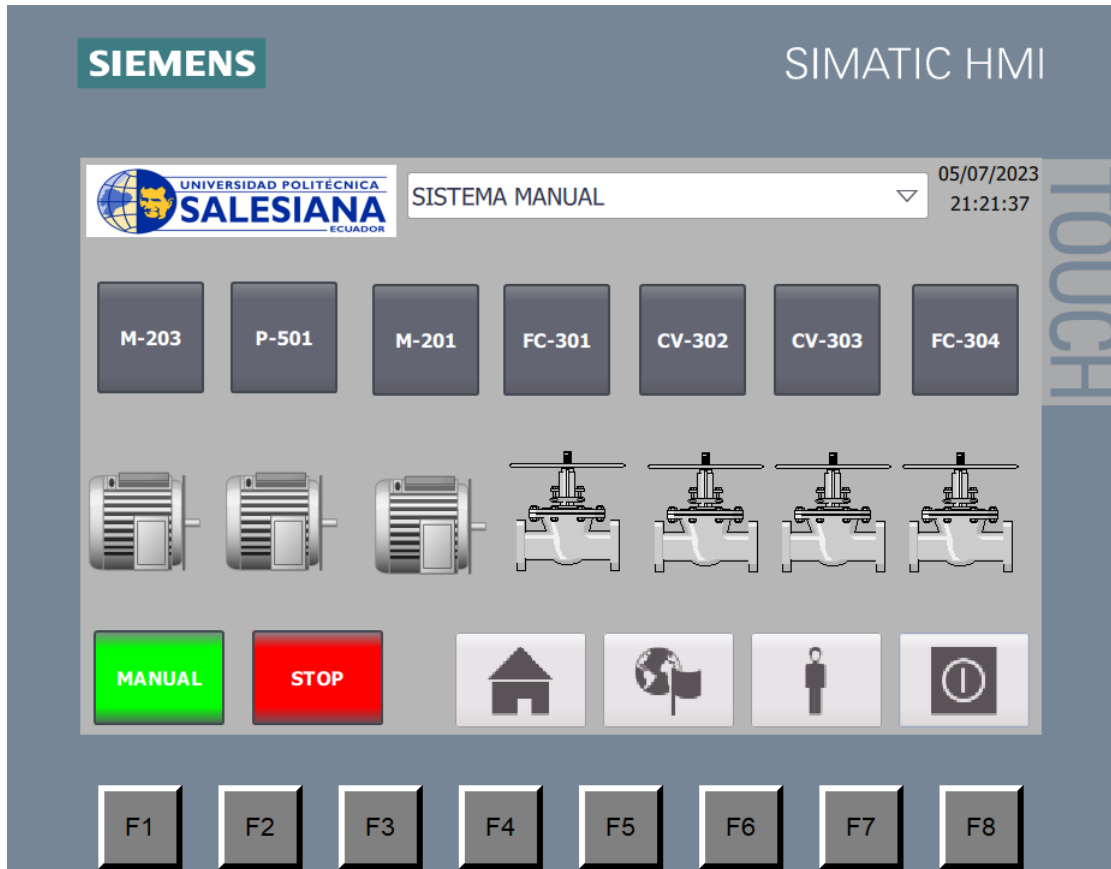


Nota: Vista del sistema automático del diseño del HMI.

Como tercero se tiene el HMI del sistema manual, la finalidad es proporcionar a la planta una posible acción de los actuadores en caso de emergencias imprevistas o mantenimiento, por ejemplo lavado de los tanques, calibración o ajuste de los diferentes sensores o actuadores, etc., en la siguiente figura se presenta.

Figura 35

Diseño del HMI del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A.

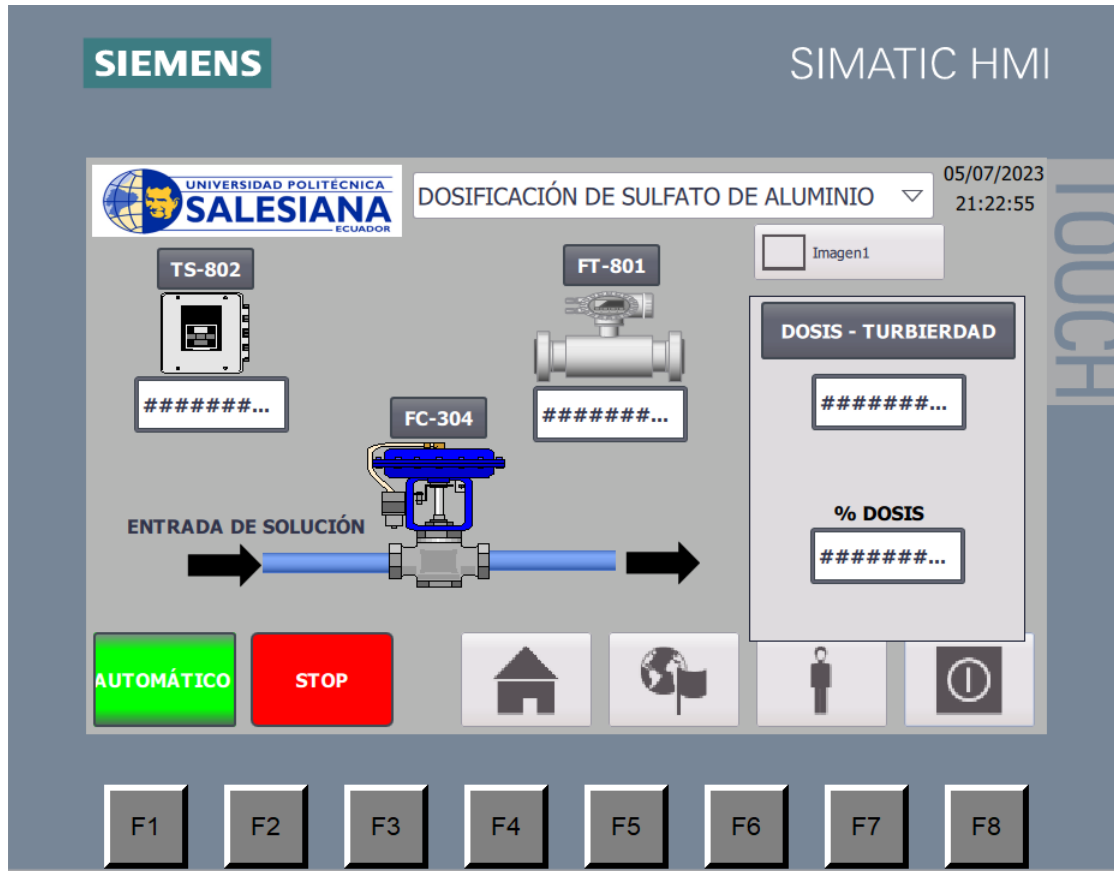


Nota: Vista del sistema manual del diseño del HMI.

Por ultimo se presenta en la figura 37 el diseño del HMI del sistema de control, en este apartado el operador puede observar los distintos valores de cada parámetro que se debe de considerar en la dosificación de sulfato de aluminio, parámetros como son la turbiedad presente en el agua cruda que ingresa, el caudal que esta ingresando a la planta, también la dosis obtenida en base a la turbiedad y la apertura de la válvula en base a la dosis determinada en relación al caudal de ingreso.

Figura 36

Diseño del HMI del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A.



Nota: Vista del sistema de control del diseño del HMI.

6.4.2. Diseño y simulación del sistema automático por medio del software Factory IO

Factory IO es un software de simulación de procesos industriales desarrollado por la empresa australiana Real Games (Real, 2023). Está diseñado para crear entornos virtuales en los que se pueden simular y probar diferentes configuraciones y procesos de una planta de producción o fábrica. Factory IO proporciona una representación visual realista de una planta industrial, con diferentes equipos, máquinas, sensores y actuadores que interactúan entre sí. En este caso se presenta cuatro tanques interconectados donde representa las diferentes etapas mencionadas anteriormente, como se detalla a continuación.

- Tanque TK-100: Simula el suministro del agua potable que debe ingresar en lo posterior

al tanque TK-102.

- Tanque TK-101: Simula el llenado del sulfato de aluminio en la tolva.
- Tanque TK-102: Representa el llenado del tanque TK-102 donde se realiza la preparación del SA con el agua cruda.
- Tanque TK-103: Llenado del TK-103 que simula la solución madre lista para dosificar en la etapa de coagulación.
- En la figura 37 se muestra tableros de control de encendido y apagado del sistema automático, así como luces de alarmas de los llenados de los tanques.

Figura 37

Entorno de simulación en Factory IO del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A.



Nota: Vista del sistema automático en Factory IO.

6.5. Analizar la factibilidad de la implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

Para analizar la factibilidad del proyecto de inversión se realizara un análisis económico del proyecto de diseño del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A para el agua cruda en la PTAP de Patamarca San Andrés para determinar

si es viable o no su implementación en un periodo de ejecución tres meses y con proyección de 5 años.

6.5.1. Inversión y análisis del proyecto de implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

En el siguiente apartado se presenta los costos directos e indirectos y los beneficios que representaría a la empresa si se implementaría el sistema. De igual manera, queda en consideración por la Junta de agua potable de Patamarca llegar a ejecutar la misma.

■ Tasa de rendimiento

La tasa de rendimiento se obtendrá del estado de resultados de los años 2019 al 2022, para este caso sera del 10,37%, misma que sera aplicada en esta sección.

■ Inversión

La inversión inicial es la cantidad de dinero que se destina para cubrir los gastos iniciales y poner en marcha el proyecto y la ejecución del mismo hasta la entrega, esto incluye los costos de construcción y diseño de ingeniería. Para este caso se toma en consideración la inversión variable y la fija.

a) Inversión fija

La inversión fija, también conocida como inversión en capital fijo o inversión en activos fijos, se refiere a la adquisición de activos duraderos que se utilizan en la producción de bienes y servicios durante un período de tiempo prolongado. Para el caso de la Junta de agua potable se refiere a los activos fijos pueden incluir edificios, maquinaria, equipo, vehículos, herramientas y cualquier otro bien físico utilizado en el proceso de potabilizar el agua potable.

b) Inversión variable

■ Mano de obra directa

Se refiere al personal que está directamente involucrado en la producción o fabricación de bienes o la prestación de servicios en un negocio. Estos empleados desempeñan un papel fundamental en el proceso productivo y su trabajo tiene un impacto directo en la creación del producto final. En la tabla 23 se presenta el costo de mano de obra directa de la implementación en 3 meses.

Tabla 23*Mano de obra directa.*

Cantidad	Cargo	Salario mensual	Salario (3 meses)
2	Operarios	\$600	\$1800
Total			\$1800

Nota: Salario mínimo sectorial del año 2023, la información a sido tomada de Ministerio (2023).

- **Mano de obra indirecta**

Se refiere al personal que no está directamente involucrado en la producción o fabricación de bienes, pero que desempeña funciones de apoyo o soporte en un negocio. Estos empleados brindan servicios o realizan tareas que respaldan las operaciones diarias de la empresa, pero no participan directamente en la creación del producto final.

Tabla 24*Mano de obra indirecta.*

Cantidad	Cargo	Prestación de servicio	Salario (3 meses)
1	Ingeniero Mecatrónico	\$1500	\$1500
1	Ingeniero en Sistemas	\$1500	\$1500
1	Capacitador	\$200	\$200
Total			\$3200

- **Materiales directos e indirectos**

Los materiales directos se refieren a los insumos o materiales que son utilizados directamente en el proceso de producción de un bien o la prestación de un servicio en un negocio. Estos materiales son fácilmente identificables y se incorporan físicamente al producto final. El total de los materiales directos e indirectos sera un total de \$ 17732,94.

Tabla 25

Materia prima directa

MATERIA PRIMA DIRECTA			
CANT.	DESCRIPCIÓN	VALOR U.	VALOR
1	Sensor de flujo electromagnetico-MAG 8000 Estándar remoto	1300	1300
1	Sensor de turbiedad-OPTISYS TUR 1060	544	544
4	Electrovalvulas on/off - Parker Angle Seat Valves-1"	64,35	257,4
1	Motor de agitacion NBI verticales con motoreductor	1906,78	1906,78
1	Bomba centrífuga periférica para agua de 0,75Kw	206,1	206,1
1	Electromotive 2 way globe control valve-Valvula proporcional-Burkert	350,35	350,35
1	Selector Iluminable 3 posiciones 2 NA	32,23	32,23
2	Pulsador Tipo Hongo, 40mm, sostenido, desenclavamiento por giro,1NC.	43,23	86,46
2	Pulsador Iluminado, rojo, 1NC, con módulo LED integrado 24V AC/DC.	31,41	62,82
2	Pulsador Iluminado, amarillo, 1NA, con módulo LED integrado 24V AC/DC.	31,41	62,82
2	Pulsador Iluminado, verde, 1NA, con módulo LED integrado 24V AC/DC.	31,41	62,82
2	Luz piloto rojo con led integrado 24V AC/DC	20,48	40,96
2	Luz piloto amarillo con led integrado 24V AC/DC.	20,48	40,96
2	Luz piloto verde con led integrado 24V AC/DC.	20,48	40,96
2	Interruptores 2 polos con disparador de sobrecarga y cortocircuito fijo TM210 Protección LI-40Apm	78,73	157,46
1	Automata programable 1214C /AC/DC/Relé/0/220 VAC	948	948
1	SM1222 Módulo de señal de 8DO a 24V DC	282	282
1	Motor para el suministro del SA - 0,75 Kw	262	262
1	Modulo de comunicación Siemes - CM1243-5	1122	1122
1	Modulo de entradas y salidas digitales Siemens SM1223	706	706
1	Variador de velocidad SIMATIC G120X-Comunicación Modbus RTU/US\$	585	585
1	Pantalla HMI SIMATICK KTP700 Basic	1683	1683
2	Interruptor termomagnetico bifasico 32A	18,6	37,2
7	Interruptor termomagnetico bifasico 40A	18,6	130,2
4	Contactores SIRIUS Innovations 3RT20	31,94	127,76
3	Relés de sobrecarga bimetálicos SIRIUS Innovations 3RU21	58,64	175,92
3	Guardamotors SIRIUS Innovations 3RV20	80,25	240,75
1	Interruptores 2 polos con disparador de sobrecarga y cortocircuito fijo TM210 Protección LI	78,73	78,73
1	Fuente SITOP PS307 formato S7-300. Entrada 120/230V AC; salida 24 VDC 5A	440,16	440,16
1	Motor de agitacion NBI verticales con motoreductor para dosificacion de SA	1906,78	1906,78
TOTAL M.P. DIRECTA			13877,62

Tabla 26*Materia prima indirecta*

MATERIA PRIMA INDIRECTA			
MATERIALES VARIOS			
1	Tablero modular 1200x600x400	574,26	574,26
10	Riel DIN	2,41	24,1
50	Cable IETH Cat6	1,25	62,5
10	Conector tipo RJ45	0,5	5
50	Cable Profibus	2,25	112,5
10	Conector tipo RS485	0,85	8,5
100	Cable 16 AWG	0,3	30
100	Cable 12 AWG	0,4	40
100	Cable 8 AWG	1,26	126
100	Terminales para conexiones de S. Fuerza y S. Control	0,12	12
TOTAL			994,86

Tabla 27*Materia prima indirecta*

SISTEMAS MECÁNICOS			
1	Tolva de Acero Inoxidable	500	500
2	Tanques de Acero Inoxidable	223,21	446,42
6	Tuberia 1 1/4'	34,56	207,36
4	Tuberia 1"	20,82	83,28
4	Tuberia 2"	40,85	163,4
1	Sistema de dosificacion Tornillo Sin Fin Acero Inoxidable	1000	1000
1	Accesorios para tuberias	250	250
1	Accesorios para electrovalvulas	210	210
TOTAL			2860,46

- **Gastos generales variables**

Los gastos generales variables son los costos que varían en proporción directa con el nivel de actividad o producción de una empresa. Estos gastos están relacionados con el funcionamiento general de la empresa y no se pueden atribuir directamente a un producto o servicio específico.

Tabla 28*Gastos generales variables.*

Ítem	AÑO 1	
	Gasto Mensual	Gasto x 3 meses
Agua	\$ 10,00	\$ 30,00
Electricidad	\$ 15,00	\$ 45,00
Celular	\$ 30,00	\$ 90,00
Transporte	\$ 600,00	\$ 1.800,00
Papelería	\$ 50,00	\$ 150,00
Internet	\$ 30,00	\$ 90,00
Gastos del personal	\$ 50,00	\$ 150,00
Asistencia técnica	\$ 100,00	\$ 300,00
Adecuación e instalación	\$ 100,00	\$ 300,00
Total	\$ 985,00	\$ 2.955,00

■ **Total de la inversión variable**

La inversión variable total ver tabla 29 se refiere al capital que se debe poner para poner en marcha el proyecto de implementación, para este caso sera el sistema de dosificación de sulfato de aluminio un total de \$ 26687,94.

Tabla 29*Costos de producción*

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
	AÑO 1 (3 MESES DE PROYECTO)
MATERIA PRIMA	\$17.732,94
MANO DE OBRA	\$5.000,00
GASTOS GENERALES CIF	\$2.955,00
OTROS COSTOS	\$1.000,00
TOTAL COSTOS	\$26.687,94

6.5.2. Rentabilidad e indicadores financieros

■ Flujo de caja del estado de resultados de los años 2019 al 2023

El flujo de caja ver tabla 30, también conocido como flujo de efectivo, se refiere al movimiento de entrada y salida de dinero en una empresa o proyecto durante un período de tiempo específico, representando la cantidad neta de efectivo y equivalentes de efectivo que se generan o utilizan en un negocio.

El flujo de caja se calcula teniendo en cuenta todos los ingresos y gastos de efectivo durante un período determinado, considerando los pagos recibidos de clientes, los pagos realizados a proveedores, los gastos operativos, los impuestos y cualquier otro flujo de efectivo relacionado con la actividad comercial, para este caso se presenta el estado de resultados del año 2019, 2020, 2021 y 2022 datos aproximados de la PTAP de San Andrés.

■ Flujo de caja sin automatizar el proyecto con proyección de 5 años

El flujo de caja presentado en la figura 31, representa la proyección de crecimiento a un periodo de 5 años sin automatizar el sistema de dosificación líquida de la PTAP como se observa para el año 2023 el flujo neto sera de \$ 68669,16 hasta el 2027 con un valor de \$155208,73, con una tasa interna de retorno del 1,97%.

■ Flujo de caja con la automatización del proyecto con proyección de 5 años

El flujo de caja presentado en la figura 32, representa la proyección de crecimiento a un periodo de 5 años sin automatizar el sistema de dosificación líquida de la PTAP como se observa para el año 2023 el flujo neto sera de \$ 108023,57 hasta el 2027 con un valor de \$212199,42, con una tasa interna de retorno del 12,43%.

Tabla 30

Estado de resultados de la Junta Administradora de agua potable de San Andrés de 2019, 2020, 2021 y 2022

	ESTADOS DE RESULTADOS							% de crecimiento ponderado
	2019	2020	19-20	2021	20-21	2022	21-22	
INGRESOS								
Recaudaciones, nuevas acometidas y otros	\$316.229,32	\$327.888,52	3,69%	\$358.547,72	9,35%	\$423.349,51	18,07%	10,37%
EGRESOS								
Insumos químicos	\$24.852,31	\$25.419,81	2,28%	\$27.285,71	7,34%	\$33.260,38	21,90%	10,51%
TOTAL COSTO VENTAS	\$24.852,31	\$25.419,81	2,28%	\$27.285,71	7,34%	\$33.260,38	21,90%	10,51%
UTILIDAD BRUTA	\$291.377,01	\$302.468,71	3,81%	\$331.262,01	9,52%	\$390.089,13	17,76%	10,36%
GASTOS ADMINISTRATIVOS								
Sueldos	\$120.534,54	\$123.688,16	2,62%	\$128.756,91	4,10%	\$163.057,74	26,64%	11,12%
Servicios Básicos	\$3.850,82	\$4.326,01	12,34%	\$5.240,10	21,13%	\$5.965,71	13,85%	15,77%
Servicio telefonía celular	\$1.385,30	\$1.593,96	15,06%	\$1.622,93	1,82%	\$1.311,68	-19,18%	-0,77%
Dietas directivos	\$14.445,00	\$12.195,47	-15,57%	\$14.970,00	22,75%	\$7.420,00	-50,43%	-14,42%
IESS	\$41.806,42	\$48.704,96	16,50%	\$44.026,51	-9,61%	\$45.690,28	3,78%	3,56%
honorarios profesionales	\$17.540,00	\$7.992,21	-54,43%	\$8.629,11	7,97%	\$2.717,19	-68,51%	-38,33%
GASTOS OPERATIVOS								
Materiales	\$99.265,75	\$63.069,79	-36,46%	\$102.613,40	62,70%	\$80.141,35	-21,90%	1,44%
junta riego machangara	\$1.960,92	\$2.145,78	9,43%	\$1.815,66	-15,38%	\$1.980,72	9,09%	1,04%
TOTAL GASTOS OPERATIVOS Y ADMINISTRATIVOS	\$300.788,75	\$263.716,34	-12,33%	\$307.674,62	16,67%	\$308.284,67	0,20%	1,51%
UTILIDAD OPERATIVA	-\$9.411,74	\$38.752,37	-511,75%	\$23.587,39	-39,13%	\$81.804,46	246,81%	-101,35%
GASTOS FINANCIEROS								
Cuotas préstamo Provida (tanque)						\$10.409,20		
Servicio Bancarios	\$126,78	\$134,58	6,15%	\$154,81	15,03%	\$77,90	-49,68%	-9,50%
TOTAL GASTOS FINANCIEROS	\$126,78	\$134,58	6,15%	\$154,81	15,03%	\$10.487,10	6674,17%	2231,79%
OTROS GASTOS								
varios	\$15.370,71	\$23.304,94	51,62%	\$28.818,06	23,66%	\$15.600,01	-45,87%	9,80%
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO A LA RENTA	-\$24.909,23	\$15.312,85	-161,47%	-\$5.385,48	-135,17%	\$55.717,35	-1134,58%	-477,08%
IMPUESTO A LA RENTA (SRI)	\$7.814,42	\$5.128,47	-34,37%	\$11.131,05	117,04%	\$8.290,84	-25,52%	19,05%
DEPRECIACIÓN								
UTILIDAD NETA	-\$32.723,65	\$10.184,38	-131,12%	-\$16.516,53	-262,18%	\$47.426,51	-3,87	-260,15%
SALDO ACUMULADO	\$21.393,57	\$31.577,95				\$15.061,42		
TOTAL	-\$11.330,08	\$41.762,33	-468,60%	\$15.061,42	-63,94%	\$62.487,93	3,15	-72,55%

Tabla 31

Flujo de caja sin sistema automatizado

		FLUJO DE CAJA SIN SISTEMA AUTOMATIZADO				
		2023	2024	2025	2026	2027
INGRESOS						
Recaudaciones, nuevas acometidas y otros		\$467.252,05	\$515.707,41	\$569.187,72	\$628.214,09	\$693.361,67
EGRESOS						
Insumos quimicos		\$36.755,00	\$40.616,79	\$44.884,33	\$49.600,25	\$54.811,67
TOTAL COSTO VENTAS		\$36.755,00	\$40.616,79	\$44.884,33	\$49.600,25	\$54.811,67
UTILIDAD BRUTA		\$430.497,05	\$475.090,62	\$524.303,39	\$578.613,84	\$638.550,00
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
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		\$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
GASTOS OPERATIVOS						
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
TOTAL GASTOS OPERATIVOS Y ADMINISTRATIVOS		\$328.037,65	\$350.582,89	\$375.994,99	\$404.439,07	\$436.151,17
UTILIDAD OPERATIVA		\$102.459,40	\$124.507,73	\$148.308,40	\$174.174,78	\$202.398,83
GASTOS FINANCIEROS						
Cuotas préstamo Provida (tanque)		\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20
Servicio Bancarios		\$70,50	\$63,80	\$57,74	\$52,26	\$47,29
TOTAL GASTOS FINANCIEROS		\$10.479,70	\$10.473,00	\$10.466,94	\$10.461,46	\$10.456,49
OTROS GASTOS						
varios		\$17.129,25	\$18.808,39	\$20.652,13	\$22.676,62	\$24.899,56
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO A LA RENTA		\$74.850,46	\$95.226,34	\$117.189,32	\$141.036,70	\$167.042,78
IMPUESTO A LA RENTA (SRI)		\$11.681,30	\$12.892,69	\$14.229,69	\$15.705,35	\$17.334,04
DEPRECIACIÓN		\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00	\$5.500,00
UTILIDAD NETA		\$68.669,16	\$76.833,65	\$97.459,63	\$130.831,35	\$155.208,73
SALDO ACUMULADO		\$62.487,93	\$131.157,09	\$207.990,74	\$305.450,37	\$436.281,71
TOTAL		\$131.157,09	\$207.990,74	\$305.450,37	\$436.281,71	\$591.490,45
INVERSION		\$495.000,00				
FLUJO NETO		-\$495.000,00	\$68.669,16	\$76.833,65	\$97.459,63	\$130.831,35
WACC		12%				

Tabla 32

Flujo de caja con sistema automatizado

		FLUJO DE CAJA CON SISTEMA AUTOMATIZADO				
		2023	2024	2025	2026	2027
INGRESOS						
Recaudaciones, nuevas acometidas y otros		\$467.252,05	\$515.707,41	\$569.187,72	\$628.214,09	\$693.361,67
EGRESOS						
Insumos quimicos		\$31.781,28	\$35.120,49	\$38.810,54	\$42.888,31	\$47.394,51
TOTAL COSTO VENTAS		\$31.781,28	\$35.120,49	\$38.810,54	\$42.888,31	\$47.394,51
UTILIDAD BRUTA		\$435.470,77	\$480.586,92	\$530.377,18	\$585.325,79	\$645.967,16
GASTOS ADMINISTRATIVOS						
Sueldos		\$153.457,74	\$170.519,36	\$189.477,90	\$210.544,28	\$233.952,85
Servicios Básicos		\$6.906,65	\$7.995,99	\$9.257,16	\$10.717,24	\$12.407,61
Servicio telefonía celular		\$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		\$43.000,27	\$44.530,29	\$46.114,75	\$47.755,58	\$49.454,80
honorarios profesionales		\$1.675,81	\$1.033,55	\$637,43	\$393,13	\$242,46
GASTOS OPERATIVOS						
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
TOTAL GASTOS OPERATIVOS Y ADMINISTRATIVOS		\$295.992,96	\$315.301,70	\$337.129,07	\$361.601,88	\$388.913,64
UTILIDAD OPERATIVA		\$139.477,81	\$165.285,22	\$193.248,11	\$223.723,91	\$257.053,51
GASTOS FINANCIEROS						
Cuotas préstamo Provida (tanque)		\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20	\$10.409,20
Servicio Bancarios		\$70,50	\$63,80	\$57,74	\$52,26	\$47,29
TOTAL GASTOS FINANCIEROS		\$10.479,70	\$10.473,00	\$10.466,94	\$10.461,46	\$10.456,49
OTROS GASTOS						
varios		\$17.129,25	\$18.808,39	\$20.652,13	\$22.676,62	\$24.899,56
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTO A LA RENTA		\$111.868,87	\$136.003,83	\$162.129,03	\$190.585,83	\$221.697,46
IMPUESTO A LA RENTA (SRI)		\$11.681,30	\$12.892,69	\$14.229,69	\$15.705,35	\$17.334,04
DEPRECIACIÓN		\$7.836,00	\$7.836,00	\$7.836,00	\$7.836,00	\$7.836,00
UTILIDAD NETA		\$108.023,57	\$115.275,14	\$140.063,34	\$182.716,48	\$212.199,42
SALDO ACUMULADO		\$62.487,93	\$170.511,50	\$285.786,64	\$425.849,98	\$608.566,46
TOTAL		\$170.511,50	\$285.786,64	\$425.849,98	\$608.566,46	\$820.765,88
INVERSION		\$518.360,01				
FLUJO NETO		-\$518.360,01	\$108.023,57	\$115.275,14	\$140.063,34	\$182.716,48
WACC		12%				

7. Resultados

7.1. Parámetros iniciales establecidos según la Norma INEN 1108 para el diseño de un sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

Al constatar las distintas actividades que se realizan dentro de la PTAP Patamarca San Andrés, se establece que, para la etapa de floculación, en la cual se requiere la suministración de SA tipo A, se cumplan con los requisitos mencionados en la tabla 2, lo cuales son establecidos por la norma INEN 1108, dicha norma es la encargada de regular los parámetros en los cuales el agua se considera que el agua es apta para el consumo humano.

En la etapa de floculación, al aplicar el sulfato de aluminio tipo A se evidenciaron otras sub-etapas que necesitaron ser consideradas, una de ellas es la preparación de la "receta" de solución entre 18.14 kg del SA con 600l de agua, ya que el SA se lo encuentra en presentación granular y necesita mezclarse con el agua para su dosificación líquida.

7.2. Diseño del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

El diseño del sistema de dosificación del sulfato de aluminio tipo A se realizó en el software TIA Portal V16 mediante un PLC S7-1200 y un HMI KTP700. El diseño del HMI se presenta en las figuras 33, 34, 35, 37 y el programa se presenta en el Anexo A; los mismos que cumplen con los requisitos planteados en el diseño. Para el desarrollo del sistema se basó en las cuatro etapas presentadas en la figura 12 según los requisitos de la planta.

7.3. Resultados de la simulación del sistema de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

El resultado simulación del sistema de monitoreo y dosificación líquida de SA tipo A comprende la simulación del sistema en el HMI con la suma del software TIA Portal V16 y en Factory IO.

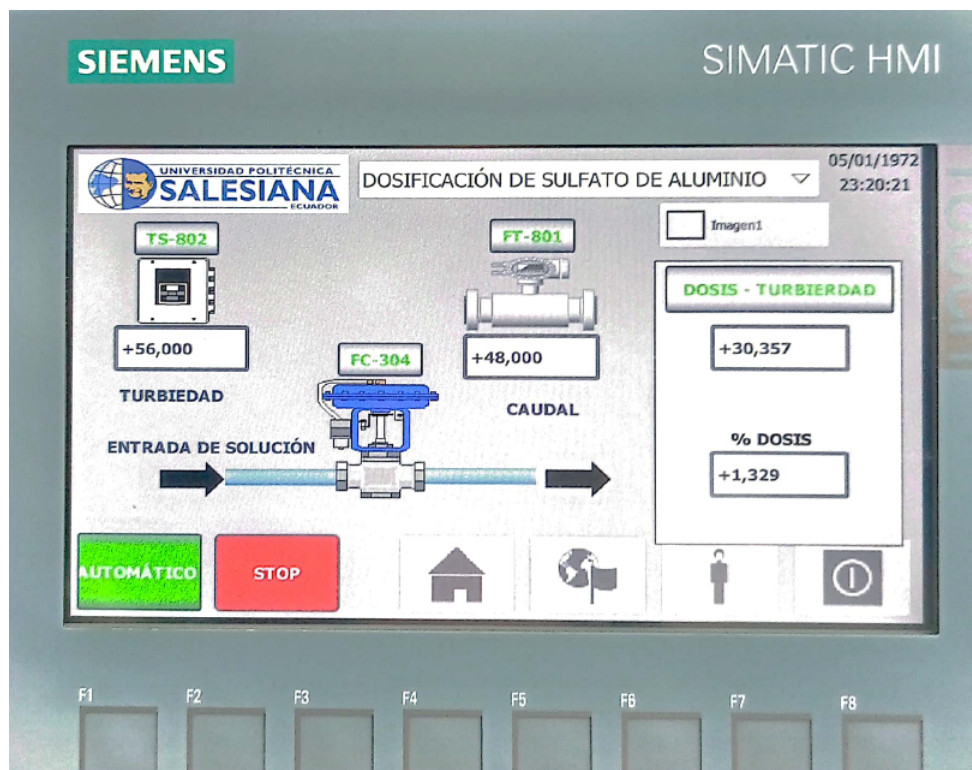
7.3.1. Visualización de los resultados de la dosis del SA en el HMI

En la figura 38, se indica la etapa de dosificación del sulfato de aluminio previa al suministro de la dosis al canal de mezcla rápida o la etapa de floculación. Los valores presentados en la imagen son:

- El sensor de turbiedad TS-802 marca un valor analógico de 56 NTU.
- El sensor de caudal FT-801 con un valor analógico de 48 l/s.
- La dosis en base al caudal y turbiedad es de 30,357 mg/l.
- El porcentaje de la apertura de la válvula proporcional es de 1,329.

Figura 38

Resultado con los valores de la dosificación del SA en la pantalla HMI.



Nota: En la imagen se muestra los valores de turbiedad, caudal, la dosis y el porcentaje de apertura de la válvula proporcional.

De la misma manera se presenta la tabla 33 la comparación de los resultados esperados vs los obtenidos en la simulación, se aprecia que son iguales porque el control por eventos implementado en TIA Portal maneja una lógica matemática, ver figura 47.

Tabla 33

Comparación entre resultados esperados frente a los obtenidos en la simulación

Turbiedad (ntu)	Dosis obtenida (mg/l)	Dosis esperada (mg/l)
15	27,057	27,0569
25	27,862	27,8619
35	28,667	28,6669
45	29,472	29,4719
55	30,277	30,2769
65	31,082	31,0819
75	31,887	31,8869
85	32,692	32,6919
95	33,497	33,4969
105	34,302	34,0319
115	35,107	35,1069
125	35,912	35,9119
135	36,717	36,7169
145	37,522	37,5219
155	38,327	38,3269
165	39,132	39,1319
175	39,937	39,9369
185	40,742	40,7419
195	41,547	41,5469
205	42,352	42,3519
215	43,157	43,1569

Nota: Datos obtenido durante la simulación entre TIA Portal y Factory IO

7.3.2. Simulación en el software Factory IO

En la figura 39 se indica la simulación del software Factory IO, donde se representa las cuatro etapas presentadas en la figura 12. Los cuatro tanques representa lo siguiente:

- TK-100: es el tanque de suministro del agua cruda, el cual debe estar siempre lleno para que exista la dosificación.
- TK-101: es el tanque de llenado de SA en la tolva con 100 kg, misma que debe ser suministrada y monitorizada por el operador.
- TK-102: una vez que se llene con 100 litros de agua y se deposite los 18,14 kg de sulfato de aluminio mediante el tornillo helicoidal se realiza la mezcla mediante el agitador M-201, produciendo la solución madre.
- TK-103: este tanque sirve de reserva y dosifica la solución hacia la etapa de floculación.

Figura 39

Resultado de la simulación del sistema de dosificación del SA en el software Factory IO.

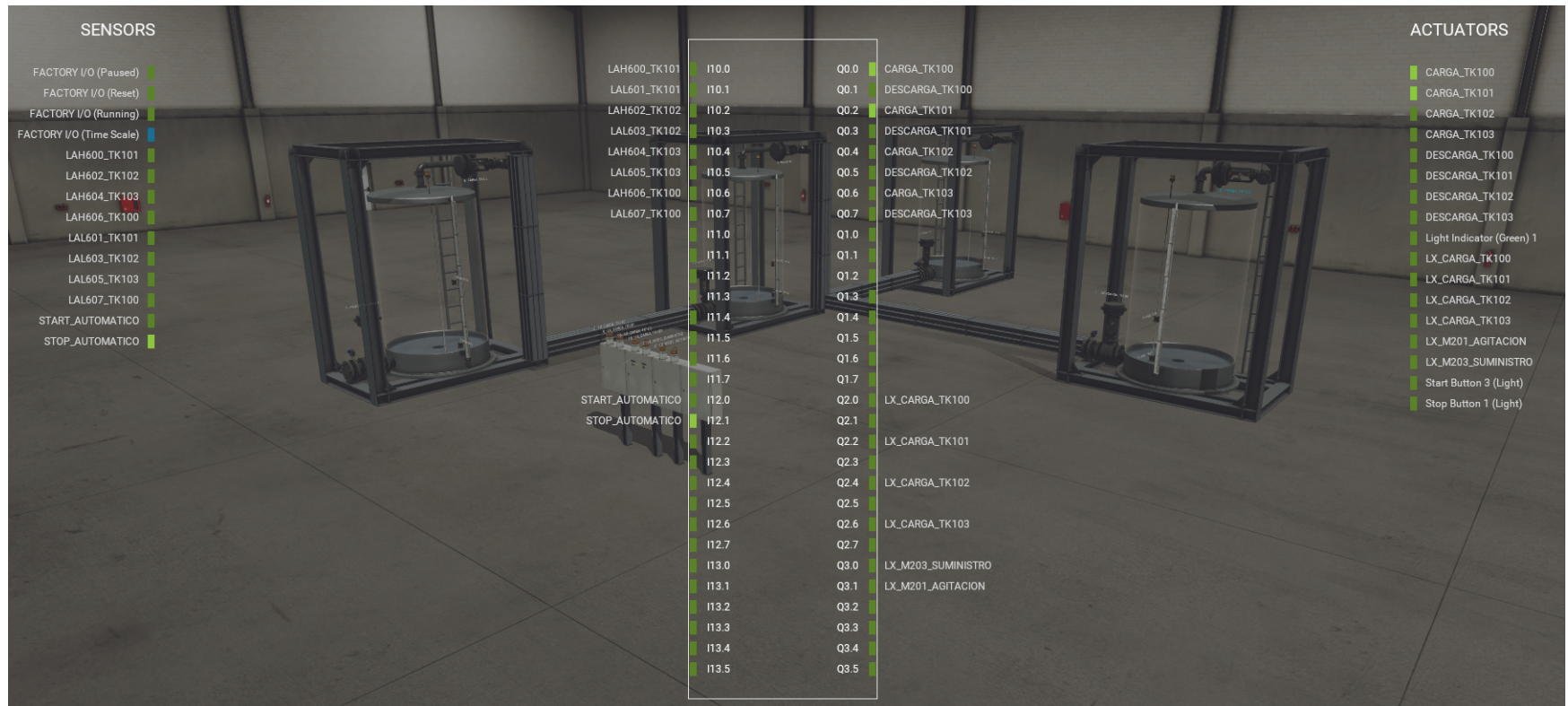


Nota: En la figura se muestra cuatro tanques interconectados, que representa las etapas necesarias para el sistema de dosificación de SA.

En la figura 40, se indica el numero de variables de entrada y salidas en el Factory IO, las mismas son un espejo de las variables de la programación del PLC S7-1200 desde el TIA Portal V16, el objetivo es que el simulador permita una aproximación a la realidad del sistema implementado.

Figura 40

Driver del software Factory como resultado de la simulación de la dosificación del SA.



Nota: Se indica los sensores y actuadores en el simulador.

7.4. Resultados del análisis de factibilidad de la implementación del sistema automático de monitoreo y dosificación líquida de sulfato de aluminio tipo A

7.4.1. Optimización de los recursos por la implementación del sistema automático de dosificación de SA

En la tabla 34, se refiere a los costos del sistema manual vs el sistema automático ya implementado, es decir, se mantendrá los 4 operarios pero se debería considerar reducir el costo de hora del operario debido que el sistema sera automático y no de manera manual; además de la optimización de la materia prima, donde existirá un ahorro total de \$ 13769,11.

Tabla 34

Optimización de los recursos por el sistema automático de dosificación de SA

TABLA OPTIMIZACIÓN DE RECURSOS POR SISTEMAS

SIN SISTEMA AUTOMOTIZACIÓN					
CANTIDAD	DETALLE	VALOR MENSUAL X OPERARIO	VALOR ANUAL X 4 OPERARIOS	VALOR TOTAL DE ESTADOS DE RESULTADOS 2022	
mano de obra					
4	Operario de planta	\$600,00	\$28.800,00	\$163.057,74	
4	IESS	\$168,13	\$8.070,03	\$45.690,28	
materia prima					
1	insumos químicos	\$2.771,70	\$33.260,38		
TOTAL SIN SISTEMA			\$70.130,41		
CON SISTEMA AUTOMOTIZACIÓN					
CANTIDAD	DETALLE	VALOR MENSUAL X OPERARIO	VALOR ANUAL X 4 OPERARIOS	VALOR TOTAL DE ESTADOS DE RESULTADOS PROYECTADO	
mano de obra					
4	Operarios	\$400,00	\$19.200,00	\$153.457,74	
4	IESS	\$112,08	\$5.380,02	\$43.000,27	
materia prima					
1	insumos químicos	\$2.648,44	\$31.781,28		
TOTAL CON SISTEMA			\$56.361,30		
AHORRO			\$13.769,11		

7.4.2. Factibilidad de la propuesta con el sistema automático de dosificación de SA

Con el análisis del TIR y VAN se determina si existe factibilidad del estudio de implementación de la presente tesis. La tasa del rendimiento referencial para proyectos de inversión tomo del 12%, es decir, para este análisis se basara con este valor para determinar si el proyecto es factible o no.

En la tabla 36 se puede observar que la TIR es un 12,43% que es superior a la tasa de rendimiento referencial y se compara con la TIR del sistema sin automatizar con un 1,97% de igual manera es inferior con el sistema automatizado. Y para el caso del VAN es conveniente el financiamiento porque aumentara en un \$ 6207,84 esto se significa que el valor del sistema automatizado aumentará durante su etapa de operación y por lo tanto es un proyecto factible.

Tabla 35

Índices de factibilidad sin sistema de automatización.

FACTIBILIDAD DE PROPUESTA SIN SISTEMA AUTOMATIZADO	
VA	363148,19
VAN	-131851,81
TIR	1,97%

Tabla 36

Índices de factibilidad con sistema de automatización.

FACTIBILIDAD DE PROPUESTA CON SISTEMA AUTOMATIZADO	
VA	524567,85
VAN	6207,84
TIR	12,43%

8. Conclusiones

En conclusión, tenemos que, el la PTAP Patamarca San Andrés, al estar en territorio ecuatoriano, es regida por la norma INEN 1108, la cual establece los parámetros físicos-químicos que debe de tener el agua para ser apta para el consumo humano, además en la planta se constato el uso de SA tipo A, por ende se establecieron las variables pertinentes para poder dosificar de manera correcta este químico.

El SA tipo A que es utilizado en la planta, se lo encuentra de forma granular, lo que conlleva a ser previamente disuelto en agua para ser dosificado, por ello se parte desde el diseño de un subsistema encargado de preparar una mezcla entre 40 lb de sulfato de aluminio con 600l de agua, entonces como resultado se diseño una serie de subsistemas y un proceso programado con la intención de llegar al objetivo, logrando llegar a la parte de dosificación con una mezcla basada en la "receta" de la planta, la misma que fue determinada con anterioridad por un ingeniero químico. Se determino el correcto funcionamiento del sistema diseñado mediante la simulación del sistema empleando el software Factory IO, con el cual se pudo constatar que las secuencias establecidas se cumplieran de acuerdo a lo establecido en el diseño, llevando un mejor control de cada etapa y probando el sistema, logrando obtener los primeros resultados de como seria nuestro sistema funcionando, corrigiendo además los errores que no se consideraron en la parte del diseño.

Al desarrollar el análisis de factibilidad con el sistema automatizado se determino que la TIR tiene un valor de 12,43% si se compara con la tasa referencial con proyectos de inversión el cual es 12%, se puede observar que es superior y el proyecto es factible. Para el casos del VAN nos permite ver si es factible económicamente para la empresa; para este caso se obtuvo un valor de \$ 6207,84; se observa que es superior y el proyecto generara beneficios a la empresa.

9. Recomendaciones

Actualmente la empresa cuenta con un solo químico encargado para la etapa de floculación, sería pertinente estudiar la posibilidad de hacer uso de otros solventes adicionales, tales como los polímeros, con la finalidad de tener agua tratada de mejor calidad y sin la presencia de otras micro-partículas, las cuales no pueden ser apartadas únicamente con el uso de SA tipo A.

Es necesario adaptar el sistema para que se pueda tener un sistema scada, con la intención de mantener un control constante y continua referente a todas la variaciones que se puedan dar en el transcurso de cada etapa del tratamiento de agua potable, así como una base de datos, buscando siempre mejorar la calidad de la misma, teniendo en cuenta que si se da toda la responsabilidad a un operario, el cual puede estar expuesto a factores que imposibiliten un adecuado control de todo el tratamiento, buscando evitar perdidas de tiempo y dinero,

además de las posibles afectaciones a la salud de los usuarios.

Se recomienda capacitar a los operarios, para que puedan familiarizarse completamente con el nuevo sistema propuesto, para que puedan estar prevenidos en el caso de que este presente fallas, para que puedan actuar de manera correcta frente a cualquier tipo de problema, y puedan detener el sistema en caso de que esto ocurra, también que sepan como poner el sistema para poder realizar mantenimiento, y estén preparados para todo tipo de posibles adaptaciones que consideren realizar al sistema cuando este este siendo empleado por algún periodo de tiempo.

Referencias

- Aguilar, M. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación*. Editum.
- Bolton, W. (2008). *Mechatronics*. Pearson Prentice Hall.
- Burkert, C. (2023). Electromotive 2 way globe control valve.
- Cengel, Y. A., y Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de calor y masa* (Vol. 53). McGraw-Hill Interamericana.
- Constitucional, T. (2008). Constitución de la república del ecuador. *Quito-Ecuador: Registro Oficial*, 449, 20–10.
- 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).
- Fúquene, D. M., y Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*(1).
- García, J. A. (2017, mar). Agua: la importancia de una ingesta adecuada en pediatría. *Acta Pediátrica de México*, 38(2), 116. doi: 10.18233/apm38no2pp116-1241363
- García, M., y Marca, M. (2016). *Evaluación de la eficiencia del proceso de potabilización de agua de la planta patamarca san andrés*.
- García Reino, A. E., y cols. (2014). *Aplicación de gis en la implementación del sistema de control geo referenciado para la red distribución del sistema de agua potable de patamarca patrono san andrés* (B.S. thesis). Quito: USFQ, 2014.
- García, J. (2014). *Contabilidad de costos*. MC GRAW HILL MEX.
- Goulds, P. (2021). *Bombas centrifugas de agua*. Descargado de https://www.gouldspumps.com/ittgp/medialibrary/goulds/website/Products/IC/Goulds_IC_pump_bulletin.pdf?ext=.pdf
- Hatch, C. (2009). *Dr/800 series colorimetersmulti-parameter analysis*. Descargado de <https://in.hach.com/product.detail-downloads.jsa?id=15500360761>
- Hidricos, L. O. d. R. (2015). Ley orgánica de recursos hídricos usos y aprovechamiento del agua. *ECUADOR: cep*.
- IEC, .-. (2023). *Langages de programmation*. Descargado de www.iec.ch
- Inc, F. T. (2007). *Electromagnetic transmitter mc308c installation, operation and maintenance*. Descargado de <https://flomotionsystems.com/pdf/manuals/308Manual-5-03.pdf>

- Inoxpa, N. (2023). *Agitador vertical nbi*. Descargado de www.inoxpa.com
- jaapsr, P. (2023). *Junta agua patamarca*. Descargado de <http://www.juntaaguapatamarca.org/main/index.php>
- Junta administradora de agua potable patamarca - planta de tratamiento san andrés - google maps*. (s.f.). Descargado de <https://www.google.com/maps/place/Junta+Administradora+de+Agua+potable+Patamarca+-+planta+de+tratamiento+San+And%3%A9s/@-2.8240267,-78.9965218,192m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91cd174f07dbbbe7:0x17743e9a99e2aad6!8m2!3d-2.8239091!4d-78.9963875>
- López Mendoza, H. I. (2018). *Dosificador de aditivos* (Inf. Téc.).
- Lorenzo, E. V., y Ocaña, M. B. (2010). Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 41(1), 49–56.
- McCabe, W., Smith, J., y Harriot, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química 7ma edición-warren l. *McCabe-FREELIBROS. ORG*.
- Ministerio, T. (2023). *Salarios mínimos sectoriales 2023*. Descargado de <https://www.trabajo.gob.ec/#>
- Moreno, L. F. T. (2008). *El acceso al agua potable como derecho humano*. Comisión Nacional de los Derechos Humanos.
- Norma, I. (2020). *Instituto ecuatoriana de normalización 1108*.
- Parkern, A. S. V. (2023). Parker angle seat valves.
- Quimicos, G. (2017). *Hoja de seguridad del sulfato de aluminio tipo a*. Descargado de www.quimicosgoicochea.com.
- Real, G. (2023). *Factory i/o*. Descargado de <https://factoryio.com/>
- Sánchez Chama, N., y cols. (2019). *Propuesta de mejora para la eficiencia del sedimentador del módulo ii de la planta potabilizadora de agua del municipio de xalapa, veracruz* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Región Xalapa.
- SEPÚLVEDA, S. G., y OBLIGATORIA, E. S. (s.f.). El agua, un recurso para la vida.
- Siemens, M. I. (2023). *6es7223-1bh30-0xb0 simatic*.
- Siemens, S. (2018a). *Machine-level visualization with simatic hmi efficient to a new level*.
- Siemens, S. (2018b). *Programmable controller system manual s7-1200*. Descargado de <http://support.industry.siemens.com>
- Siemens, S. (2021). *Sitrans f caudalímetros electromagnéticos sitrans fm mag 8000*.
- Tigre, M. (2017). *Ficha técnica de tuberías de agua fría*.

- Truper, E. (2023). Bomba centrífuga para agua, 1 hp, truper expert.
- turbiedad Krohne, S. (2023). *Sistema compacto para la medida de turbidez*. Descargado de www.krohne.com
- Turck, U. S. (2023). *Your global automation partner complete portfolio ultrasonic sensors ultrasonic sensors ultrasonic sensors*. Descargado de www.turck.en/ru
- Villanueva Barragan, L. M., y Quispe Chahuara, L. C. (2020). Polímeros naturales para sustituir floculantes químicos en el tratamiento de aguas para consumo humano. una revisión.

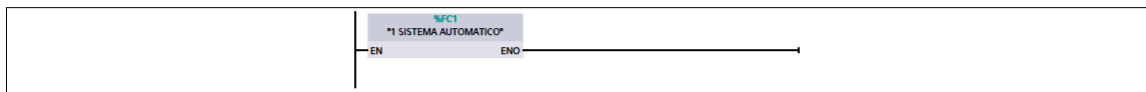
ANEXOS

Anexo A: Programa en TIA Portal V16 del sistema de monitoreo y dosificación del sulfato de aluminio tipo A.

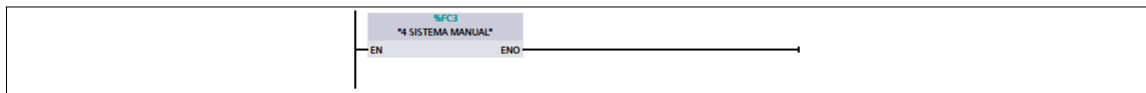
Figura 41

Bloques del main en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.

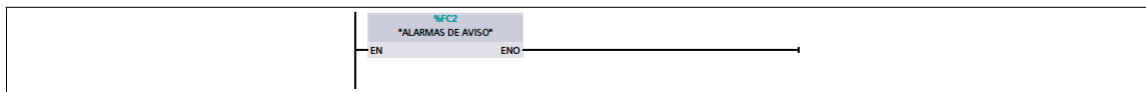
Segmento 1: Sistema automático



Segmento 2: Sistema manual



Segmento 3: Sistema de alarmas

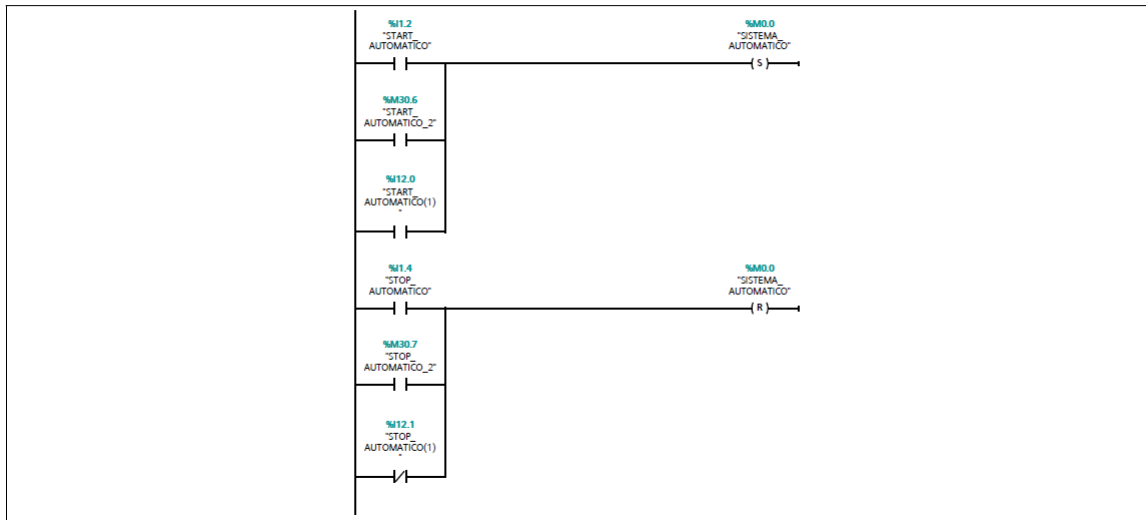


Nota: Bloques principales del Sistema de dosificación líquida de SA.

Figura 42

Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.

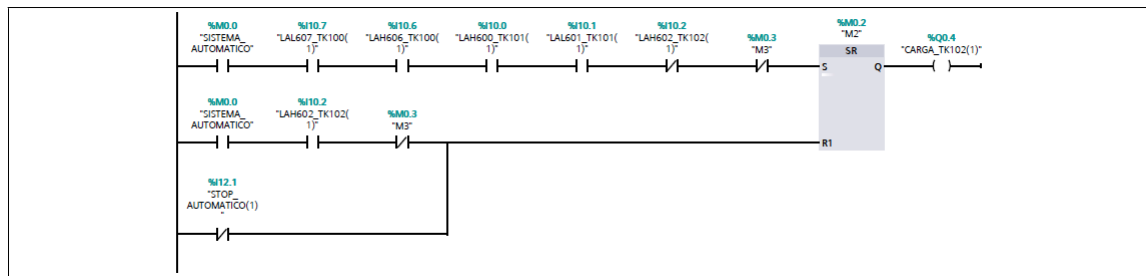
Segmento 1: Encendido del sistema automático



Nota: Arranque del sistema automático.

Figura 43

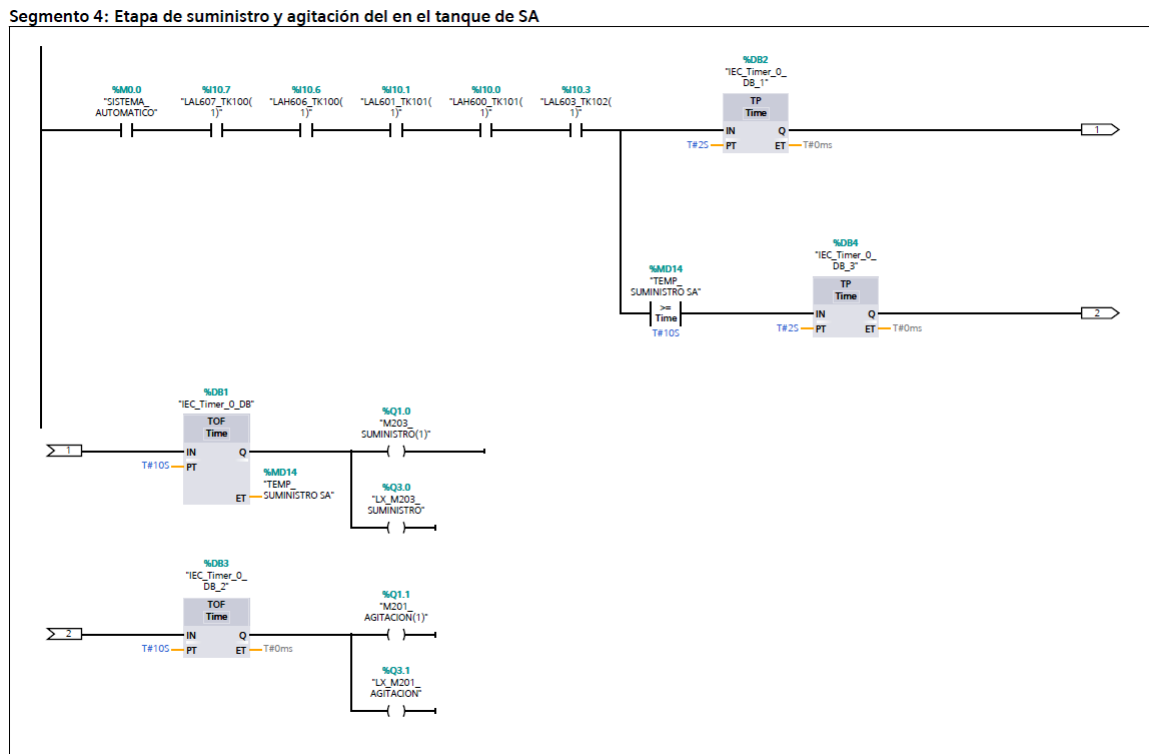
Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.



Nota: Etapa de llenado del tanque de agua y tanque de sulfato de aluminio.

Figura 44

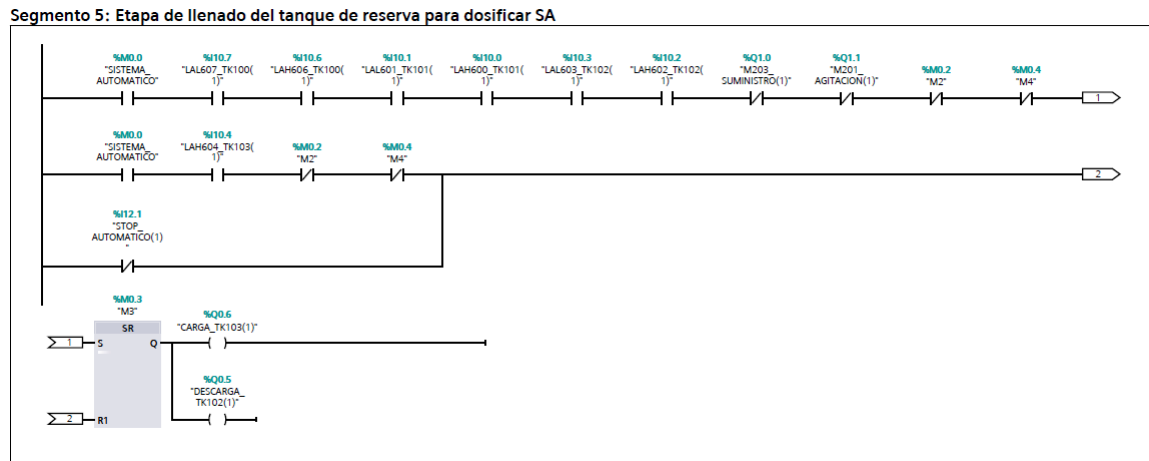
Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.



Nota: Etapa de suministro y agitación de la mezcla entre el agua y sulfato de aluminio.

Figura 45

Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.

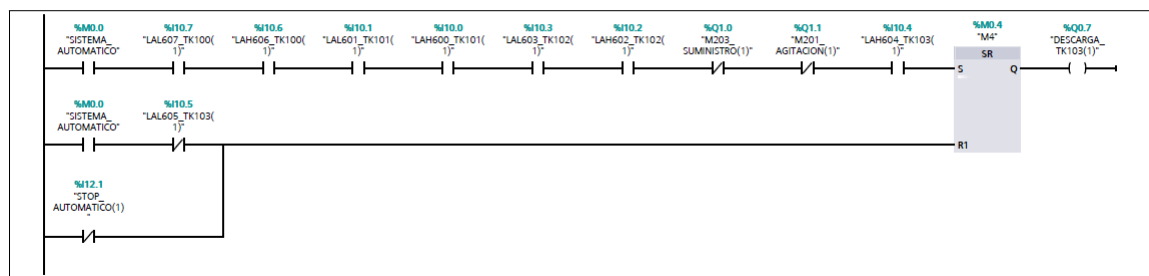


Nota: Etapa de llenado del tanque de reserva para el suministro de dosificación SA.

Figura 46

Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.

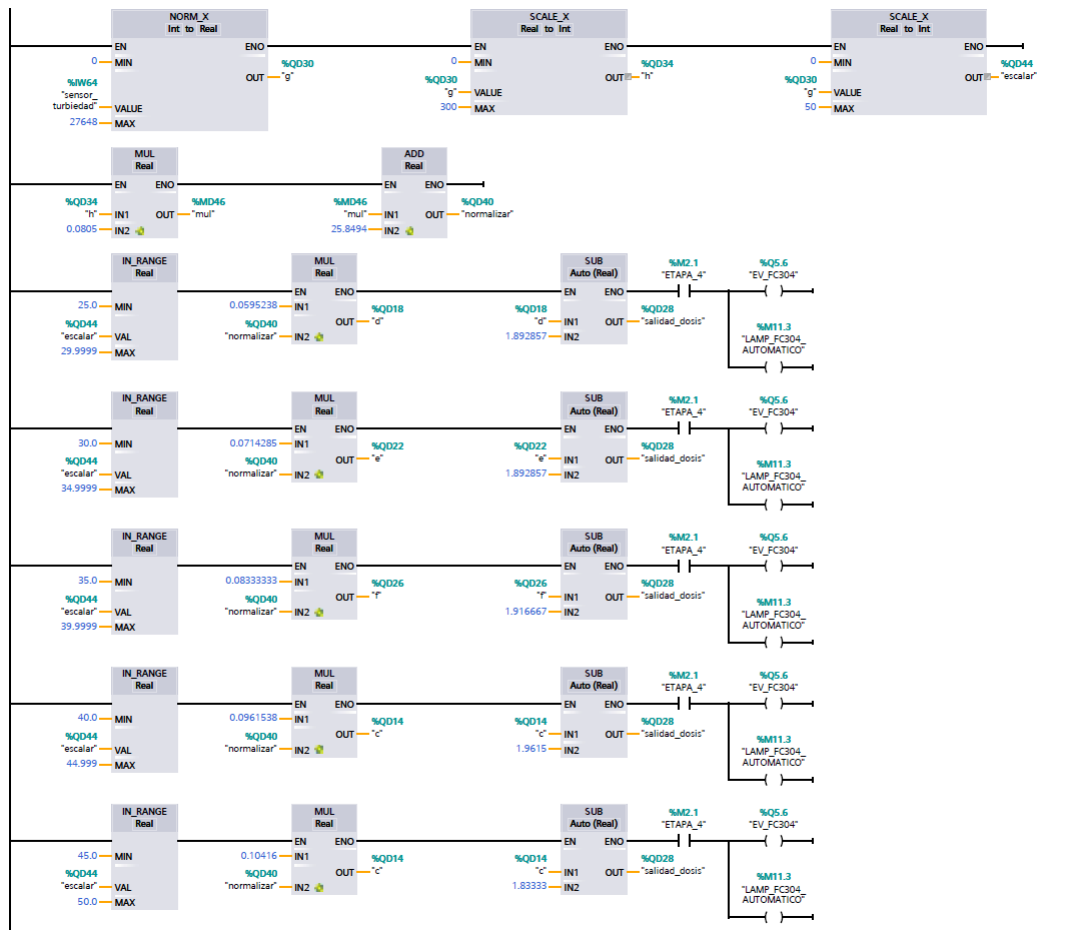
Segmento 6: Etapa de dosificación del SA



Nota: Etapa de dosificación del sulfato de aluminio hacia el canal de mezcla rápida.

Figura 47

Bloques del sistema automático en TIA Portal V16 del sistema de dosificación líquida automática del SA.

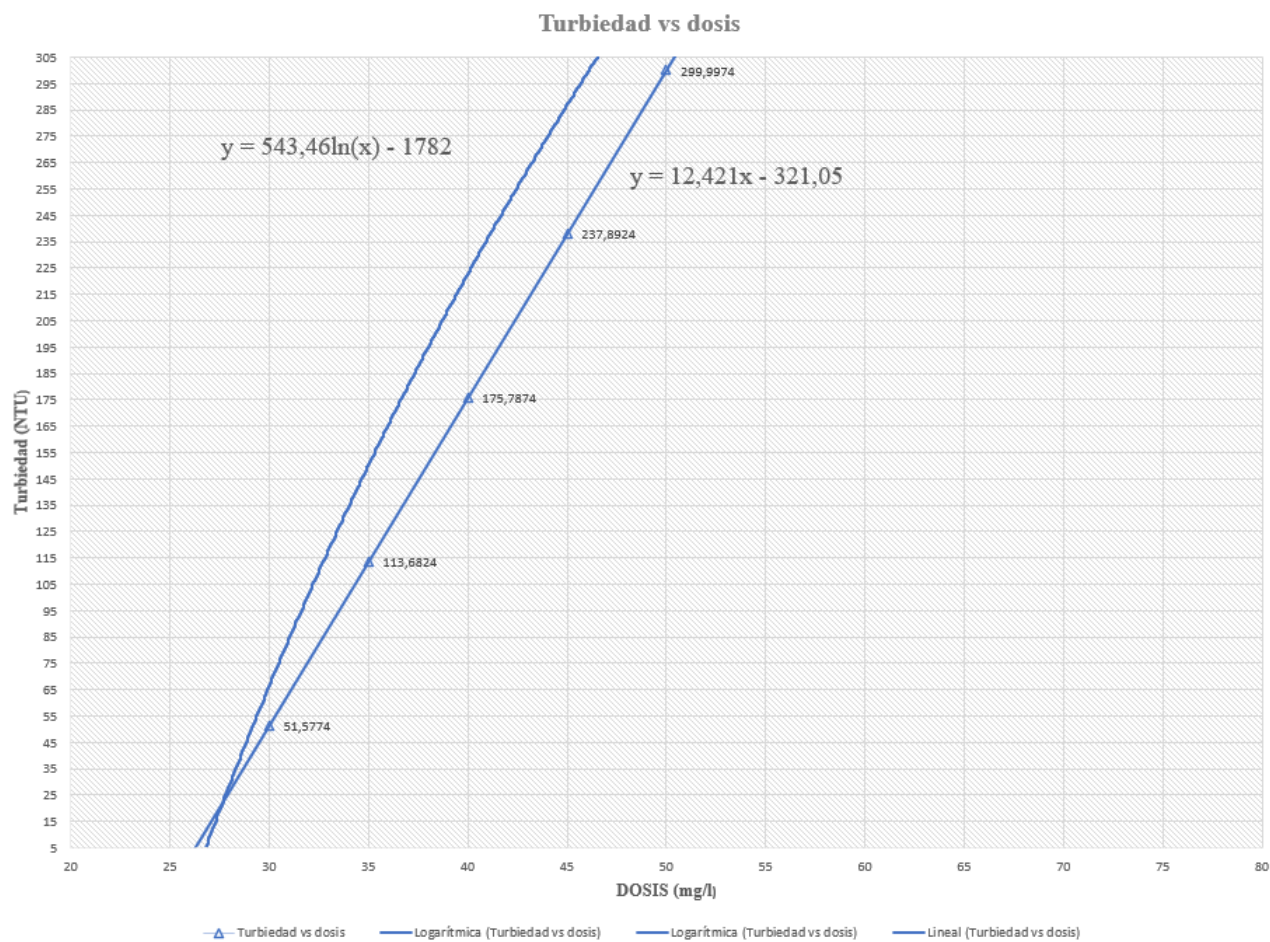


Nota: Etapa de dosificación del sulfato de aluminio hacia el canal de mezcla rápida.

Anexo B: Gráficas para dosificar el sulfato de aluminio tipo A

Figura 48

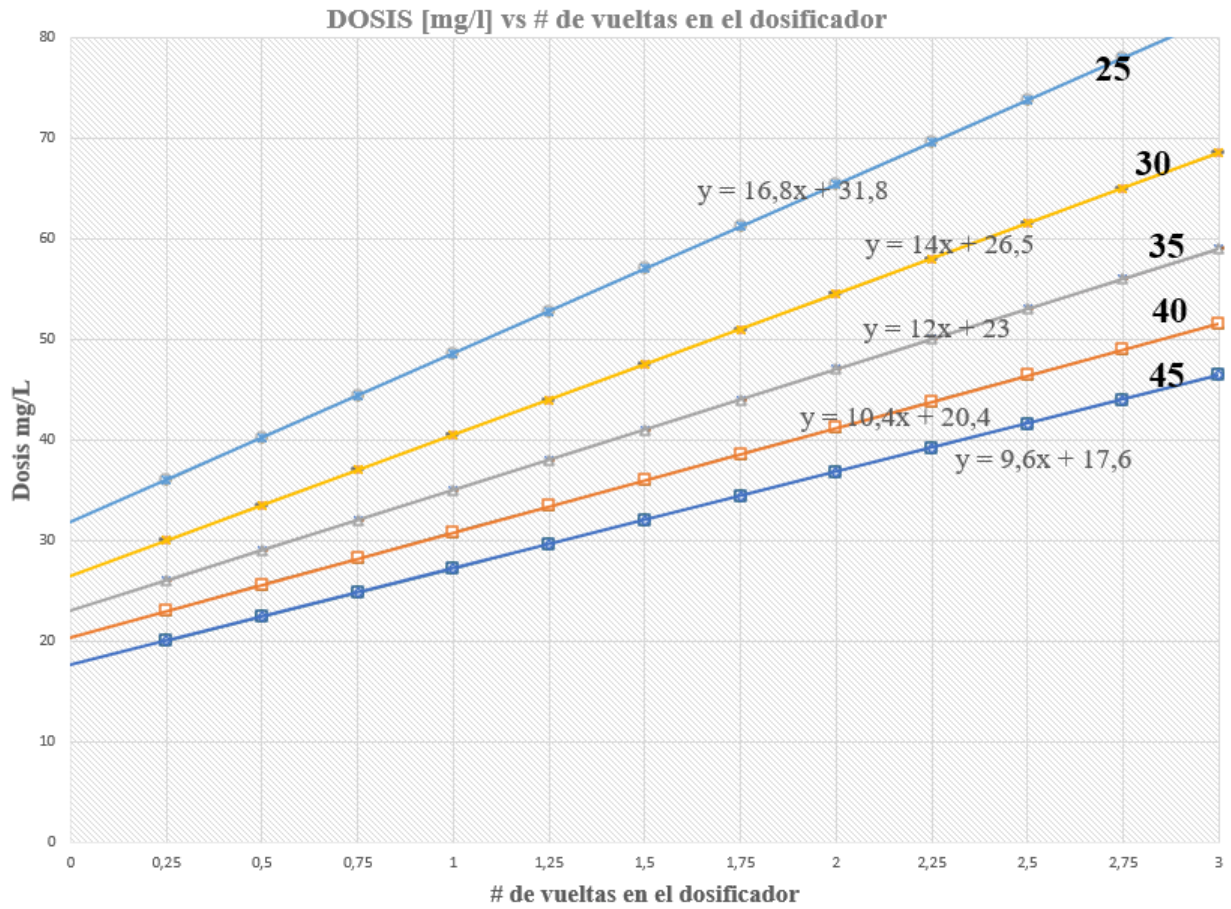
Gráfica para dosificar según la turbiedad vs la dosis.



Nota: Se presenta dos ecuaciones una logarítmica y lineal, cada una nos permite obtener la dosis en función de la turbiedad, la misma fue proporcionada por la PTAP San Andrés.

Figura 49

Gráfica para dosificar según la dosis vs el numero de vueltas en el dosificador.



Nota: Se presenta cinco ecuaciones lineales, cada una nos permite obtener el numero de vueltas en el dosificador vs la dosis en relación del caudal, la misma fue proporcionada por la PTAP San Andrés.