

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE MECATRÓNICA

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

PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA
DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE MAHUARCAY (EMAPAL-EP)”**

AUTOR:

MARTÍN SANTIAGO MAXI CADME

TUTOR:

ING. EDY LEONARDO AYALA CRUZ, Ph.D.

CO-TUTOR:

ING. ÁNGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME, MSc.

CUENCA – ECUADOR

2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Martín Santiago Maxi Cadme con documento de identificación N° 0302403266, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY (EMAPAL-EP)”**, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2022.

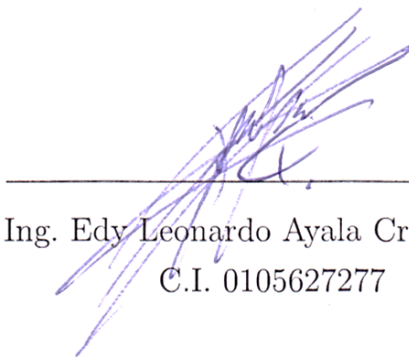
A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martín', with a horizontal line drawn through it. The signature is stylized and somewhat abstract.

Martín Santiago Maxi Cadme
C.I. 0302403266

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY (EMAPAL-EP)**”, realizado por Martín Santiago Maxi Cadme, obteniendo el *Proyecto Técnico* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, febrero del 2022.



Ing. Edy Leonardo Ayala Cruz, Ph.D.
C.I. 0105627277

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Martín Santiago Maxi Cadme con documento de identificación N° 0302403266, autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MAHUARCAY (EMAPAL-EP)”**, certifico que el total contenido del *Proyecto Técnico* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, febrero del 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martín', is written over a horizontal line. The signature is stylized with several loops and a long horizontal stroke at the end.

Martín Santiago Maxi Cadme
C.I. 0302403266

Dedicatoria

Martín Santiago

Este presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios por darme la vida y la sabiduría para superarme día con día, brindándome la fortaleza para seguir adelante a pesar de todos los obstáculos.

A mi familia, mi mamá Tránsito Cadme, mi papá Pablo Maxi y mi hermano que constantemente me han brindado su ayuda y me han sabido guiar en cada parte de mi vida y el proceso de aprendizaje.

Por último, a todas las personas que conozco familiares, amigos y docentes que han sido parte fundamental en esta etapa de mi vida.

Agradecimientos

Martín Santiago

Como parte principal no está demás agradecer a Dios por permitir completar mis metas.

Mis padres y mi hermano, quienes forman mi familia siempre estaré agradecido por creer en mi y siempre darme ánimos para seguir sin rendirme.

También agradezco a mis amigos que me ha dado la Universidad Kevin Andrés, Byron Israel, Luis Fernando, Marco Santiago, Luis Sánchez, Sebastián Fajardo, Juan Diego y algunos más quienes me han apoyado de forma constante y han sido personas constantes conmigo. Agradezco también a alguien especial para mí, Katherin por ser parte fundamental y darme fuerzas y ánimos para continuar.

Al Ing. Edy Ayala y al Ing. Eugenio Cárdenas ya que sin su ayuda y conocimientos no sería posible culminar de forma exitosa este trabajo. Los demás docentes que me han brindado conocimiento en todo el transcurso de mi formación profesional, les quedo eternamente agradecido.

Índice

Cesión de Derechos de Autor	I
Certificación	II
Declaratoria de Responsabilidad	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XIII
Abstract	XIV
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del Problema	3
2.3. Importancia y Alcances	3
2.4. Delimitación	4
2.4.1. Espacial	4
2.4.2. Temporal	4
2.4.3. Sectorial	4
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Hipótesis	6
4.1. Hipótesis General	6
4.2. Hipótesis Específicas	6
5. Matriz de Consistencia Lógica	7

6. Operacionalización de Variables	8
7. Marco Teórico	11
7.1. El Agua como Recurso	11
7.2. Tipos de Aguas	12
7.3. Contaminantes del Agua	12
7.4. Potabilización del Agua	13
7.5. Proceso de Potabilización del Agua	14
7.6. Elementos que Intervienen en la Potabilización del Agua	15
7.6.1. Caudal	15
7.6.2. Turbiedad	16
7.6.3. Potencial de Hidrógeno	16
7.6.4. Químicos	16
7.7. Sistema de Control	18
7.8. Diseño Mecatrónico	20
7.8.1. Diseño de Control del Sistema Mecatrónico	20
8. Marco Metodológico	21
8.1. Diseño Estructural de la Planta de Tratamiento de Mahuar cay	22
8.2. Parámetros de Diseño y Variables Controlables para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuar cay (EMAPAL-EP)	23
8.2.1. Diagrama General del Proceso de Tratamiento de Agua	23
8.2.2. Sulfato de Aluminio	25
8.2.3. Caudal	26
8.2.4. Turbiedad	26
8.2.5. Variables por Considerar en la Dosificación del Sulfato de Aluminio	26
8.3. Sistema de Adquisición de Datos de Caudal y Turbiedad para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuar cay (EMAPAL-EP)	27
8.3.1. Sensor de Nivel	28
8.3.2. Sensor de Caudal	29
8.3.3. Sensor de Turbiedad	30
8.3.4. Electroválvulas	30
8.3.5. Regulador de posición (Tipo 8792)	37
8.4. Propuesta de un Diseño de Control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuar cay (EMAPAL-EP)	38

8.4.1.	Formulación para la Apertura de la Electroválvula y Función de Trans-	39
8.4.2.	Diseño del Control del Proceso en Labview	50
8.5.	Simulación del Sistema de Control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)	56
9.	Resultados	58
9.1.	Parámetros establecidos para el diseño y variables controlables para la dosifica- ción de Sulfato de Aluminio	58
9.2.	Planteamiento del sistema de adquisición de datos de Caudal y Turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio	58
9.3.	Diseño del sistema de control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio . .	59
9.4.	Resultados de la simulación del sistema de control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio	61
9.4.1.	Relación del PID del sistema en Labview y Matlab	66
10.	Conclusiones	70
11.	Recomendaciones	71
	Referencias	74
	ANEXOS	75
	Anexo 1: Gráfica de Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio-Turbiedad	76
	Anexo 2: Tabla de Dosis de Sulfato de Aluminio-Caudal-Número de vueltas de Dosifica- dor Tubular	77
	Anexo 3: Especificaciones Técnicas del Sensor de Nivel	78
	Anexo 4: Especificaciones Técnicas del Sensor de Caudal	81
	Anexo 5: Especificaciones Técnicas del Sensor de Turbiedad	84
	Anexo 6: Especificaciones Técnicas de Válvula de Asiento de 3/2 vías con Accionamiento Neumático CLASSIC tipo 2006	86
	Anexo 7: Especificaciones Técnicas de electroválvula 2/2 vías GEMÜ 205	89

Anexo 8: Especificaciones Técnicas de electroválvula 2/2 vías GEMÜ 8258	92
Anexo 9: Especificaciones Técnicas de válvula de asiento inclinado 2/2 vías con Accionamiento Neumático CASSIC	95
Anexo 10: Especificaciones Técnicas de válvula de proceso Neumática FESTO VZPR-BPD-22-R2	98
Anexo 11: Especificaciones Técnicas de válvula solenoide de 2 vías AirTac-2KL50050BIG 100	
Anexo 12: Especificaciones Técnicas del Regulador de Posición SideControl Tipo 8792103	
Anexo 13: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 2 % de Sulfato de Aluminio	107
Anexo 13: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 3 % de Sulfato de Aluminio	108
Anexo 15: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 4 % de Sulfato de Aluminio	109

Lista de Tablas

1.	Matriz de consistencia.	7
2.	VARIABLES INDEPENDIENTES.	8
3.	Variable Dependiente.	10
4.	Características generales y físicas del sulfato de aluminio	18
5.	Lista de Acrónimos utilizadas en el Diagrama de Proceso	25
6.	Características del sensor de nivel T FMU130	29
7.	Características del sensor de caudal Proline Program 50P, 53P	29
8.	Características del sensor de turbiedad Liquisys M CUM223/253	30
9.	Características de la válvula de asiento de 3/2 vías	32
10.	Características de la Electroválvula de 2/2 vías Gemü 205	33
11.	Características de la Electroválvula de 2/2 vías Gemü 8258	34
12.	Especificaciones de la válvula de asiento inclinado de 2/2 vías de acero inoxidable	35
13.	Especificaciones de la válvula VZPR-BPD-22-R2	36
14.	Especificaciones de la válvula Airtac 2KL500-50	37
15.	Características del Posicionador SideControl Tipo 8792	38
16.	Parámetros obtenidos mediante el PID controller par la Dosis al 2%	41
17.	Parámetros obtenidos mediante el PID controller para la Dosis al 3%	45
18.	Parámetros obtenidos mediante el PID controller para la Dosis al 4%	48
19.	Detalle de elementos del Diagrama de Instrumentación	60
20.	Tabla comparativa de Dosis y Número de vueltas de acuerdo al porcentaje de Solución Madre	61
21.	Cálculo del error de Dosis Y Apertura de Válvula	65
22.	Valores obtenidos de la simulación del control PID	66

Lista de Figuras

1.	Distribución del agua	11
2.	Ciclo del Agua	13
3.	Proceso de Potabilización de Agua	15
4.	Sulfato de Aluminio	17
5.	Variables del Sistema de Control	19
6.	Diagrama de un controlador en lazo cerrado	20
7.	Los elementos básicos del sistema mecatrónico	20
8.	Diagrama de Sistema de Control	21
9.	Diagrama de Proceso de Tratamiento de Agua en la Planta de Tratamiento de Mahuarca	24
10.	Arquitectura del Sistema de Adquisición de Datos	27
11.	Ultrasonic Level Measurement Prosonic T FMU130	28
12.	Proline Promag 50P, 53P	29
13.	Liquisys M CUM223/253	30
14.	Bucle de control de realimentación	31
15.	Válvula de asiento de 3/2 vías con accionamiento neumático CLASSIC tipo 2006	32
16.	Electroválvula Gemü 205	33
17.	Electroválvula Gemü 8258	34
18.	Válvula asiento inclinado de 2/2 vías	35
19.	Válvula VZPR-BPD-22-R2	36
20.	Válvula Airtac 2KL500-50	37
21.	Regulador de posición electroneumático digital: Posicionador SideControl	38
22.	Respuesta al escalón del sistema al 2% sin controlar en lazo cerrado	40
23.	Diseño de lazo de control en Simulink al 2% de solución madre	41
24.	Respuesta al escalón del sistema al 2% controlado en lazo cerrado	42
25.	Comparación de los sistemas 2% sin controlar y controlado respecto a una entrada escalón.	42
26.	Respuesta al escalón del sistema sin controlar al 3% de dosis en lazo cerrado	44
27.	Diseño de lazo de control en Simulink al 3% de solución madre	44
28.	Respuesta al escalón del sistema al 3% controlado en lazo cerrado	45
29.	Comparación de los sistemas al 3% sin controlar y controlado respecto a una entrada escalón.	46
30.	Respuesta al escalón del sistema sin controlar al 4% de dosis en lazo cerrado	47

31.	Diseño de lazo de control en Simulink al 4% de solución madre	48
32.	Respuesta al escalón del sistema al 4% controlado en lazo cerrado	49
33.	Comparación de los sistemas al 4% sin controlar y controladores respecto a una entrada escalón.	50
34.	Programación del Sistema de Control al 2%	51
35.	Programación del Sistema de Estabilización al 2%	51
36.	Programación del Sistema de Control al 3%	52
37.	Programación del Sistema de Estabilización al 3%	53
38.	Programación del Sistema de Control al 4%	54
39.	Programación del Sistema de Estabilización al 4%	54
40.	Programación para apertura de Válvula 1 y su Sistema de Alarma	55
41.	Programación para apertura de Válvula 2 y Sistema de Alarma	56
42.	Visualización del Panel de Control	57
43.	Diagrama de Instrumentación del Sistema Planteado	59
44.	Simulación del control al 2% y apertura de Tanque 1	62
45.	Simulación del control al 3% y apertura de Tanque 1	63
46.	Simulación del control al 4% y apertura de Tanque 2	64
47.	Simulación del PID al 2% en LabView	67
48.	Simulación del PID al 2% en Simulink	67
49.	Simulación del PID al 3% en LabView	68
50.	Simulación del PID al 3% en Simulink	68
51.	Simulación del PID al 4% en LabView	69
52.	Simulación del PID al 4% en Simulink	69

Resumen

Este proyecto de tesis plantea diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la "Planta de Tratamiento de Mahuarca (EMAPAL-EP).^{en} la ciudad de Azogues, con la finalidad de plasmar las bases para una automatización de este proceso que actualmente se realiza de forma manual con una duración de 7 a 10 minutos para contrarrestar las perturbaciones existentes en el sistema.

El proceso manual llevado a cabo en la empresa sirvió de base para lograr identificar los parámetros y así plantear el diseño del sistema de control. Respecto a la adquisición de datos se consideró los equipos con los que se cuenta en la planta, puesto que son funcionales, pero no están en conexión a un controlador.

El diseño planteado aborda los valores de Caudal y Turbiedad, los que sirven para la formulación del sistema de apertura de la válvula de control que servirá como Dosificador de la solución. Incluyendo un sistema de apertura de válvulas que permiten el paso del coagulante de los tanques con los que se trabaja en la empresa.

El objetivo de este trabajo es lograr un mejoramiento para la reducción del tiempo de respuesta ante las variaciones de los valores de entrada, en base a un diseño de control, que permita observar la reducción del error en la apertura del dosificador que actualmente lo realizan de manera empírica. De esta manera, se establecerán los principios en los que se podrán guiar al efectuar un cambio del proceso manual a un proceso más industrializado.

Palabras clave: Adquisición de Datos, Agua Potable, Caudal, Dosificación, Planta de Tratamiento, Sistema Mecatrónico, Sulfato de Aluminio, Turbiedad.

Abstract

This thesis project proposes to design a mechatronic system for the dosage of Aluminum Sulfate in the "Planta de Tratamiento de Mahuarca (EMAPAL-EP)" in Azogues city, in order to lay the foundations for an automation of this process that is currently carried out manually with a duration of 7 to 10 minutes to counteract existing disturbances in the system.

The manual process carried out in the company served as the basis to identify the parameters and thus propose the design of the control system. Regarding the data acquisition, the equipment that is available in the plant was considered, since they are functional, but they are not connected to a controller.

The proposed design addresses the input values of Flow and Turbidity, which are used for the formulation of the opening system of the control valve that serves as a Dispenser for the solution. Including a valve opening system that allows the passage of the coagulant from the tanks with which the company works.

The objective of this work is to achieve an improvement for the reduction of the response time before the variations of the input values, based on a control design, which allows observing the reduction of the error in the opening of the dispenser that is currently carried out by empirical way. In this way, the principles in which they can be guided when making a change from the manual process to a more industrialized process will be established.

Keywords: Data Acquisition, Potable Water, Flow, Dosage, Treatment Plant, Mechatronic System, Aluminum Sulfate, Turbidity.

1. Introducción

El agua, recurso vital diario de las personas, no es completamente apropiada para el consumo humano, por lo cual se deben retener las impurezas para poder hacerla apta. Para la potabilización del agua es necesario seguir una serie de procesos, regidos por normativas, que comprenden en la transformación del agua cruda en agua potable. Estos procesos, cumplen con normas de calidad, dispuestas para el tratamiento del agua, basadas en estudios toxicológicos y epidemiológicos. (Gutierrez Ortega, 2010)

Las Plantas de Tratamiento en el país funcionan bajo las Normas INEN en la que se esclarecen los procedimientos a seguir para la purificación y posterior distribución del agua hacia la población. Dentro de los procesos se encuentra el tratamiento químico, para el cual se debe considerar los químicos que no sean causantes de precursores adversos a la salud. Estos pueden ser: Sulfato de cobre, carbón activado en polvo, permanganato de potasio o cloro. Aunque es necesario conocer el grado de color del agua para poder tratarla con coagulantes que ayuden a remover fácilmente el color, estos pueden ser Sulfato de Aluminio y Cloruro Férrico, los mismos que son apropiados para aguas con color menor de 20UC. (INEN, 2014)

La Planta de Tratamiento de Mahuarca, encargada de proveer agua potable a la población de ciudad de Azogues, con 16 años de funcionamiento, cuenta con operación a gravedad con los procesos de aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Estos son realizados de manera manual por los operarios de la planta, los cuales deben garantizar la calidad de agua distribuida a la ciudadanía.

Uno de los procedimientos más importantes para la potabilización del agua es la dosificación de los químicos, debido a que de esto depende la correcta producción del agua en la planta y el correcto funcionamiento de los procesos posteriores a la coagulación. Por lo que se plantea la pregunta central del trabajo ¿Es posible diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio?. Para lo cual se debe determinar los parámetros del diseño y las variables controlables que ayudarán a plantear el sistema de adquisición de datos para el caudal y turbiedad para la dosificación del Sulfato de Aluminio empleado en por la Planta de Tratamiento de Mahuarca.

Respecto al desarrollo del trabajo se establecen diversos puntos, mismos que constan dentro del Marco Teórico, donde se da a conocer las definiciones de las variables que son indispensables para el control de la dosis que debe ser empleada por el dosificador, continuamente se empleará un sistema de adquisición de datos para el control del paso del dosificador, tomando en consideración las variables planteadas y los elementos con los que cuenta la planta para este proceso, esto ayudará a establecer la reducción de los tiempos de respuesta ante diferentes

eventualidades que pueden generarse ante cambios de turbiedad o caudal en la entrada del agua cruda. Posteriormente se propondrá un diseño para el control de la dosificación el cual ayudará en un futuro a la automatización del proceso de dosificación de Sulfato de Aluminio en la planta de tratamiento. Por ultimo, para la evaluación del sistema se simulará el sistema de control para verificar la eficiencia de la automatización que podría realizarse en la planta y así lograr una considerable reducción en los tiempos de respuesta existentes actualmente debido al funcionamiento manual que se lleva a cabo dentro de la misma.

2. Problema

En esta sección se detallan los Antecedentes, Descripción del Problema, su Importancia y Alcances, la Delimitación, a más del Problema General y Específicos.

2.1. Antecedentes

La potabilización del agua es indispensable para la población debido al consumo diario. En el Ecuador, al menos el 30% de los habitantes no cuentan con servicios de agua fiables (Pozo, Serrano, Castillo, y Moreno, 2017). En la ciudad de Azogues, la empresa líder para estos procesos es la Empresa de Agua Potable, Alcantarrillado y Saneamiento Ambiental EMAPAL-EP, la cual cuenta con las plantas de Tratamiento de Mahuarca, Uchupucún y Zhindilig. Estas plantas cuentan con los procesos establecidos por las normas INEN para Plantas Potabilizadoras de Agua. La ejecución de los procedimientos para convertir el agua cruda en agua potable se realiza de manera manual en cada una de las plantas, lo cual conlleva que en alguna ocasión el proceso pueda verse perjudicado ante diferentes eventualidades debido a la falta de respuesta inmediata generando que la calidad del agua no sea la adecuada.

Dentro de los procesos importantes se encuentra la dosificación de químicos, como son el Sulfato de Aluminio y el Policloruro de Aluminio, para el proyecto se plantea el diseño de un sistema mecatrónico para la ejecución del proceso específicamente para la dosificación del Sulfato de Aluminio. Espinoza Ortega y Abril Abril (2020) en su trabajo cuentan con bases para la investigación respecto a la automatización dentro de una planta de tratamiento de agua potable, siendo de gran ayuda para futuras implementaciones en diversas plantas del mismo proceso.

El proceso para el tratamiento del agua consta de procesos específicos que se realizan continuamente, y que debe ser controlado cada cierto tiempo dependiendo de los cambios en la turbiedad y el caudal en la entrada del agua cruda. Es por ello que se especifican las

diferentes etapas para la obtención del agua purificada: a) Entrada de agua cruda, b) Aireación, c) Unidad de Mezcla Rápida, d) Coagulación, e) Floculación, f) Sedimentación, g) Filtración, h) Desinfección, i) Almacenamiento y j) Distribución. Unos de los procesos más importantes y de los cuales dependen la gran mayoría de los procesos posteriores se encuentra en la Unidad de Mezcla Rápida, en el mismo se procede a emplear la dosis óptima hacia el agua para evitar incidentes que perjudiquen la calidad del producto.

Es necesario indicar que para el proceso de dosificación de toma en cuenta el caudal y la turbiedad en la entrada del agua cruda, para enviar la dosis adecuada, cuya dosificación se ve planteada mediante tablas establecidas por el laboratorio de la planta, que sirven para la regulación del dosificador tubular existente, mismo que actualmente se regula de manera manual de acuerdo al número de vueltas, permitiendo el paso hacia una flauta que se encuentra sobre el caudal de ingreso.

2.2. Descripción del Problema

La Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental de Azogues (EMAPAL-EP) cuenta con tres Plantas de Tratamiento para la distribución de Agua Potabilizada a la ciudadanía del Cantón Azogues, el cual cuenta con el proceso manual de Dosificación de Sulfato de Aluminio (mediante la apertura de una tubería de acuerdo a determinado número de vueltas). El proceso de potabilización de agua puede verse afectado de gran manera cuando hay presencia de lluvias o derrumbes provocando picos en el caudal y la turbiedad, lo que conlleva a que si no existe una correcta dosificación de químicos sea imposible corregir en etapas posteriores perjudicando la calidad del agua. Por lo tanto, se requiere el diseño de un sistema de control que garantice la dosis adecuada considerando los valores medidos (caudal y turbiedad), para garantizar que el agua mantenga un nivel de purificación adecuado al momento de su almacenamiento y posterior distribución.

2.3. Importancia y Alcances

El presente proyecto de titulación tiene importancia en los tiempos de respuesta, concretamente en la etapa de dosificación. Se conoce que para este proceso, el tiempo que conlleva a que el personal verifique las variables para establecer la dosis óptima sea en minutos, debido a que deben verificar el valor del caudal y turbiedad en la entrada y luego desplazarse hasta cuarto de dosificadores de químicos y en ese momento concretar si se debe o no modificar la dosis que se envía hasta la unidad de mezcla rápida. Por este tiempo de respuesta, se pueden

ver afectados los demás procesos provocando que el agua no sea adecuada.

Bajo lo indicado anteriormente, este trabajo pretende establecer las bases para la automatización de este proceso que mejoraría el tiempo de respuesta y garantizando la calidad del producto final. La propuesta se enfocará en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial

El proyecto de titulación, con su enfoque de investigación cuantitativo, se destinará a empresas de agua potable y alcantarillado. La necesidad de automatizar el área de dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay evidenció el mejoramiento en tiempos de respuesta y control de calidad para el proceso de purificación del agua que es distribuida a la población de la ciudad de Azogues.

2.4.2. Temporal

El presente trabajo se llevó a cabo entre los meses de Septiembre de 2021 hasta Febrero de 2022, dividiendo así las actividades en dos segmentos principales: recopilación de datos para la dosificación de Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y su respectivo diseño de control.

2.4.3. Sectorial

Según la Norma INEN 1108-2014, este proyecto está dirigido a la sección de Recursos Hídricos, clase: Agua Potable, para cumplir esta normativa mediante el cumplimiento del Control de Calidad.

2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá determinar los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?
- ¿Es factible plantear un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?
- ¿Es posible proponer un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?
- ¿Es factible simular el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?

3. Objetivos

En esta sección se exponen los Objetivos General y Específicos.

3.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)
- Plantear un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)
- Proponer un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)
- Simular el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

4. Hipótesis

En esta sección se exponen los las Hipótesis General y Específicas.

4.1. Hipótesis General

- Se diseñará un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

4.2. Hipótesis Específicas

- Se determinará los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).
- Se planteará un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).
- Se propondrá un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).
- Se simulará el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).

5. Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 1: Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?	Diseñar un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	Se diseñará un sistema mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	-VI: Diseño. -VD: Dosificación de Sulfato de Aluminio.	Diseño Mecatrónico Sulfato de Aluminio y Dosificación
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá determinar los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?	Determinar los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	Se determinará los parámetros de diseño y las variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	-VI: Diseño. -VD: Dosificación de Sulfato de Aluminio.	Parámetros del diseño: Caudal y turbiedad
¿Es factible plantear un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?	Plantear un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	Se planteará un sistema de adquisición de datos de caudal y turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	-VI: Diseño. -VD: Dosificación de Sulfato de Aluminio.	Sistema de adquisición de datos
¿Es posible proponer un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?	Proponer un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	Se propondrá un diseño de control para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	-VI: Diseño. -VD: Dosificación de Sulfato de Aluminio.	Diseño de control del sistema mecatrónico
¿Es factible simular el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)?	Simular el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	Se simulará el sistema de control para la validación del diseño planteado para la dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP).	-VI: Diseño. -VD: Dosificación de Sulfato de Aluminio.	Simulación del control del sistema mecatrónico

Fuente: Autores.

6. Operacionalización de Variables

En la Tabla 2 se pueden observar las variables independientes del Diseño Mecatrónico para la dosificación de Sulfato de Aluminio., mientras que en la Tabla 3 se puede observar la variable dependiente.

Tabla 2: Variables Independientes.

VARIABLE INDEPENDIENTE: DISEÑO						
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente	Métrica	
Mecánico	Espacio de Trabajo	Definición conceptual: El espacio de trabajo se define como un ambiente controlado, con la finalidad de realizar una actividad o varias operaciones. (Prieto, 2012).	Largo	Metros	Flexómetro	30m
		Definición operacional: Zona en donde se realizará una actividad definida.	Ancho	Ancho		21.2m
Control	Caudal	Definición conceptual: Se refiere a la idea del volumen y calidad del agua que se debe mantener. (Aguilera y Pouilly, 2012).	Caudal	litros/ segundos	Caudalímetro	100-110 l/s
		Definición operacional: Hace referencia a el volumen de agua que pasa por una cierta superficie en un determinado tiempo.				

Fuente: Autores.

	<p>Definición conceptual: Se define como la propiedad óptica de una muestra para disipar y absorber la luz en vez de transmitirla en línea recta. (Moreno Pérez, 2016).</p>				
Turbiedad	<p>Definición operacional: Es una medida del grado en el cuál el agua pierde su nivel de transparencia debido a la presencia de varias partículas en suspensión.</p>	Turbiedad	NTU	Turbidímetro	25-50 NTUs
Control	<p>Definición conceptual: El pH (Potencial de Hidrógeno) es una propiedad química que mide el grado de acidez o alcalinidad de las soluciones acuosas. (Osorio, 2012).</p>	pH	—	Sensor de pH	7
	<p>Definición operacional: Indica el grado de acidez o alcalinidad de una solución acuosa.</p>				
Tiempo de Muestreo	<p>Definición conceptual: La tasa o frecuencia de muestreo hace referencia al número de muestras tomadas en un tiempo definido. (Becerra Terán y Loyola Cisneros, 2020).</p>	Tiempo	Minutos	Reloj	15-30 mins
	<p>Definición operacional: Intervalo de tiempo en el cuál se toma una muestra.</p>				

Fuente: Autores.

Tabla 3: Variable Dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE: DOSIFICACIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO					
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente	Métrica
Dosificación	Definición conceptual: Conjunto de unidades que permiten la aplicación de sustancias líquidas mediante dosificadores o dispositivos capaces de liberar cantidades prefijadas a través de controles dentro de los límites que caracterizan su capacidad , en una unidad de tiempo. (Rodríguez Chang, 2011). Definición operacional: Gra- duar la cantidad de químico a ser añadido al agua.	Cantidad	miligramos/ litro	Dosificador	5-100 mg/l

Fuente: Autores.

7. Marco Teórico

Dentro del marco teórico se expondrán los conceptos del agua como recurso; los tipos de agua existentes en la naturaleza y los contaminantes que se pueden presentar; del mismo modo, se dará a conocer la definición de la Potabilización del Agua con su respectivo proceso. Además, se realizará una síntesis acerca del Sistema de Control y Diseño Mecatrónico.

7.1. El Agua como Recurso

Cuando se habla del agua, este recurso cubre el 70% de la superficie del planeta siendo encontrada en océanos, lagos, ríos incluso en el aire y en el suelo. Siendo así el sustento de la vida tanto para las personas como plantas y animales. Tomando en cuenta el porcentaje total del agua existente, los océanos cubren un 97,5% siendo únicamente un 2,5% agua dulce. Misma que se distribuye entre los glaciares, nieve, hielo, agua subterránea y agua superficial (Cirelli, 2012). Esta distribución se aprecia en la Figura 1.

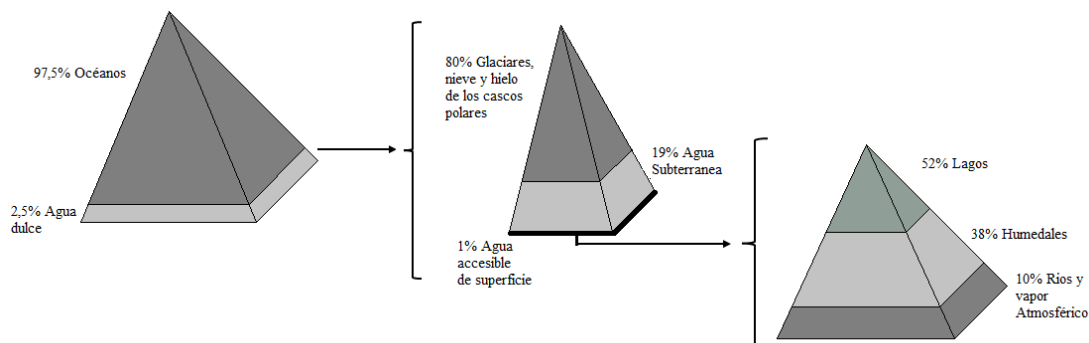


Figura 1: Distribución del agua

Fuente: (Cirelli, 2012)

El agua existente en los diversos países y regiones forma parte del conocido ciclo natural del agua, contando con las diversas etapas a las que se somete, como la precipitación, siendo el punto de partida y que a continuación, puede evaporarse, viajando por la superficie en forma de gas o también siendo infiltrado en mantos subterráneos, para llegar al punto final que son los ríos y mares para comenzar de nuevo el ciclo (Gutiérrez Fernández y Martín-Cobos Puebla, 2008).

Para Fuenzalida-Puelma (1991) en su artículo explica que “La idea de que el agua debe concebirse y tratarse como un recurso es de gran utilidad en el contexto de la relación entre

el agua y la salud” puesto que es un recurso indispensable para la vida, aunque no siempre es recomendable el uso de ella sin someterla antes a un proceso de tratamiento debido a la existencia de bacterias, químicos o elementos que resultan dañinos para la salud.

7.2. Tipos de Aguas

Las aguas naturales se clasifican en diversos tipos como:

- **Aguas Atmosféricas:** Este tipo de agua corresponde al agua líquida natural presente en la atmósfera (Flores y cols., 2015). Normalmente estas se concentran en las nubes.
- **Aguas Superficiales:** Dentro de estas se encuentra el agua dulce la más que no contiene sales provocando la característica de ser insípido y también se encuentran las aguas lacustres y embalses (Flores y cols., 2015).
- **Aguas Marinas:** Las aguas marinas normalmente son encontradas en la superficie oceánica contando con un elevado grado de salinidad.
- **Agua Dura y Blanda:** El agua dura contiene minerales tales como carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Contrario al agua dura, se tiene el agua blanda, la cual es casi libre de los minerales anteriormente mencionados (Flores y cols., 2015).
- **Aguas del Subsuelo:** Se las entiende como el agua que se encuentra debajo de la corteza terrestre siendo variable respecto a la composición química (Flores y cols., 2015).

7.3. Contaminantes del Agua

La aparición de compuestos no deseables tiene su origen en el denominado ciclo del agua como se aprecia en la figura 1 (Barceló y López, 2008). Observándose la aparición de agentes contaminantes provocando la alteración de la calidad del agua obligando así a un proceso de potabilización para obtener un producto consumible.

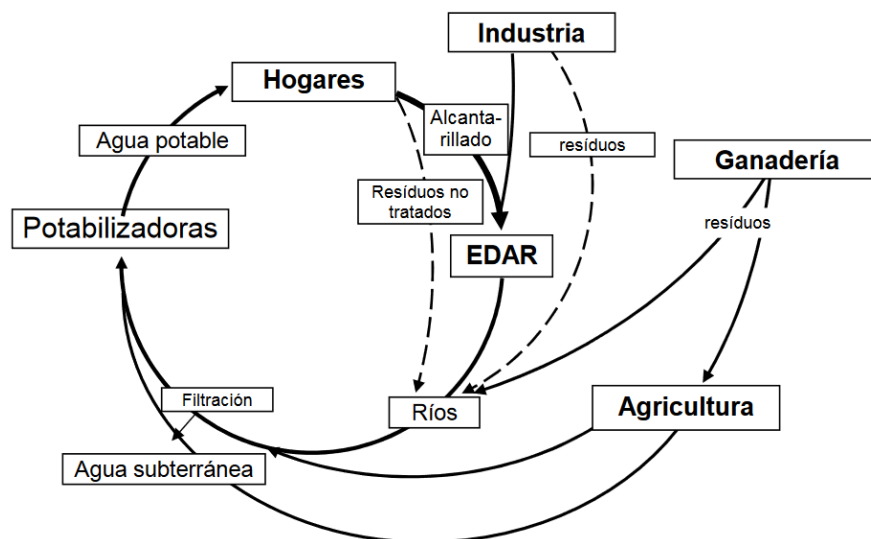


Figura 2: Ciclo del Agua

Fuente: (Barceló y López, 2008)

Las causas más evidentes para la contaminación del agua es en primer lugar el ser humano, el aumento de las temperaturas, uso de pesticidas en los campos de cultivo, vertido accidental de petróleo y muchos más. Por tal motivo se pueden encontrar diversos contaminantes en el agua como lo son: (Cuenca, Cuenca, Mata, y González, 2018)

- **Contaminación Microbiológica**, existencia de microorganismos en el agua como pueden ser protozoos, bacterias y virus.
- **Materia Suspendida**, contaminantes como sustancias químicas que no son capaces de disolverse.
- **Contaminación generada por nutrientes**, las aguas residuales, aguas con fertilizantes y aguas de alcantarillado cuentan con niveles altos de nutrientes que provocan la creación de algas.

7.4. Potabilización del Agua

El proceso de potabilización del agua tiene como finalidad mejorar la calidad del agua cruda y hacerla apta para el consumo humano puesto que, no es recomendable el consumo directo de la fuente natural debido a los contaminantes naturales o externos existentes en el agua, siendo la opción viable someterla a un proceso de tratamiento de transformación químico-físico o biológico para la obtención del agua potable.

Yepes Osorio, Rojas Castañeda, y cols. (2019) describen en su artículo al agua potable como “aquella de características físicas, químicas y microbiológicas aptas para el consumo humano, la cual ha sido tratada con el fin de garantizar dichas características” dando como resultado las propiedades generales del agua potable como lo son inodora, incolora e insípida, libre de microorganismos.

7.5. Proceso de Potabilización del Agua

García (2005) especifica la Figura 3 como: “Un esquema general de un proceso de potabilización comúnmente utilizado”. Dicho esquema muestra diversas etapas por la que pasa el agua antes de llegar a ser potable, aunque cabe recalcar que los procesos varían en las plantas potabilizadoras. Las etapas más comunes son:

- Entrada de Agua Cruda.
- Aireación.
- Unidad de Mezcla Rápida.
- Coagulación.
- Floculación.
- Sedimentación.
- Filtración.
- Desinfección.
- Almacenamiento.

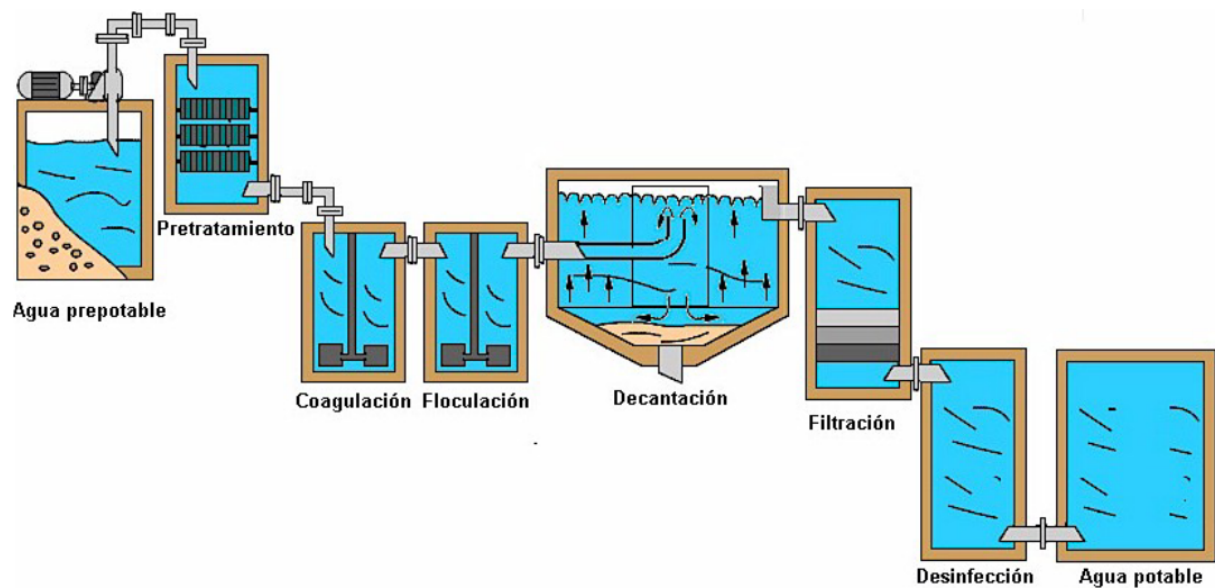


Figura 3: Proceso de Potabilización de Agua
 Fuente: (García, 2005)

El proceso cuenta con la entrada del agua cruda, posteriormente entra a la etapa de aireación conduciendo así a la unidad de mezcla rápida, en donde se procede a la dosificación de los químicos, continuamente se procede a la coagulación para eliminar la carga eléctrica de las partículas coloidales.

La floculación tiene como objetivo eliminar los sólidos suspendidos en el agua para continuar con la sedimentación en donde se eliminan los pequeños flocos y disminuir la turbidez pasando así a la filtración para eliminar micropartículas conllevando así la desinfección de microorganismos llegando así al almacenamiento y su posterior distribución a la población.

7.6. Elementos que Intervienen en la Potabilización del Agua

Los diversos elementos que influyen en lo que respecta el proceso de la potabilización del agua son el caudal, turbiedad, químicos para la dosificación, y el pH.

7.6.1. Caudal

Respecto al caudal se conoce como una variable dentro de un líquido o gas, encargada de relacionar el volumen respecto al tiempo, la misma indica la cuan rápido se moviliza un fluido dentro de un sistema de control industrial. La unidad de medida se puede representar de diversas formas como: litros/minuto, litros/segundo, galones/minuto, barriles/hora

(Andramuño Cando, 2020).

El caudal se encuentra de tres diferentes formas: (Andramuño Cando, 2020)

- Q = Caudal volumétrico cuya unidad se expresa por m^3/s .
- Q_m = Caudal másico expresada por la unidad de Kg/s .
- Q_v = Velocidad del caudal la cual está dada en m/s .

7.6.2. Turbiedad

La turbiedad o también conocido como turbidez es el encargado de reflejar el contenido de material particulado sirviendo como indicador de la calidad del agua pudiendo verse como apta o con indicios de contaminación (Martínez-Orjuela, Mendoza-Coronado, Medrano-Solís, Gómez-Torres, y Zafra-Mejía, 2020).

Dentro de las fuentes de abastecimiento de agua este término se encuentra como un parámetro fisicoquímico de vital importancia siendo el mismo el encargado de mostrar el contenido de sustancias coloidales, minerales u orgánicas existentes en el agua. Su unidad se representa mediante NTU.

7.6.3. Potencial de Hidrógeno

El pH (Potencial de Hidrógeno) es el encargado de definir el nivel de acidez o basicidad de una solución, dichos niveles dependen de la cantidad de iones de hidrógeno o iones $-OH$ existentes en la misma (Albin, 1975).

7.6.4. Químicos

Los químicos empleados en el proceso de potabilización del agua específicamente en la dosificación de químicos son: (Fuentes, Mendoza, López, Castro, y Urdaneta, 2011)

- Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)
- Polímeros
- Policloruro de Aluminio (PAC)
- Sulfato de hierro (II) ($FeSO_4$)
- Cloruro de hierro ($FeCl_3$)

- Sulfato de hierro (III) ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$)

Siendo el Sulfato de Aluminio el químico más usado para el proceso.

El Sulfato de Aluminio es un químico en forma de cristal siendo de un color marfil, el mismo que al ser añadido a una mezcla con agua da como resultado la formación del Hidróxido de Aluminio puesto que, reacciona con la alcalinidad. Es conocido mayormente por su uso en las Plantas Potabilizadoras como coagulante metálico encargado de formar flocs de un peso ligero. Al ser un producto de bajo costo y de manejo sencillo se toma en consideración como un químico apto para el uso en el proceso de tratamiento de agua (Vera Medina, 2016).



Figura 4: Sulfato de Aluminio
Fuente: (Vera Medina, 2016)

El Sulfato de Aluminio cuenta con las características que se evidencian en la Tabla 4

Tabla 4: Características generales y físicas del sulfato de aluminio

Coagulante: Sulfato de Aluminio	
Nombre Comercial	Alumbre
Nombre Químico	Sulfato de Aluminio
Fórmula	$Al_2(SO_4)_3$
Propiedades Físicas	
Densidad real	2.7g/cm ³
Densidad aparente	1g/cm ³
Solubilidad en el agua	790g/1000 cm ³ a 30°C
Higroscopia	Media
Presentación comercial	Cristales blancos o pardos
Inflamabilidad	Ninguna
pH óptima de la solución	5.6

Fuente: (Vera Medina, 2016)

Dosificación de Químicos Acción de graduar un producto químico en forma periódica en el tratamiento de agua. Para esta acción es usado un dosificador mismo que puede ser ocupado de forma manual o automática siendo el encargado de distribuir el químico en una frecuencia determinada viéndose afectada la misma por la variación del caudal de entrada (Quispe Huisa, 2018).

7.7. Sistema de Control

Para Araujo Guerrero (2014) “Un sistema es un conjunto de variables que interactúan y generan señales observables”. Estos sistemas pueden contar con perturbaciones o estímulos externos que afectan el comportamiento del mismo, se los identifican como entradas.

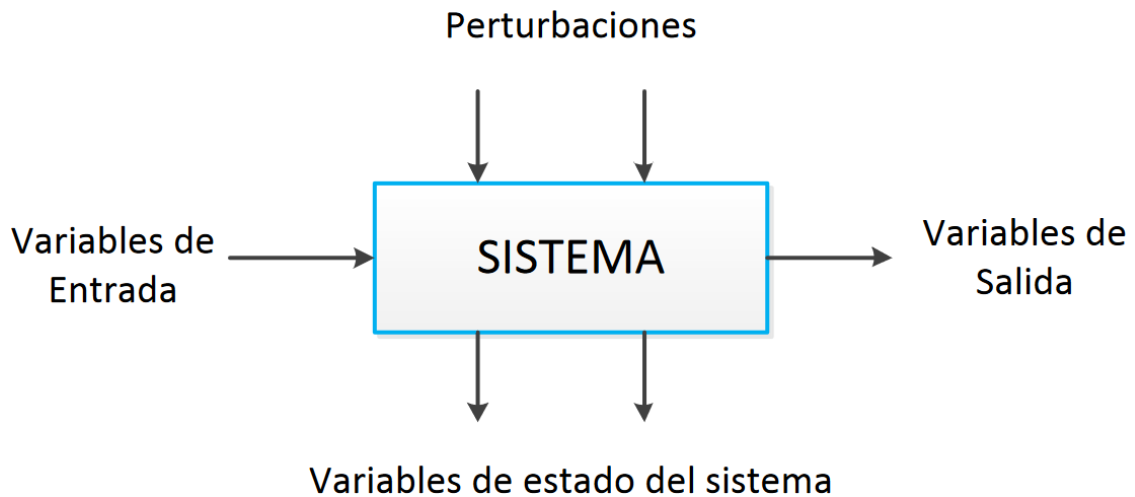


Figura 5: Variables del Sistema de Control

Fuente: (Araujo Guerrero, 2014)

Un esquema general de un sistema de control cuenta con diversos elementos que se detallan a continuación: (Araujo Guerrero, 2014)

- **Entrada de referencia (Variable de entrada):** Señal de entrada que cumple la función de parámetro de ajuste y es aplicada a un controlador.
- **Planta:** Es el proceso al que se somete el control y el mismo que recibe las perturbaciones.
- **Controlador:** Gestiona el valor de la salida de control a partir de la entrada de referencia.
- **Señal de control:** Es la variable controlada misma que es aplicada a la planta.
- **Salida controlada:** Es la señal o variable de salida de la planta que es controlada.

Un sistema de control se clasifica en dos según su estructura como lazo abierto y lazo cerrado siendo el segundo el más eficiente, permitiendo reducir el error del sistema puesto que, cuenta con la realimentación siendo esta señal la del error de actuación misma que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación.

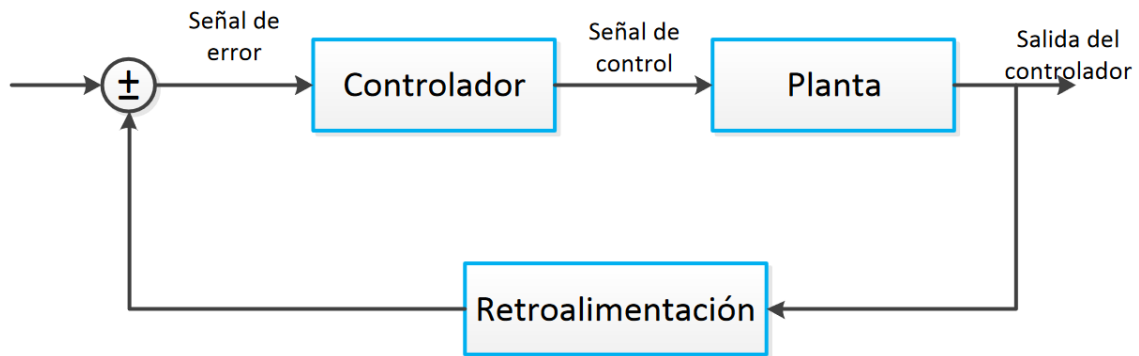


Figura 6: Diagrama de un controlador en lazo cerrado

Fuente: (Araujo Guerrero, 2014)

7.8. Diseño Mecatrónico

El diseño mecatrónico es una integración de los sistemas eléctrico, mecánico y de control enfocados al diseño (Bolton, 2013). El sistema mecatrónico tiene como finalidad el control de un proceso, tomando en cuenta el esquema que se muestra en la Figura 7, en el cual se puede observar una variable de entrada y de salida, en el sistema mecatrónico se encuentran actuadores, sensores digitales y analógicos y el sistema de control.

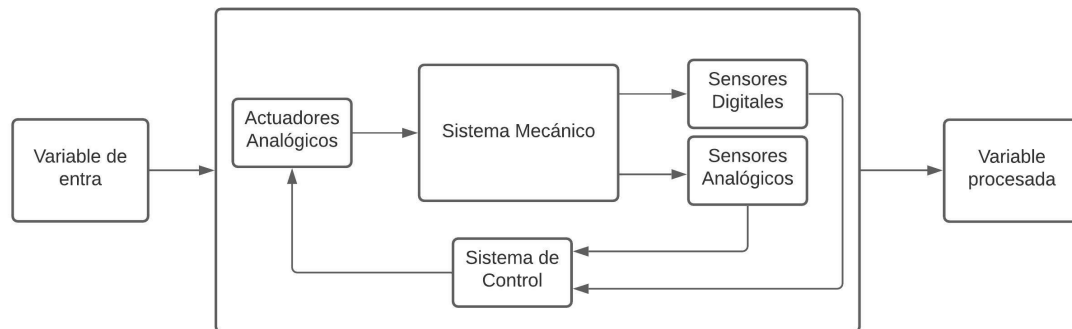


Figura 7: Los elementos básicos del sistema mecatrónico

Fuente: Autores

7.8.1. Diseño de Control del Sistema Mecatrónico

En la parte del control del sistema se toma en cuenta varios sensores y actuadores que se incluyen en el proceso de la dosificación de Sulfato de Aluminio, para la adquisición y procesamiento de datos. El control en esta etapa está referido al manejo de electroválvulas

que permite el paso del químico (Vargas Quispe, 2019). Para que el funcionamiento se de forma correcta, se cuenta con la toma de datos de los sensores, cuyos valores son sometidos a un análisis de estabilidad para posteriormente ejecutar el proceso de dosificación mediante los actuadores.

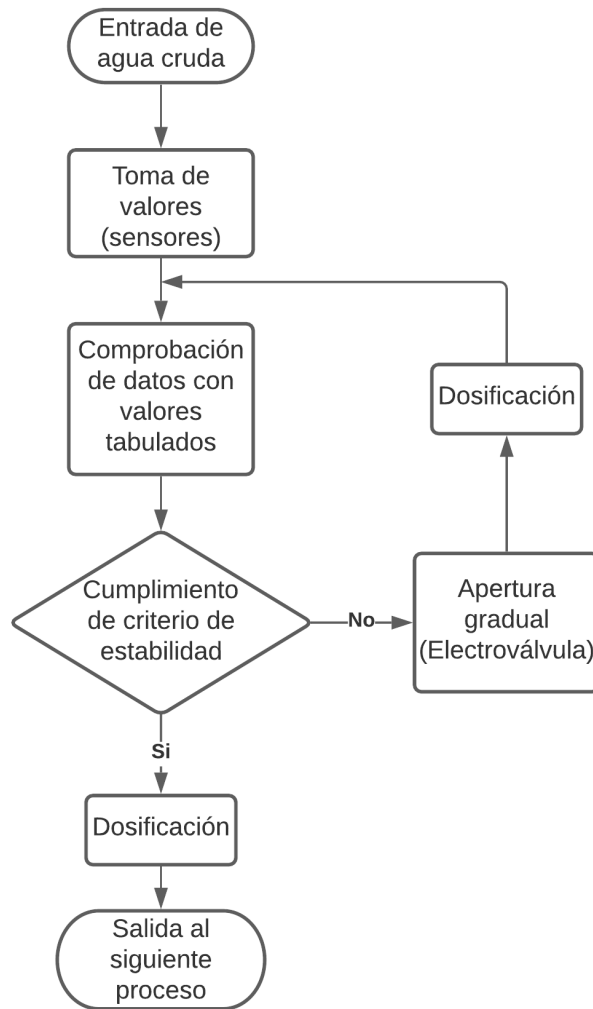


Figura 8: Diagrama de Sistema de Control

Fuente: Autores

8. Marco Metodológico

En la sección presentada a continuación se observan los parámetros a seguir en la obtención del Diseño Mecatrónico para la Dosificación de Sulfato de Aluminio de la Planta de Tratamiento

de Mahuarcay. La misma que pretende dar a conocer un bosquejo para una futura intervención autónoma en dicho proceso que se realiza actualmente de manera manual.

8.1. Diseño Estructural de la Planta de Tratamiento de Mahuarcay

La Planta de Mahuarcay, ubicada en la zona rural de la parroquia Bayas, a unos 5Km de la ciudad de Azogues, cuenta con el tratamiento físico-químico para la Potabilización de Agua. Los procesos con los que se cuenta para la producción del agua potable son aireación, unidad de mezcla rápida, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y posterior almacenamiento y distribución a la ciudad de Azogues (Zhindón Arévalo, 2011).

El proceso se realiza de manera manual por personal capacitado, mismos que se encargan de controlar que el agua mantenga la calidad adecuada para el consumo humano.

En la entrada de agua cruda se puede observar un sensor de Caudal, mismo que ayuda a la obtención de información de Caudal para los procesos posteriores. Adicional a esto, la medición de la Turbiedad se realiza de manera externa, debido a que el sensor de Turbiedad esta actualmente fuera de servicio.

El proceso de dosificación de químicos, es uno de los procesos más importantes, debido a que de éste depende que los demás puedan darse de manera correcta. Para realizar dicho procedimiento se dispone actualmente de un dosificador tubular, el mismo que es regulado con número de vueltas de acuerdo a los datos de Caudal y Turbiedad en la entrada del agua.

Para la floculación, el coagulante dispersado es sometido a una agitación lenta en el agua para generar los floculos, mismos que tienen la posibilidad de ser conducidos por dor canales y repartidos para dos módulos de la planta, contando con tabiques de flujo horizontal (Zhindón Arévalo, 2011).

Para la sedimentación se cuenta con 2 placas paralelas, de flujo ascendente separados a unas distancias e inclinaciones establecidas por la Planta (Zhindón Arévalo, 2011).

Para la filtración se pueden observar 8 filtros que para su apertura se cuenta con un tablero de encendido-apagado de motores. Mismos que ayudan al momento en que se necesite el lavado de dichas unidades, para evitar la acumulación de impurezas y dañar el proceso de tratamiento de agua.

En la desinfección se aplica cloro gas, mediante dosificadores al vacío, garantizando el eficiencia del desinfectante (Zhindón Arévalo, 2011).

8.2. Parámetros de Diseño y Variables Controlables para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

Mediante las investigaciones realizadas se determina que las empresas de tratamiento de agua requieren de la parte de dosificación de los químicos como un pilar fundamental para la correcta producción del agua potable. Por lo que se considera idóneo el análisis de las variables importantes para esta etapa del proceso.

8.2.1. Diagrama General del Proceso de Tratamiento de Agua

En la Figura 9, se muestra el diagrama del proceso en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay, en que se observan las diferentes etapas a las que se somete al agua cruda para su posterior potabilización. Considerando, como área de interés la Dosificación de Químicos (Sulfato de Aluminio) como proceso conjunto a la Unidad de Mezcla Rápida.

Dentro del proceso de Dosificación se ve inmerso la toma de decisiones establecidas en la Figura 8, ya que si se comprueba que los valores de entrada de las variables (Caudal y Turbiedad) se encuentran dentro del rango normal, la dosis se mantiene estable; caso contrario se debe regular la dosis, provocando que exista apertura o cierre gradual del dosificador tubular permitiendo el paso del químico a la Unidad de Mezcla Rápida.

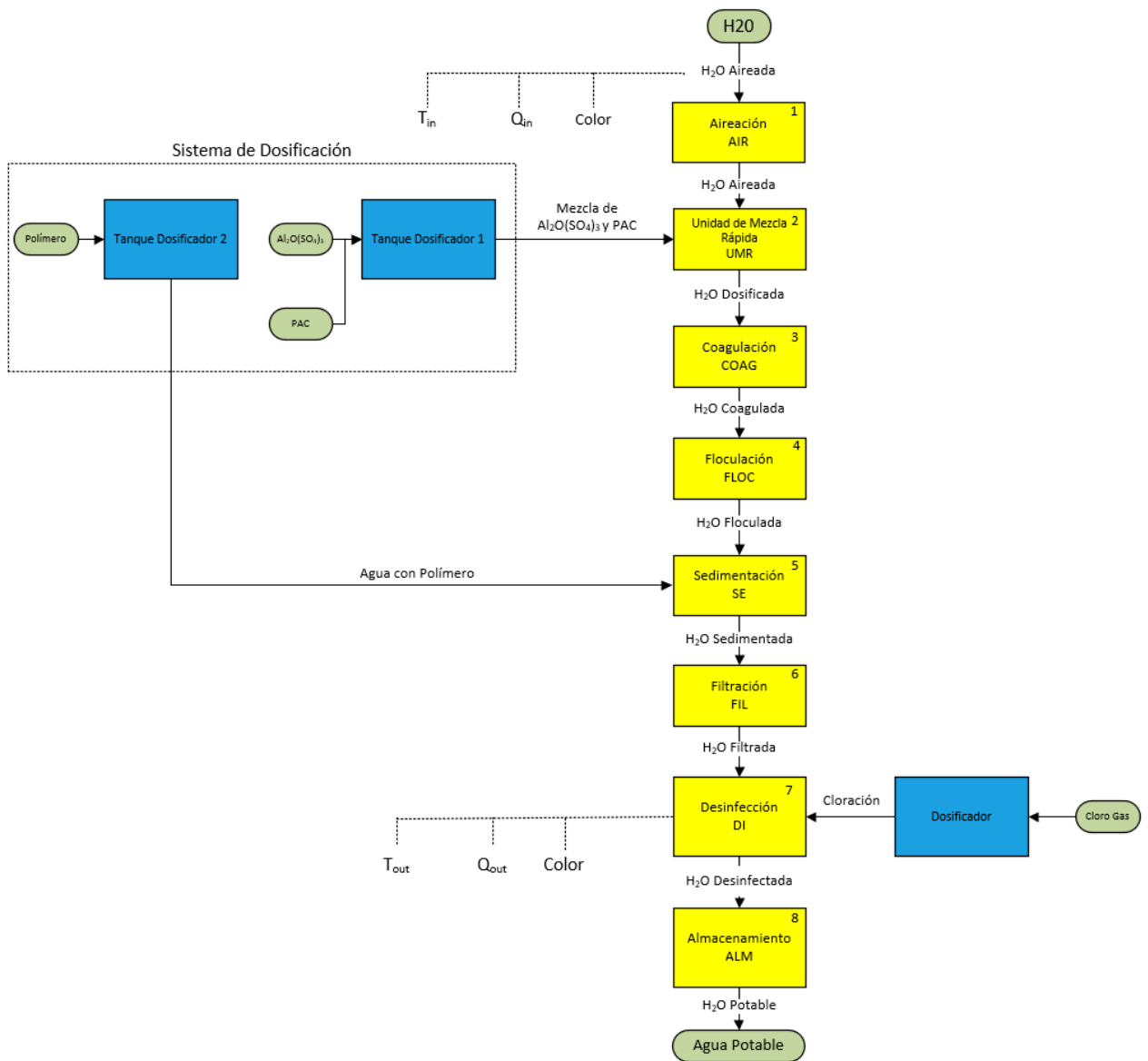


Figura 9: Diagrama de Proceso de Tratamiento de Agua en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay
Fuente: Autores

De acuerdo con la Figura 9, se establece la Tabla 5, para conocer la lista de Acrónimos del Diagrama del Proceso

Tabla 5: Lista de Acrónimos utilizadas en el Diagrama de Proceso

	Acrónimo	Definición
1	AIR	Aireación
2	ALM	Almacenamiento
3	$Al_2O(SO_4)_3$	Sulfato de Aluminio
4	COAG	Coagulación
5	DI	Desinfección
6	FIL	Filtración
7	FLOC	Floculación
8	$H_2OAireada$	Agua Aireada
9	$H_2OCoagulada$	Agua Coagulada
10	$H_2ODesinfectada$	Agua Desinfectada
11	$H_2ODosificada$	Dosis de Químico en Agua
12	$H_2OFiltrada$	Agua Filtrada
13	$H_2OFloculada$	Agua floculada
14	$H_2OPotable$	Agua Potable
15	$H_2OSedimentada$	Agua con sedimentos
16	Q_{in}	Caudal de entrada
17	Q_{out}	Caudal de salida
18	SE	Sedimentación
19	T_{in}	Turbiedad de entrada
20	T_{out}	Turbiedad de salida
21	UMR	Unidad de Mezcla Rápida

Fuente: Autores

El diagrama de la Figura 9 ayuda a entender de manera simple, el proceso que se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento para la Potabilización del Agua.

8.2.2. Sulfato de Aluminio

La dosis del Sulfato de Aluminio se expresa en miligramos por litro, la cual debe ser ingresada de manera uniforme, misma que es enviada hacia la flauta en la Unidad de Mezcla Rápida; el químico hace reacción con el agua para luego pasar al siguiente proceso (Coagulación) (Zhindón Arévalo, 2011). Para conocer la dosis óptima, se debe tener en cuenta el caudal y la

turbiedad existentes en la entrada de agua cruda, de tal manera que se pueda contrarrestar con el coagulante necesario para que el proceso no se vea comprometido.

8.2.3. Caudal

El caudal en la entrada de agua puede abastecer hasta 110 l/s, las mismas que, con los procesos existentes en la Planta de Tratamiento, establecen los parámetros para la adición de los químicos adecuados que ayudan en la Potabilización del Agua (Zhindón Arévalo, 2011). El elemento de medición implementado para la obtención de los litros por segundo en la entrada es un caudalímetro. Este dispositivo se encuentra en la entrada del agua cruda en la planta de tratamiento, mismo que puede ayudar a la obtención de los datos en tiempo real de la variación del caudal para la correcta dosificación

8.2.4. Turbiedad

La Turbiedad, en la Planta de Tratamiento de Mahuar cay ayuda en el conocimiento de la cantidad de dosis de coagulante que debe ser mezclada en el tanque para ser enviada por el dosificador hacia la flauta en la Unidad de Mezcla Rápida. La medición de la Turbiedad (NTU) se obtiene, actualmente, una muestra en la entrada de agua cruda para luego ser medida en un dispositivo externo.

8.2.5. Variables por Considerar en la Dosificación del Sulfato de Aluminio

En el caso de la potabilización de agua en la planta de tratamiento de Mahuar cay, específicamente en la parte de dosificación, los parámetros necesarios a considerar son los mencionados anteriormente, incluyendo el tiempo de verificación para corroborar la variación de la dosis.

Tomando en cuenta los valores establecidos como normales para la empresa, se especifica que, el rango para el caudal es de 100-110 l/s y la turbiedad de 25-50 NTU. Por lo que, dependiendo de la lectura (tomando en cuenta que este proceso puede ejecutarse en un rango de 10-15 min debido a que en condiciones normales el caudal y la turbiedad se mantienen constantes) y los datos obtenidos, la dosificación de sulfato de aluminio varía entre 5-100 mg/l.

8.3. Sistema de Adquisición de Datos de Caudal y Turbiedad para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

Respecto al método de adquisición de datos del Sistema Mecatrónico para la Dosificación de Sulfato de Aluminio, es necesario el empleo de un caudalímetro (Endress Hauser-PROMAG 50) y un sensor de turbiedad (Edress Hauser-LIQUISYS-M turbidity), cuyo objetivo es la obtención de los valores a ser usados para el control de la dosificación. La empresa, actualmente cuenta ya con estos dispositivos, de los cuales, el caudalímetro es completamente funcional, mientras que el sensor de turbiedad es óptimo pero se encuentra mal configurado, por lo cual los valores no son los reales, para ello; se debe corregir los errores tanto físicos como de calibración del dispositivo para que funcione con el resto del sistema.

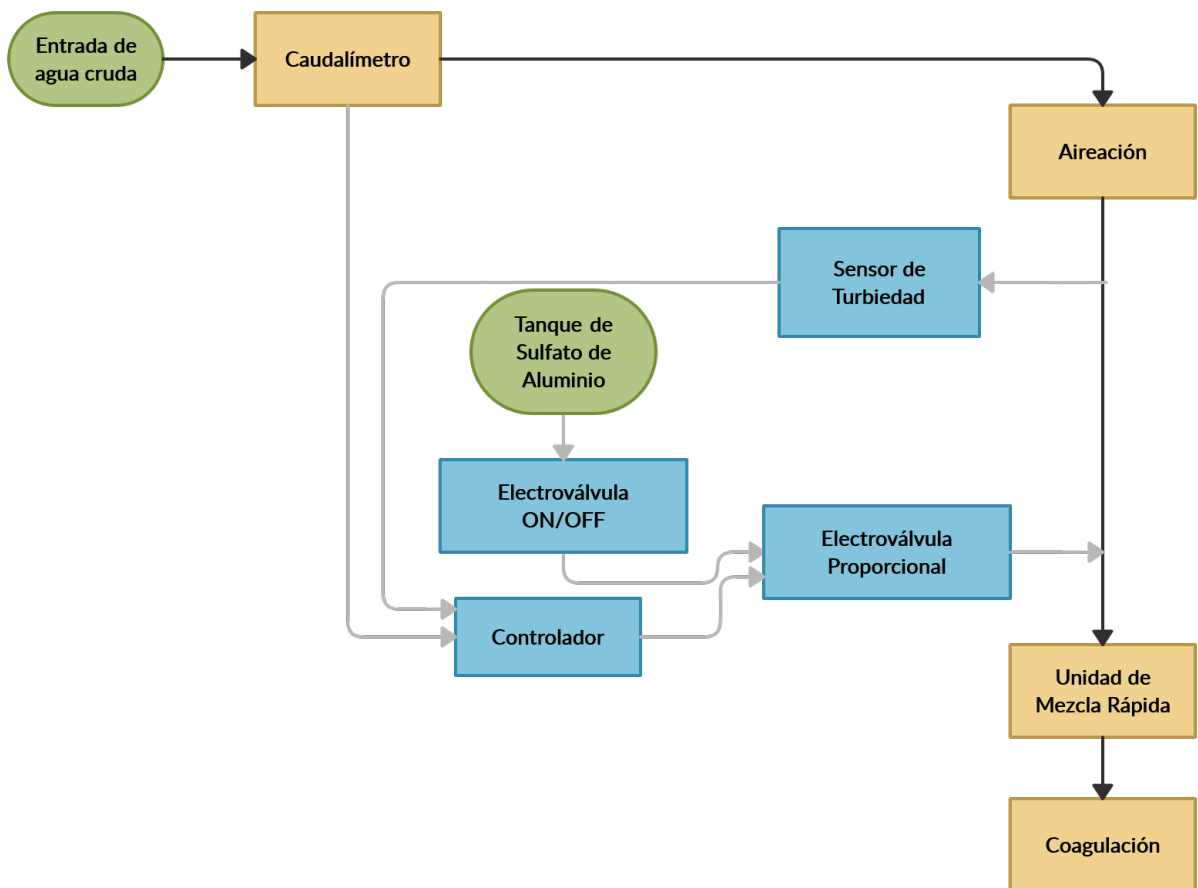


Figura 10: Arquitectura del Sistema de Adquisición de Datos

Fuente: Autores

Respecto a la Figura 10, se encuentran los dos tanques del químico, en nuestro caso el Sulfato de Aluminio, en los cuales se establece el cambio de válvulas manuales por electroválvulas ON/OFF, mismas que permiten el paso del químico, seguidamente se observa una electroválvula proporcional, la cual funciona con el controlador, encargado de tomar los valores del caudalímetro y el sensor de turbiedad, para tratar los valores y realizar el respectivo control provocando así el paso adecuado de la dosis hacia la Unidad de Mezcla Rápida.

8.3.1. Sensor de Nivel

El Prosonic T es un transmisor ultrasónico compacto para la medición de nivel continua sin contacto en líquidos y en sólidos granulados o granulosos. La serie Prosonic T consta de tres transmisores, que pueden equiparse con uno de varios módulos electrónicos, con medición graduada (EndressHauserLevel). La planta de tratamientos de agua EMAPAL – EP ya cuenta con estos sensores. Sus características se especifican en la Tabla 6 a continuación y visualizando datos adicionales en el Anexo 3:



Figura 11: Ultrasonic Level Measurement Prosonic T FMU130

Fuente: (EndressHauser, 2003)

Tabla 6: Características del sensor de nivel T FMU130

Característica	Medida
Distancia Nominal	0.25 a 4 m
Frecuencia	70 kHz
Temperatura Media	-40 a 80 °C
Resolución de medida	3 mm

Fuente: (EndressHauser, 2003)

8.3.2. Sensor de Caudal

Diversas aplicaciones: amplia variedad de materiales húmedos. Medición de flujo con ahorro de energía, sin pérdida de presión debido a la constricción de la sección transversal. Sin mantenimiento, sin piezas móviles (EndressHauserCaudal). Sus características se explican en la Tabla 7 y observándose con mayor detalle en el Anexo 4:



Figura 12: Proline Promag 50P, 53P

Fuente: (EndressHauser, 2005)

Tabla 7: Características del sensor de caudal Proline Program 50P, 53P

Característica	Medida
Medición Caudal	0 a 2666 l/s
Presión del Proceso	0 a 40 bar
Temperatura del fluido	0 a 180 °C

Fuente: (EndressHauser, 2005)

resultado la regulación de la variable del proceso (EMERSON, 2017). Como consecuencia se obtiene un producto más eficiente debido al proceso de control al que se somete.

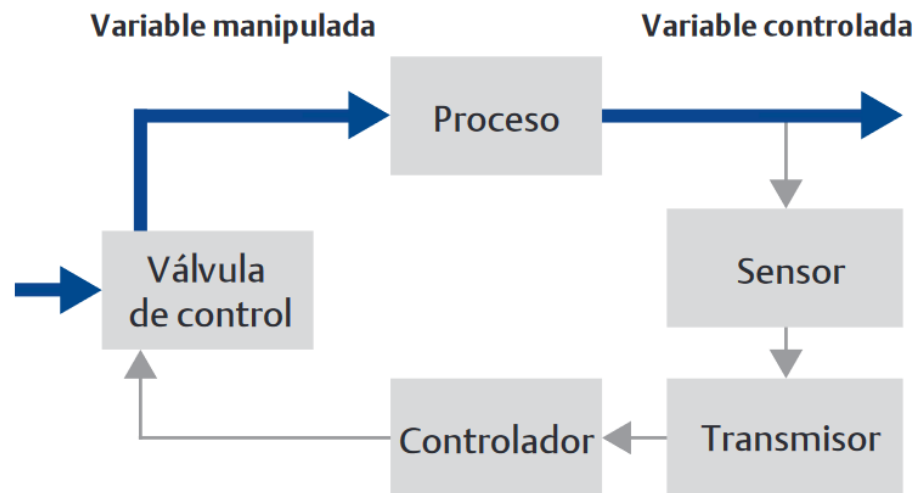


Figura 14: Bucle de control de realimentación

Fuente: (EMERSON, 2017)

En la actualidad las plantas de procesamiento cuentan con una amplia red de control con la finalidad de crear un producto de calidad para el mercado. La Figura 14 representa un proceso general de control con la finalidad de mantener una variable dentro de un rango adecuado que garantice un producto final aceptable. La parte del proceso puede estar sometido a perturbaciones que afectan de forma negativa a la variable por lo que es necesario la implementación del sistema de control realimentado.

Las electroválvulas cuentan con dos posiciones: abierto y cerrado; poseen una gran variedad de aplicaciones para el control de flujo de todo tipo de fluidos. Sus dos partes fundamentales son: el solenoide y la válvula (Chicaiza Ortega, 2019). Al contar con estas descripciones son óptimas para el uso industrial y de gran ayuda para la automatización.

Para seleccionar las electroválvulas se considera que el diámetro de paso debe ser de 2 pulgadas, para evitar acumulación de flóculos existentes en el químico que puedan reducir la eficiencia en el paso del mismo hacia la flauta.

8.3.4.1. Electroválvulas ON/OFF

Las electroválvulas mencionadas a continuación son ideales para el proceso por lo que se plantean 3 con sus diversas especificaciones, siendo la Válvula de asiento de 3/2 vías con accionamiento neumático la elegida para el cumplimiento del proceso.

8.3.4.1.1. Válvula de asiento de 3/2 vías con accionamiento neumático CLASSIC

Este tipo de electroválvulas cuentan con un accionamiento neumático CLASSIC y se encuentran en dos tipos de materiales diferentes dependiendo de la temperatura de su entorno los cuales son Poliamida y Polisulfuro de fenilo (PA y PPS) contando con una carcasa de acero inoxidable optimizada para el caudal. Sus detalles técnicos se pueden apreciar en la Tabla 9 , para más información revisar el Anexo 6.



Figura 15: Válvula de asiento de 3/2 vías con accionamiento neumático CLASSIC tipo 2006

Fuente: (Bürkert., 2021)

Tabla 9: Características de la válvula de asiento de 3/2 vías

Característica	Medida
Diámetro nominal	2 pulgadas
Temperatura media	-10 a 180 °C
Presión Nominal	PN16
Presión Piloto	10 bar
Tipo de Conexión	Roscada

Fuente: (Bürkert., 2021)

8.3.4.1.2. Electroválvula Gemü 205

Es una electroválvula de plástico de 2/2 vías de control directo que cuenta con una bobina de alto rendimiento, herméticamente separado en el medio por un casquillo flexible de PTFE con un diafragma de seguridad. Se puede alimentar mediante un enchufe para usar con un suministro de corriente alterna. Las características de esta electroválvula se muestran en la Tabla 10 a continuación, para mayor información revisar el Anexo 7:



Figura 16: Electroválvula Gemü 205

Fuente: (Gebr.Müller, 2021a)

Tabla 10: Características de la Electroválvula de 2/2 vías Gemü 205

Característica	Medida
Diámetro nominal	2 pulgadas
Temperatura media	-20 a 60 °C
Temperatura ambiente	10 a 40 °C
Presión de operación	0 a 6 bar
Tipo de Conexión	Roscada

Fuente: (Gebr.Müller, 2021a)

8.3.4.1.3. Electroválvula Gemü 8258

Este tipo de electroválvula es servoasistida de 2/2 vías contando con dos tipos de materiales en su cuerpo como latón o acero inoxidable siendo las partes que entran en contacto con el medio de acero inoxidable. Siendo una opción viable cuando se trabaja con agua, aire y aceites. Sus características se especifican en la Tabla 11, más información de esta electroválvula se encuentra detallada en el Anexo 8:



Figura 17: Electroválvula Gemü 8258

Fuente: (Gebr.Müller, 2021b)

Tabla 11: Características de la Electroválvula de 2/2 vías Gemü 8258

Característica	Medida
Diámetro nominal	2 pulgadas
Temperatura media	-10 a 110 °C
Temperatura ambiente	-10 a 50 °C
Presión de operación	0.1 a 16 bar
Tipo de Conexión	Roscada

Fuente: (Gebr.Müller, 2021b)

8.3.4.2. Electroválvula Proporcional

A continuación se observan las válvulas de control ideales para el proceso, puesto que cumplen con las especificaciones requeridas en la empresa y a su vez servirán como Dosificador en caso de implementación.

8.3.4.2.1. Válvula asiento inclinado 2/2 vías con accionamiento neumático CLASSIC (Válvula seleccionada para el proceso)

Esta válvula cuenta con un accionamiento con actuador neumático de simple o doble efecto. El cuerpo del mismo puede conseguirse de dos materiales diferentes como lo es de bronce o de acero inoxidable de fundición favoreciendo así el flujo y proporcionando valores de caudal elevados (Bürkert, 2021). La elección de la electroválvula se consideró por la larga

vida útil, actuadores robustos, al ser de acero inoxidable, tipo de conexión rosca y mediante la Tabla 12 que especifica algunos detalles sobre la válvula, considerando que más detalles se encuentran en el Anexo 9.



Figura 18: Válvula asiento inclinado de 2/2 vías
Fuente: (Bürkert, 2021)

Tabla 12: Especificaciones de la válvula de asiento inclinado de 2/2 vías de acero inoxidable

Característica	Medida
Diámetro nominal de conexión	2 pulgadas
Presión de Trabajo	0 – 25 bar
Temperatura del Fluido	-10 a 185 °C
Temperatura ambiente	-10 a 60 °C
Conexión	Roscada
Precio	\$246.38

Fuente: (Festo, 2020)

8.3.4.2.2. Válvula de proceso neumática Festo VZPR-BPD-22-R2

Sus propiedades se especifican a continuación: (Festo, 2020)

- Combina el actuador giratorio y válvula de bola.
- La apertura es completa en ambos sentidos para el paso del Caudal.

- Conexión directa al actuador debido a su composición de 5/2 vías.
- Los detectores de final de carrera cuentan con montaje directo en el actuador.



Figura 19: Válvula VZPR-BPD-22-R2

Fuente: (Festo, 2020)

Esta electroválvula también es una opción viable para el proceso, pero al contar con un valor elevado en comparación a la válvula mencionada previamente es descartado, aunque cumple con los valores deseados como se puede apreciar en los datos de la Tabla 13 y adicionalmente más detalles en el Anexo 10.

Tabla 13: Especificaciones de la válvula VZPR-BPD-22-R2

Característica	Medida
Diámetro nominal de conexión	2 pulgadas
Presión de Trabajo	1 – 25 bar
Temperatura del Fluido	-20 a 150 °C
Temperatura ambiente	-20 a 80 °C
Conexión	Roscada
Tipo de Actuador	Electroneumático
Precio	\$562.52

Fuente: (Festo, 2020)

8.3.4.2.3. Válvula solenoide de 2 vías - 2KL50050BIG

Válvula de control de fluido, acero inoxidable, para aplicaciones de alta temperatura, 2/2 vías con pilotaje interno y normalmente abierta, tamaño de orificio de 50 mm, puerto G de 2", 24 V CC, entrada eléctrica con pasacables (AirTac, 2017). Esta electroválvula es una buena opción para el proceso de dosificación. Sus detalles se observan en la Tabla 14 y teniendo más detalles en el Anexo 11.

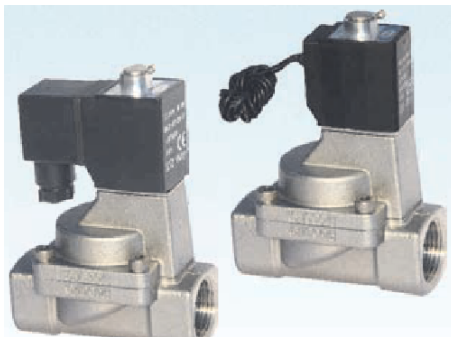


Figura 20: Válvula Airtac 2KL500-50
Fuente: (AirTac, 2017)

Tabla 14: Especificaciones de la válvula Airtac 2KL500-50

Característica	Medida
Diámetro nominal de conexión	2 pulgadas
Presión de Trabajo	1 – 6.89 bar
Temperatura del Fluido	-10 a 150 °C
Temperatura ambiente	-20 a 100 °C
Conexión	Roscada
Precio	\$363.83

Fuente: (AirTac, 2017)

8.3.5. Regulador de posición (Tipo 8792)

Este tipo de dispositivos son robustos y compactos, creados para su instalación en actuadores lineales, rotativos, de acción sencilla y doble con estandarización de acuerdo con la norma IEC 60534-6-1 o VDI/VDE 3845 (IEC 60534-6-2). Se encarga de procesar todas las señales de corriente y tensión habituales contando con una interfaz opcional de bus de

campo. Se caracteriza por una determinada seguridad frente a averías en la energía eléctrica o neumática auxiliar, y cuenta con un amplio rango útil de rendimiento del aire con presiones de suministro de hasta 7 bar. Las características del dispositivo se pueden observar con mayor detalle en el Anexo 12 y se encuentran resumidos en la Tabla 15 a continuación:



Figura 21: Regulador de posición electroneumático digital: Posicionador SideControl
Fuente: (Bürkert, 2021)

Tabla 15: Características del Posicionador SideControl Tipo 8792

Característica	Medida
Interfaz de servicio	Conectado a PC a través de conexión USB
Comunicación	Fielbus y Digital
Voltaje de operación	24 V DC
Consumo de Poder	5 W
Temperatura ambiente	0 a 60 °C
Actuador de válvula	Actuadores rotativos y lineales

Fuente: (Bürkert, 2021)

8.4. Propuesta de un Diseño de Control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

Para la parte del control se consideran ecuaciones obtenidas mediante las tablas tabuladas proporcionadas por el laboratorio, dichos valores son comprobados mediante los Anexos 1 y 2.

8.4.1. Formulación para la Apertura de la Electroválvula y Función de Transferencia

El proceso de la obtención de la función de transferencia ayudará a establecer un tiempo de respuesta en la apertura de las electroválvula. Cabe recalcar que la empresa trabaja con porcentajes de la solución madre la misma que indica el porcentaje de químico que se disuelve en los 5 metros cúbicos de agua, siendo la cantidad máxima aprovechable en el proceso para ser dosificado; llegando a trabajar con el 2%, 3% y 4% de la solución madre.

8.4.1.1. Dosis de Sulfato de Aluminio al 2%

En la obtención de la dosis requerida se aplica la siguiente ecuación, donde D es la Dosis y T es la Turbiedad de Entrada:

$$D = 10.304 * \ln(T) - 8.8294 \quad (1)$$

Se procede al cálculo de los centímetros de Sulfato de Aluminio requerido (cS), mediante la ecuación a continuación, conociendo que Q es el Caudal de Entrada:

$$cS = \frac{D * Q}{274.45} \quad (2)$$

Una vez obtenidos los valores previos se procede al cálculo de la Apertura requerida al 2% de Solución Madre ($Ap_{2\%}$) que permiten el paso de la dosis planteada:

$$Ap_{2\%} = 0.7012 * cS - 2 \quad (3)$$

Los valores de Caudal y Turbiedad son los valores entregados por los sensores. Para la ecuación de transferencia se trabajó $\frac{D}{Ap_{2\%}}$ obteniendo lo siguiente:

$$\frac{D}{Ap_{2\%}} = \frac{10.304 * \ln(T) - 8.8294}{(0.7012 * \frac{s * Q}{274.45}) - 2} \quad (4)$$

$$\frac{D}{Ap_{2\%}} = \frac{2827.93 * \ln(T) - 2423.23}{(0.7012 * Q * s) - 548.9} \quad (5)$$

Cálculo de PID para el paso de Sulfato de Aluminio al 2%

En el Anexo 13 se observan las líneas de programación aplicada para la obtención de los valores de D , $Ap_{2\%}$ con una Turbiedad de 20 NTU, y un Caudal de 120l/s, teniendo en cuenta que su función de transferencia (G) da como resultado:

$$D = 22.0386 \quad (6)$$

$$Ap2 = 4.7569 \quad (7)$$

$$G = \frac{6049}{84.14 * s - 548.9} \quad (8)$$

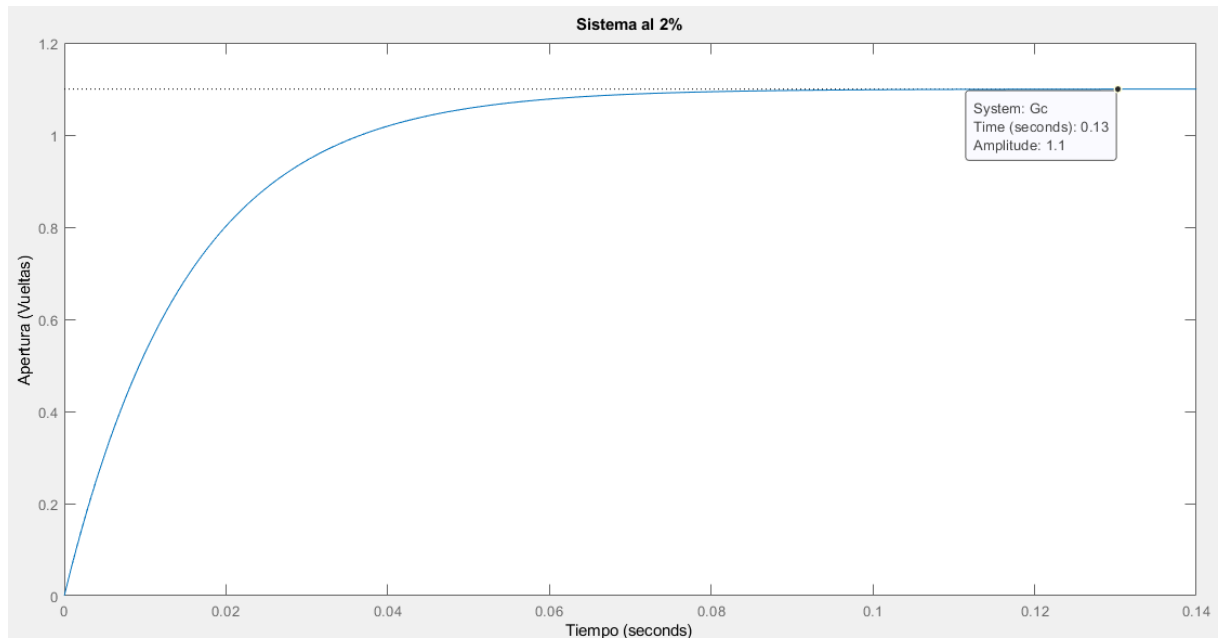


Figura 22: Respuesta al escalón del sistema al 2% sin controlar en lazo cerrado

Fuente: Autores (MATLAB)

Como se observa en la Figura 22 el sistema no se encuentra controlado por lo que se procede al cálculo del PID para el sistema, para esta parte del proceso se contó con la herramienta del PID controller proporcionado por Simulink en la Figura 23, obteniendo así los valores mostrados en la Tabla 16

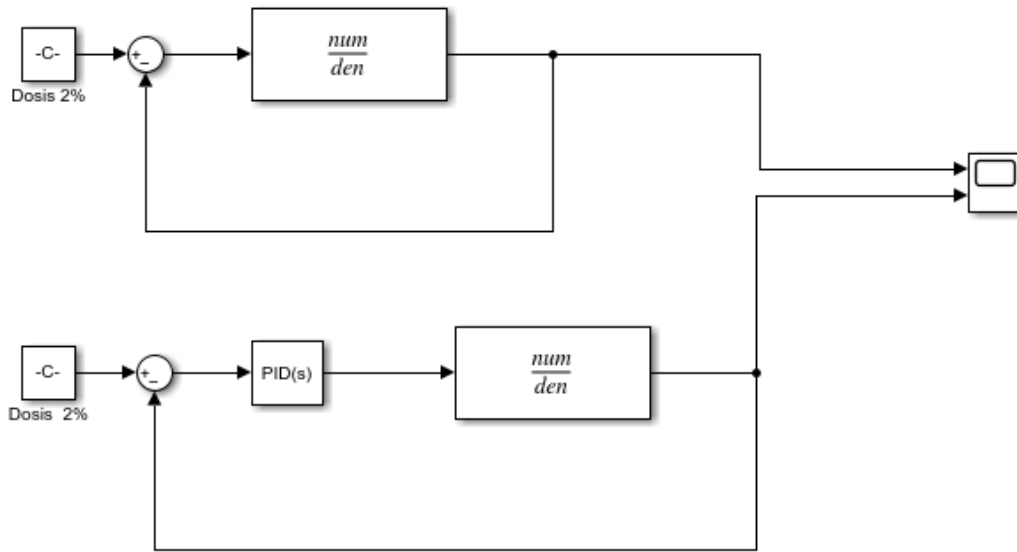


Figura 23: Diseño de lazo de control en Simulink al 2% de solución madre

Fuente: Autores (SIMULINK)

Tabla 16: Parámetros obtenidos mediante el PID controller par la Dosis al 2%

Parámetros	
P	0.461538455891674
I	2.27262056316508
D	0.00203487198059808
N	554.230033873363

Fuente: Autores

Aplicando el controlador PID al sistema se obtiene la siguiente función de transferencia para el 2% de Solución Madre ($G_1(s)$):

$$G_1(s) = \frac{1.547e6 * s^2 + 7.628e6 * s + 1.375e4}{4.664e4 * s^3 - 3.041e5 * s^2 - 548.9 * s} \quad (9)$$

La Ecuacion 9 plasma el control aplicado en el sistema obteniendo así un sobrepaso de 27.6% y un tiempo de asentamiento de 0.48 segundos. Lo que indica que la respuesta será casi inmediata y la dosis entraría dentro del rango requerido hasta llegar al punto de estabilidad.

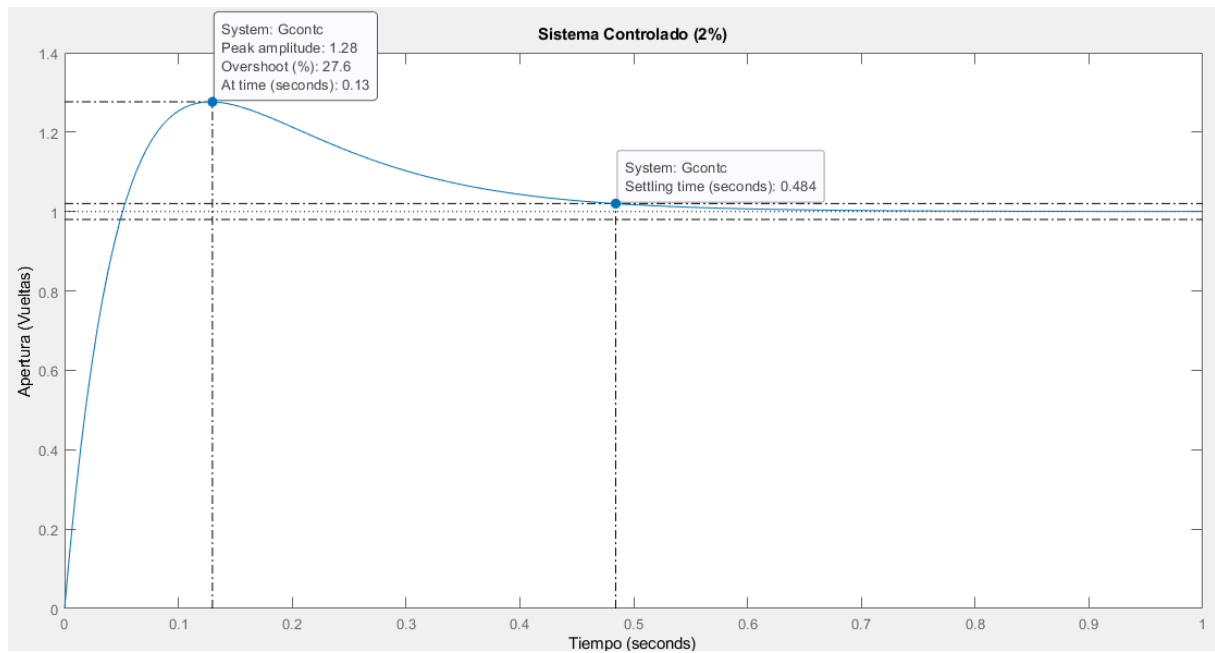


Figura 24: Respuesta al escalón del sistema al 2% controlado en lazo cerrado
Fuente: Autores (MATLAB)

Se puede observar en la Figura 24 la compensación del sistema al aplicar el PID.

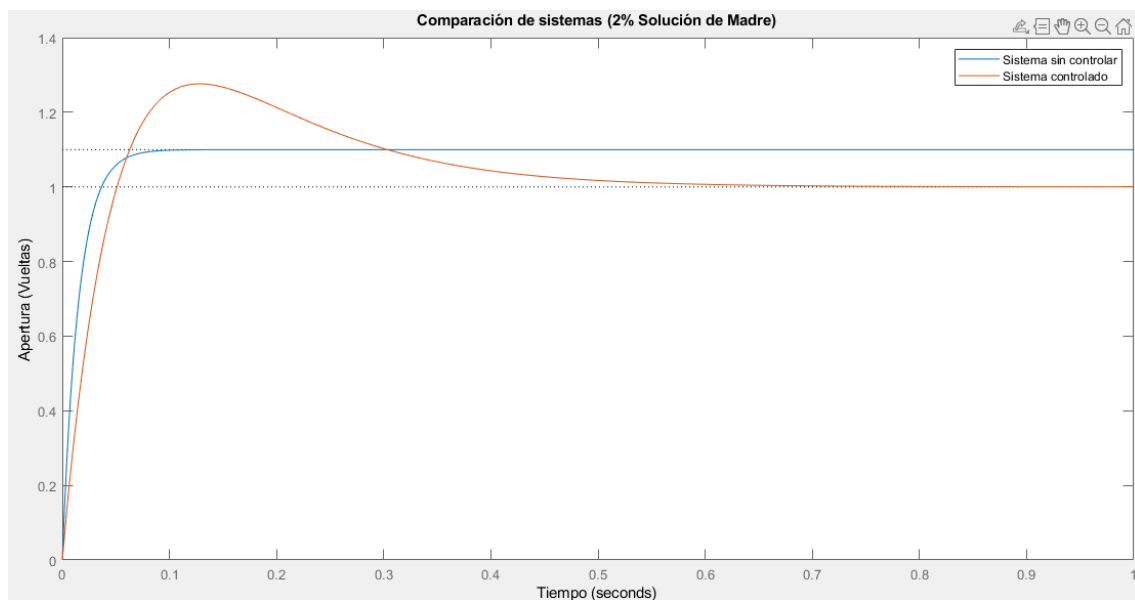


Figura 25: Comparación de los sistemas 2% sin controlar y controlado respecto a una entrada escalón.

Fuente: Autores (MATLAB)

8.4.1.2. Dosis de Sulfato de Aluminio al 3%

Las Ecuaciones 1 y 2 ayudan para el cálculo de la Apertura requerida al 3% de Solución Madre ($Ap_{3\%}$):

$$Ap_{3\%} = 0.7 * 0.7012 * cS - 2 \quad (10)$$

Por lo tanto, para la parte de la función de transferencia se obtiene:

$$\frac{D}{Ap_{3\%}} = \frac{10.304 * \ln(T) - 8.8294}{(0.7 * 0.7012 * \frac{s*Q}{274.45}) - 2} \quad (11)$$

$$\frac{D}{Ap_{3\%}} = \frac{2827.93 * \ln(T) - 2423.23}{(0.7 * 0.7012 * Q * s) - 548.9} \quad (12)$$

Cálculo de PID para el paso de Sulfato de Aluminio al 3%

Generando el código en Matlab (Anexo 14) con los valores iniciales de caudal de 120 l/s y la turbiedad de 20 NTU se observan los siguientes valores de Dosis (D), Apertura para el 3% de solución ($Ap3$) y Función de Transferencia para el 3% de Sulfato de Aluminio ($G2$):

$$D = 22.0386 \quad (13)$$

$$Ap3 = 2.7298 \quad (14)$$

$$G2 = \frac{6049}{58.9 * s - 548.9} \quad (15)$$

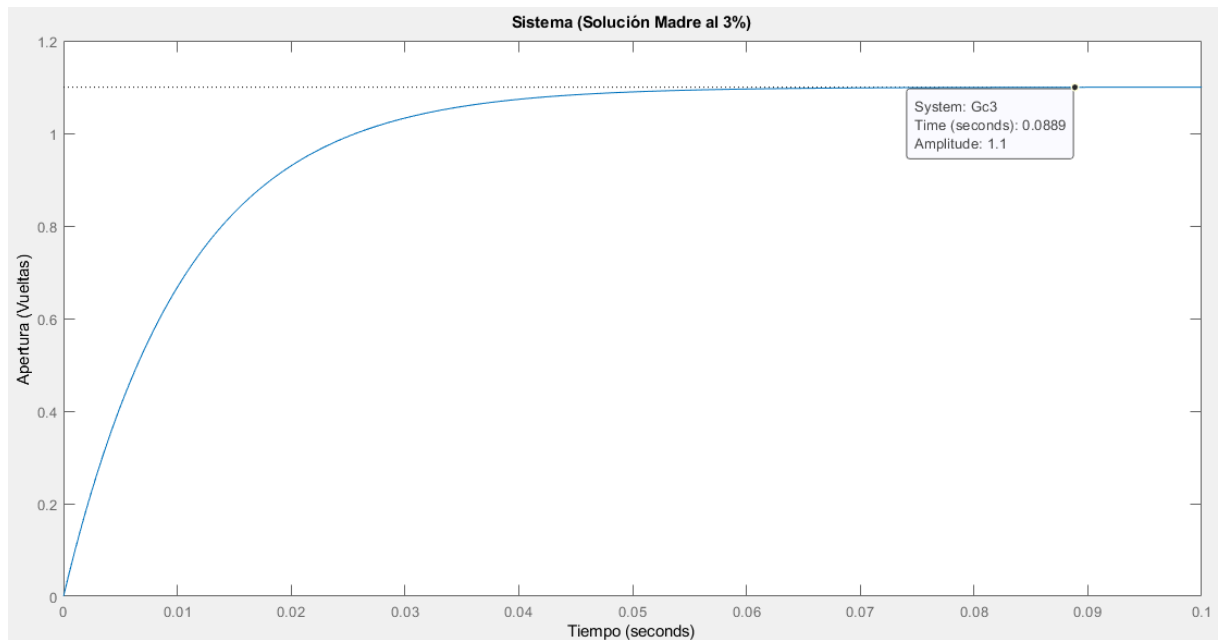


Figura 26: Respuesta al escalón del sistema sin controlar al 3% de dosisen lazo cerrado
Fuente: Autores (MATLAB)

Como se observa en la Figura 26 el sistema requiere de un controlador PID para su estabilidad, mediante el uso del bloque PID controller de Simulink (27) se obtiene los valores de la Tabla 17, los que permiten el control del sistema.

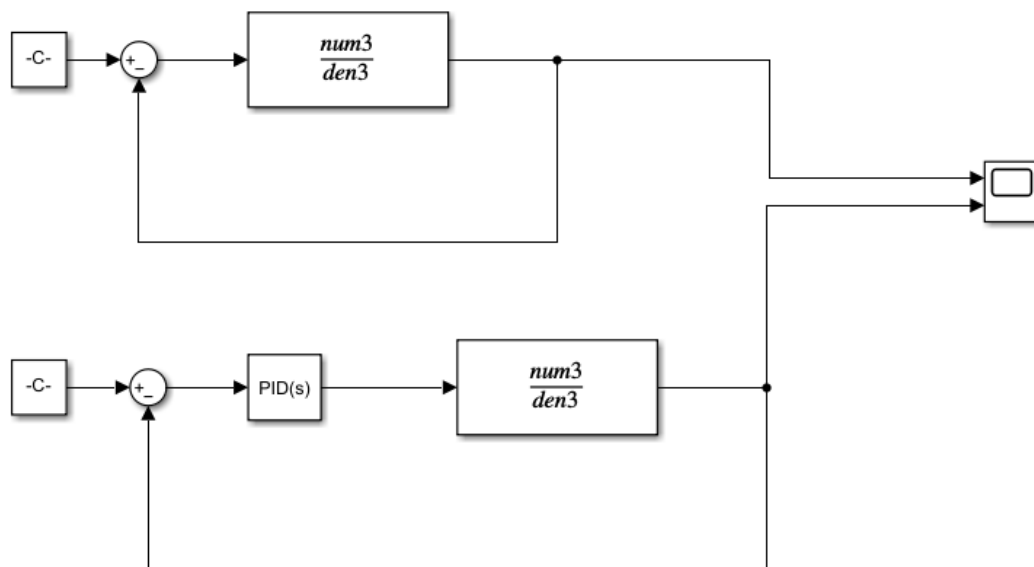


Figura 27: Diseño de lazo de control en Simulink al 3% de solución madre
Fuente: Autores (SIMULINK)

Tabla 17: Parámetros obtenidos mediante el PID controller para la Dosis al 3%

Parámetros	
P	0.528937817809109
I	3.90604504738663
D	0.00159781137452405
N	831.73447232774

Fuente: Autores

La función de transferencia obtenida para el 3% de Solución Madre ($G_2(s)$), al incluir el PID, expresa la ecuación que se observa a continuación:

$$G_2(s) = \frac{2.661e6 * s^2 + 1.966e7 * s + 2.363e4}{4.889e4 * s^3 - 4.565e5 * s^2 - 548.9 * s} \quad (16)$$

La Ecuación 16 plasma el control aplicado en el sistema obteniendo así un sobrepaso de 24% y un tiempo de asentamiento de 0.32 segundos.

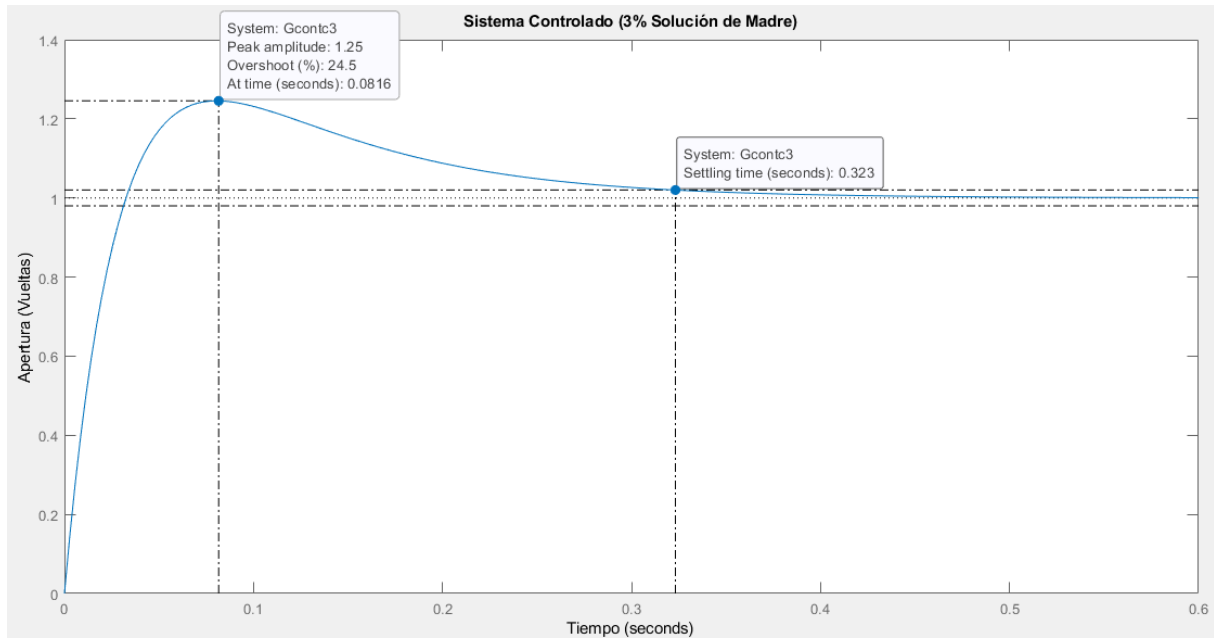


Figura 28: Respuesta al escalón del sistema al 3% controlado en lazo cerrado

Fuente: Autores (MATLAB)

A continuación, se muestra la comparativa entre el sistema controlado y el sistema sin controlar,

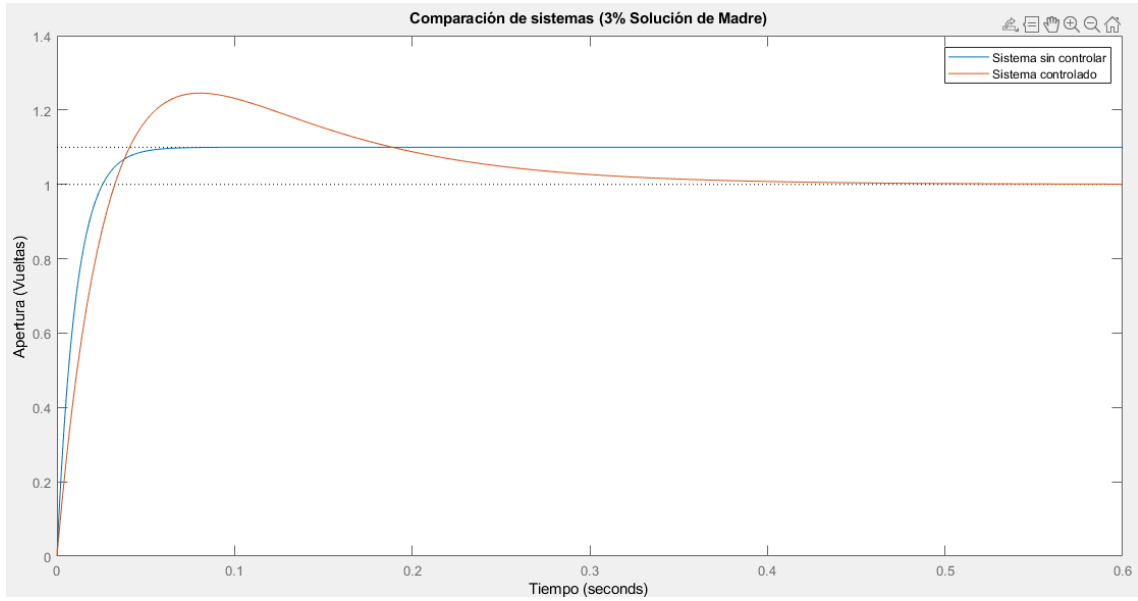


Figura 29: Comparación de los sistemas al 3% sin controlar y controlado respecto a una entrada escalón.

Fuente: Autores (MATLAB)

8.4.1.3. Dosis de Sulfato de Aluminio al 4%

Respecto a los cálculos, las fórmulas son semejantes a los casos anteriores puesto que, para el cálculo de la dosis se ocupan las Ecuaciones 1 y 2; el cálculo para la Apertura necesaria al 4% de Solución Madre ($Ap_{4\%}$) se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$Ap_{4\%} = 0.7 * 0.7012 * cS - 2 \quad (17)$$

Como resultado de lo mencionado previamente se obtiene la siguiente función de transferencia:

$$\frac{D}{Ap_{3\%}} = \frac{10.304 * \ln(T) - 8.8294}{(0.6 * 0.7012 * \frac{s * Q}{274.45}) - 2} \quad (18)$$

$$\frac{D}{Ap_{4\%}} = \frac{2827.93 * \ln(T) - 2423.23}{(0.6 * 0.7012 * Q * s) - 548.9} \quad (19)$$

Cálculo de PID para el paso de Sulfato de Aluminio al 4%

Mediante el uso del código de Matlab del Anexo 15 se obtienen los valores de referencia conjuntamente con la función de transferencia contando con los valores de entrada de caudal

de 120 l/s y de turbiedad de 20 NTU, determinando los valores de Dosis (D), Apertura al 4% de Dosis y la Función de Transferencia para Sulfato de Aluminio al 4% (G_4).

$$D = 22.0386 \quad (20)$$

$$Ap_4 = 2.0541 \quad (21)$$

$$G_3 = \frac{6049}{50.49 * s - 548.9} \quad (22)$$

La Figura 30 plasma la respuesta al escalón del sistema sin controlar.

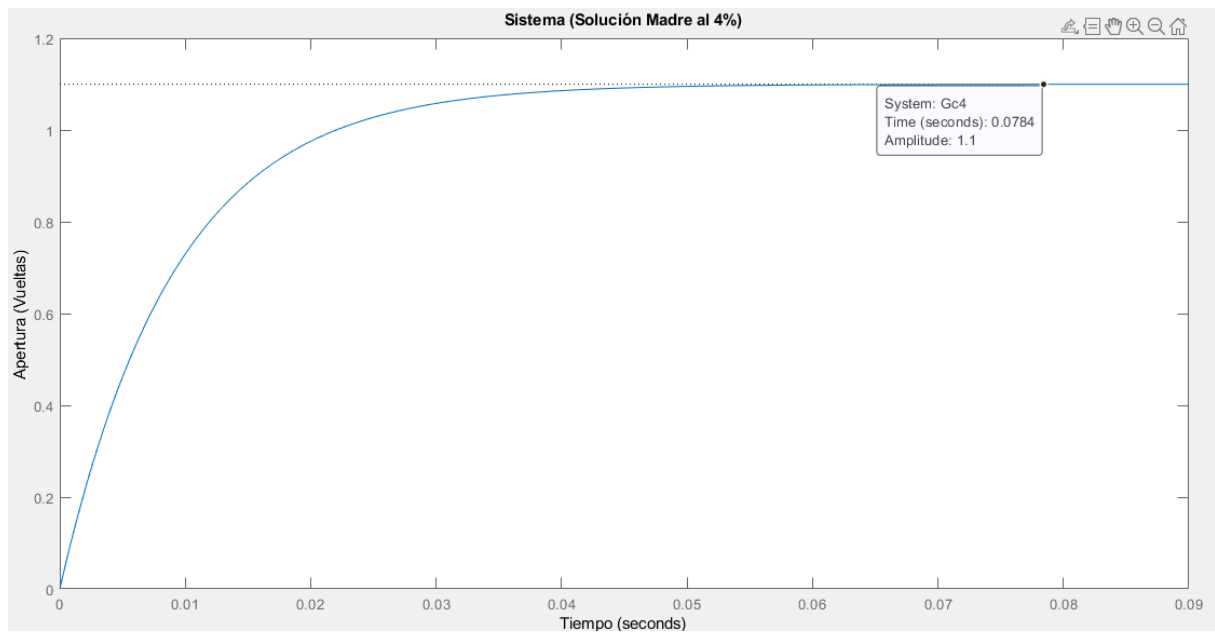


Figura 30: Respuesta al escalón del sistema sin controlar al 4% de dosis en lazo cerrado

Fuente: Autores (MATLAB)

Una vez planteado el sistema sin controlar se procede al cálculo de los valores para el PID, los cuales se expresan en la Tabla 18 como resultado del uso del bloque del PID controller de la Figura 31.

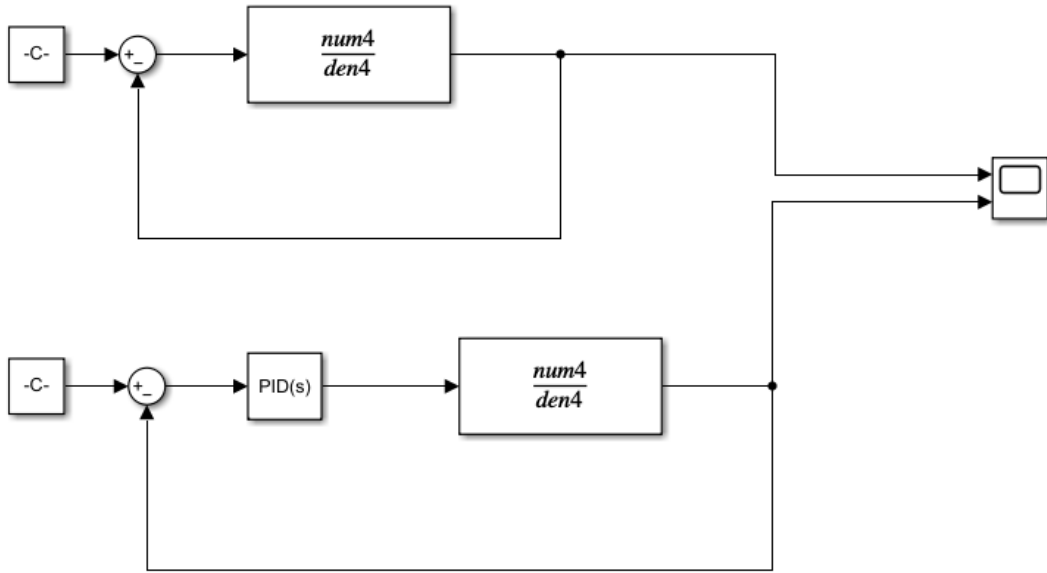


Figura 31: Diseño de lazo de control en Simulink al 4% de solución madre
Fuente: Autores (SIMULINK)

Tabla 18: Parámetros obtenidos mediante el PID controller para la Dosis al 4%

Parámetros	
P	0.528937817809109
I	4.5570525552844
D	0.0013695526067349
N	970.356884382364

Fuente: Autores

Se procede a incluir el PID al sistema inicial obteniendo así la función de transferencia para el 4% de Solución Madre ($G_3(s)$) que se puede apreciar por la ecuación a continuación:

$$G_3(s) = \frac{3.1046 * s^2 + 2.676e7 * s + 2.756e4}{4.899e4 * s^3 - 5.326e5 * s^2 - 548.9 * s} \quad (23)$$

Como resultado de la implementación del PID al sistema se tiene la Ecuación 23 la que muestra el sistema en lazo cerrado comprobando así la estabilidad del sistema y contando con los valores de un sobrepaso del 24.5% y un tiempo de asentamiento de 0.27 segundos.

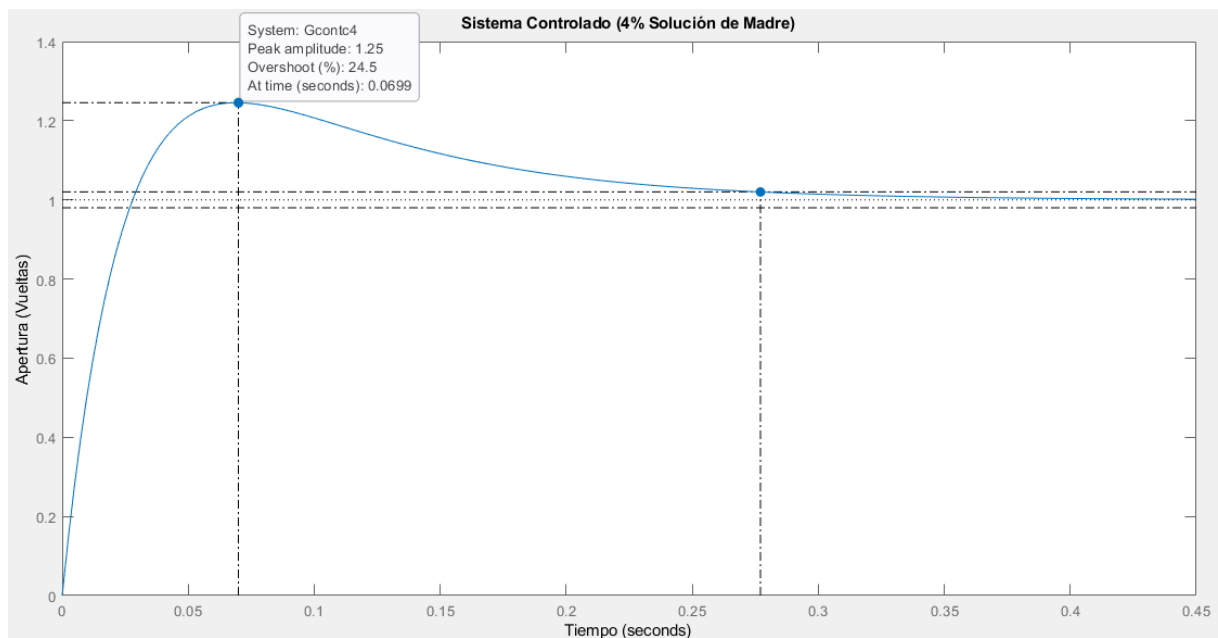


Figura 32: Respuesta al escalón del sistema al 4% controlado en lazo cerrado

Fuente: Autores (MATLAB)

Como se ha realizado en los casos previos se procede a la comparación del sistema compensado y el sistema sin compensar para poder observar su diferencia respecto a la estabilidad.

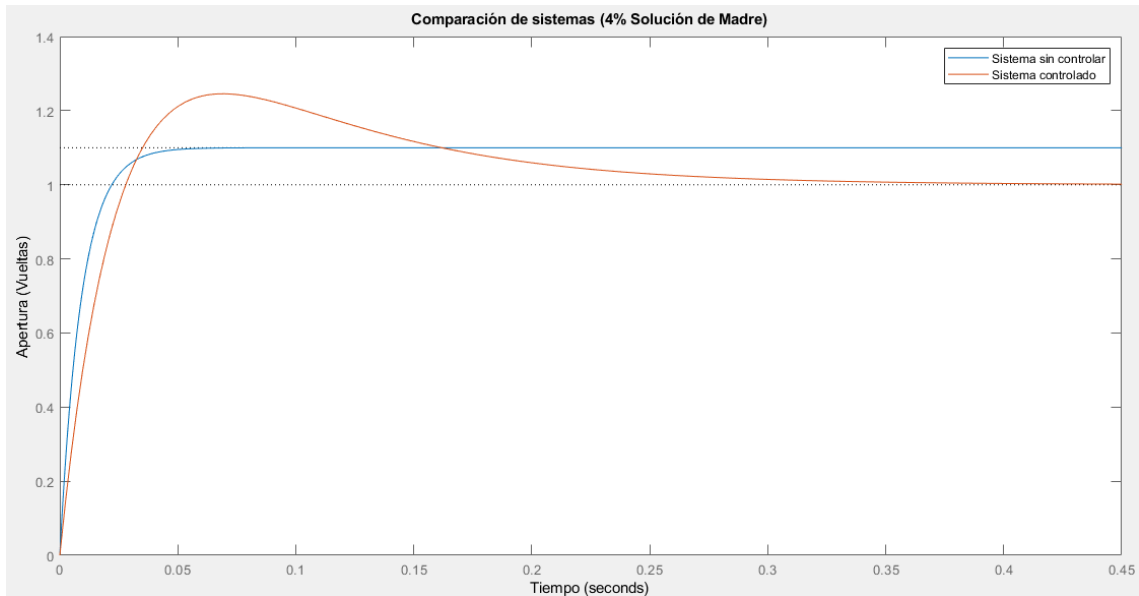


Figura 33: Comparación de los sistemas al 4% sin controlar y controlado respecto a una entrada escalón.

Fuente: Autores (MATLAB)

8.4.2. Diseño del Control del Proceso en Labview

Con los valores obtenidos, se establece el diseño mediante el uso de Labview, en el cual se observa la programación respectiva para cada uno de los porcentajes de la solución madre.

8.4.2.1. Programación en Labview para Dosificación al 2% de Solución Madre

En la Figura 34 se observa la programación en LabView realizada para el control de la dosificación del Sulfato de Aluminio al 2%, considerando que los valores de Caudal y Turbiedad son fundamentales para realizar dicha acción. Con los valores variables de la Turbiedad se determina la dosis de referencia, de acuerdo a este valor y conociendo el valor variable del Caudal, se calcula la apertura de la Válvula.

Para una visualización en tiempo real del control PID se observa en la Figura 35 la implementación del Sistema Controlado para verificar el cumplimiento de estabilidad del sistema al someterse a variaciones de los parámetros de Entrada respecto a la dosis al 2% de Solución Madre.

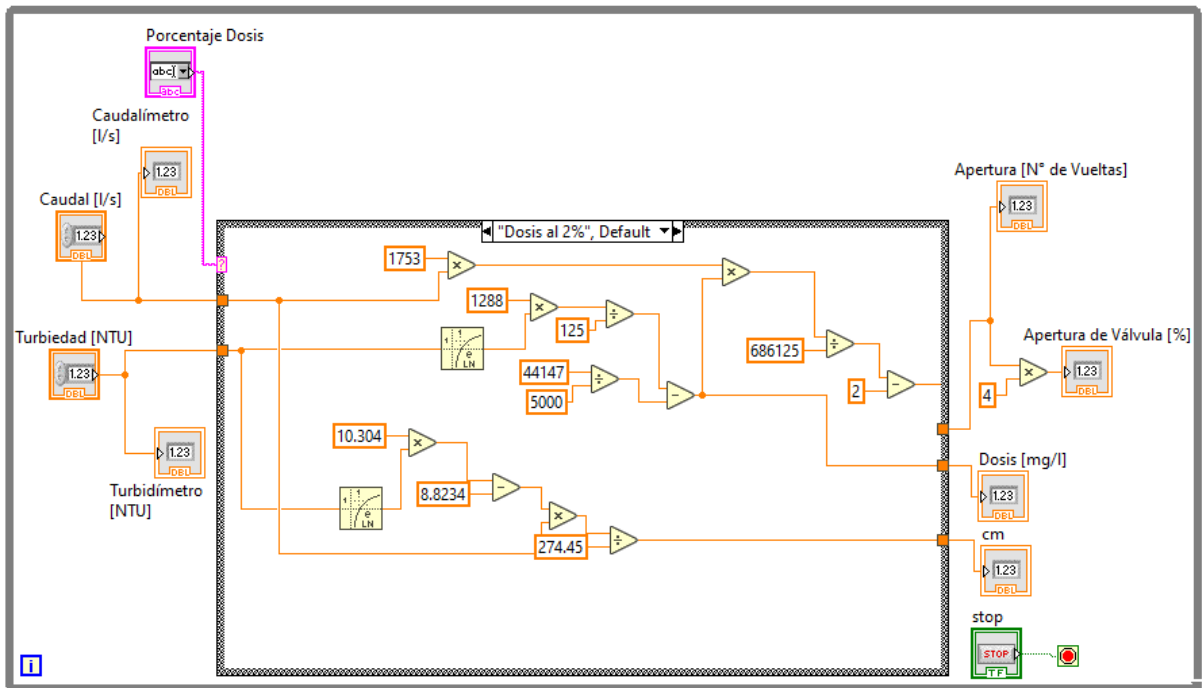


Figura 34: Programación del Sistema de Control al 2%

Fuente: Autores (LABVIEW)

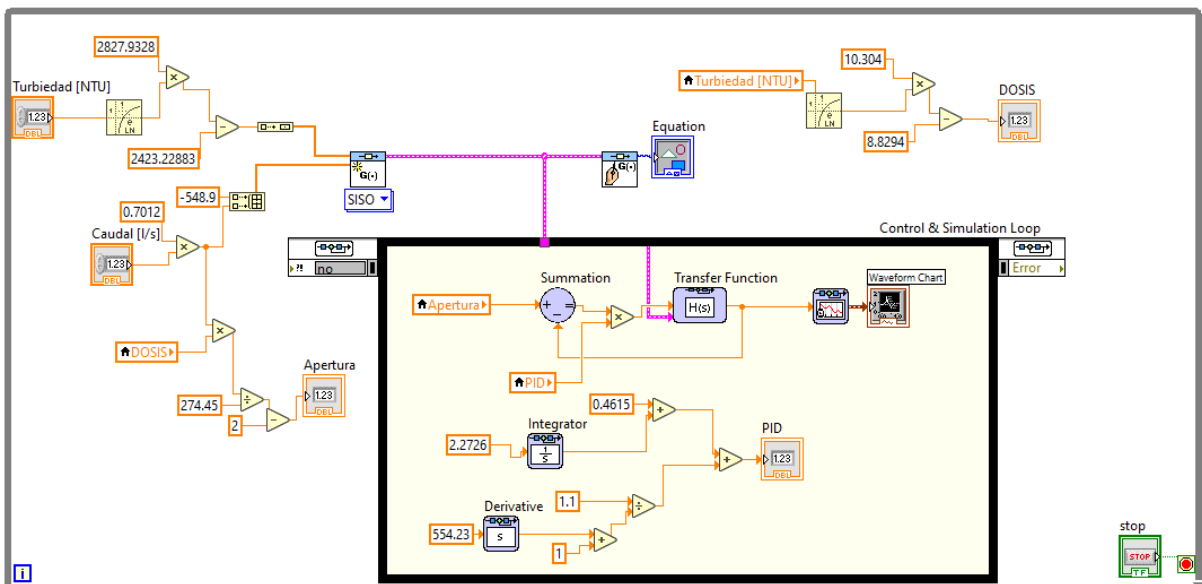


Figura 35: Programación del Sistema de Estabilización al 2%

Fuente: Autores (LABVIEW)

8.4.2.2. Programación en Labview para Dosificación al 3% de Solución Madre

En la Figura 36 se observa la programación en LabView para el control de la apertura de la electroválvula que realiza la dosificación al 3% de la solución madre, de igual manera considerando los valores variables de la Turbiedad y Caudal, teniendo en cuenta que la programación tiene una variante en la sección de la ecuación de la dosis, debido al porcentaje de solución madre con la que se trabaja.

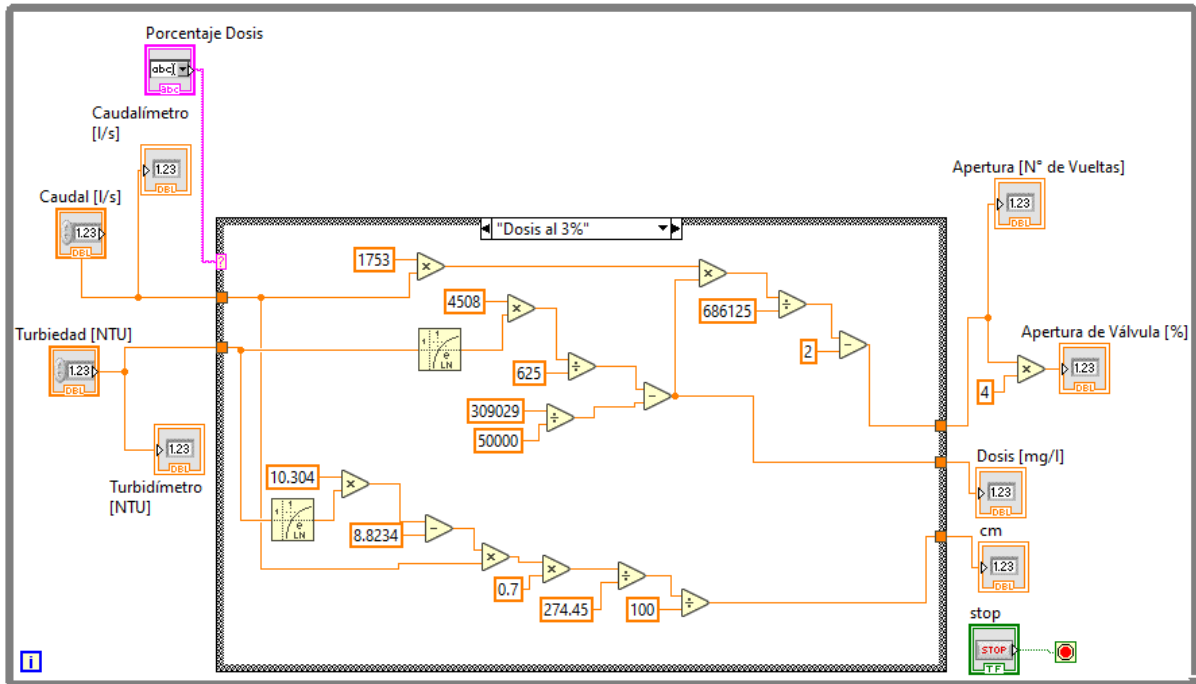


Figura 36: Programación del Sistema de Control al 3%

Fuente: Autores (LABVIEW)

Respecto al control para sistema de la solución madre al 3%, la variación se realiza en los parámetros del PID, viéndose reflejado lo mencionado en la Figura 37.

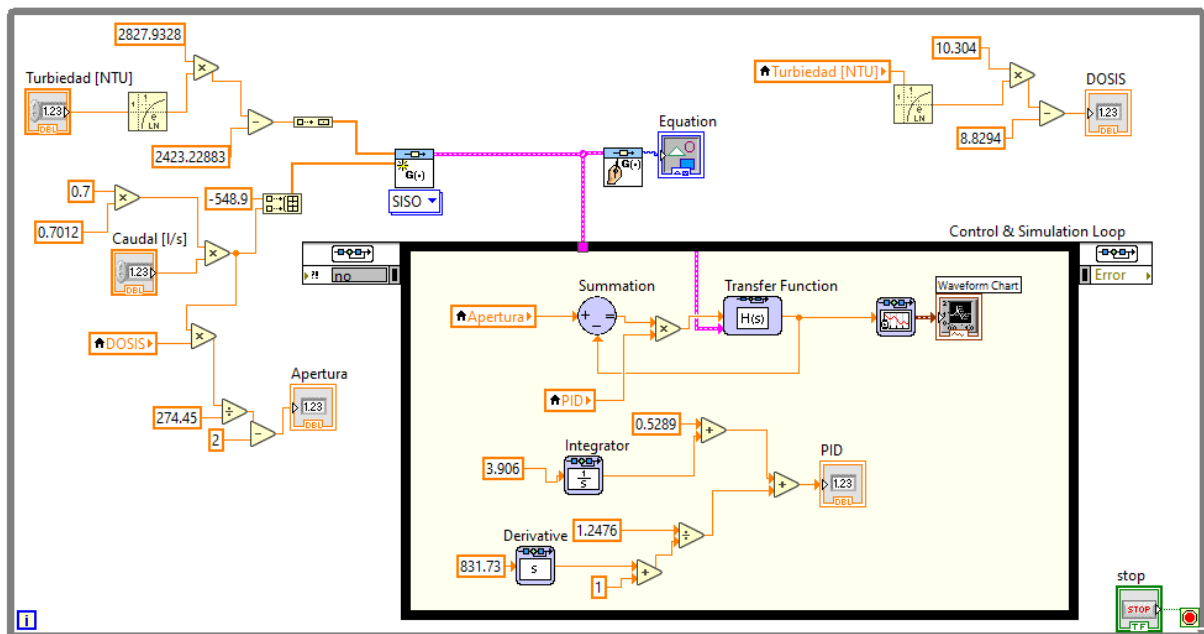


Figura 37: Programación del Sistema de Estabilización al 3%
Fuente: Autores (LABVIEW)

8.4.2.3. Programación en Labview para Dosificación al 4% de Solución Madre

Respecto a la funcionalidad del proceso de dosificación, al trabajar al 4% de la solución madre, la Figura 38 indica la programación para la apertura de la electroválvula de acuerdo a los valores variables del caudal y la turbiedad, teniendo en cuenta el cambio de la ecuación en la obtención de la dosis.

La Figura 39 indica la programación para el control del sistema al 4% de solución, teniendo en cuenta el cambio de los valores de las ganancias del PID.

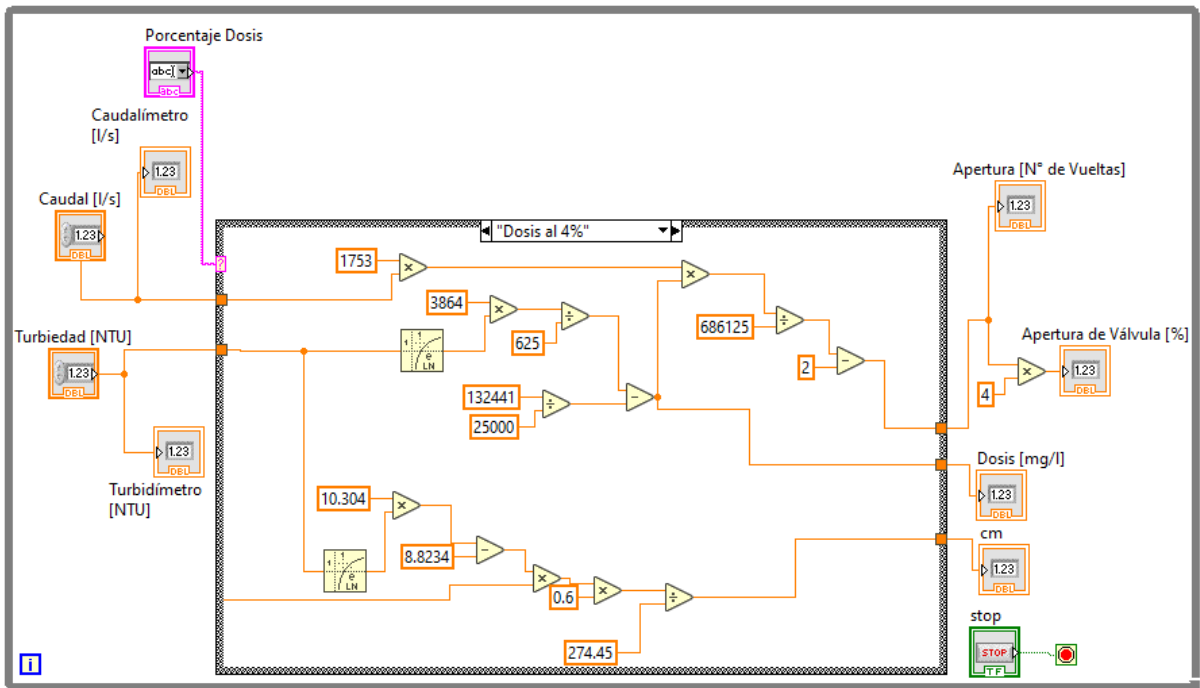


Figura 38: Programación del Sistema de Control al 4%
Fuente: Autores (LABVIEW)

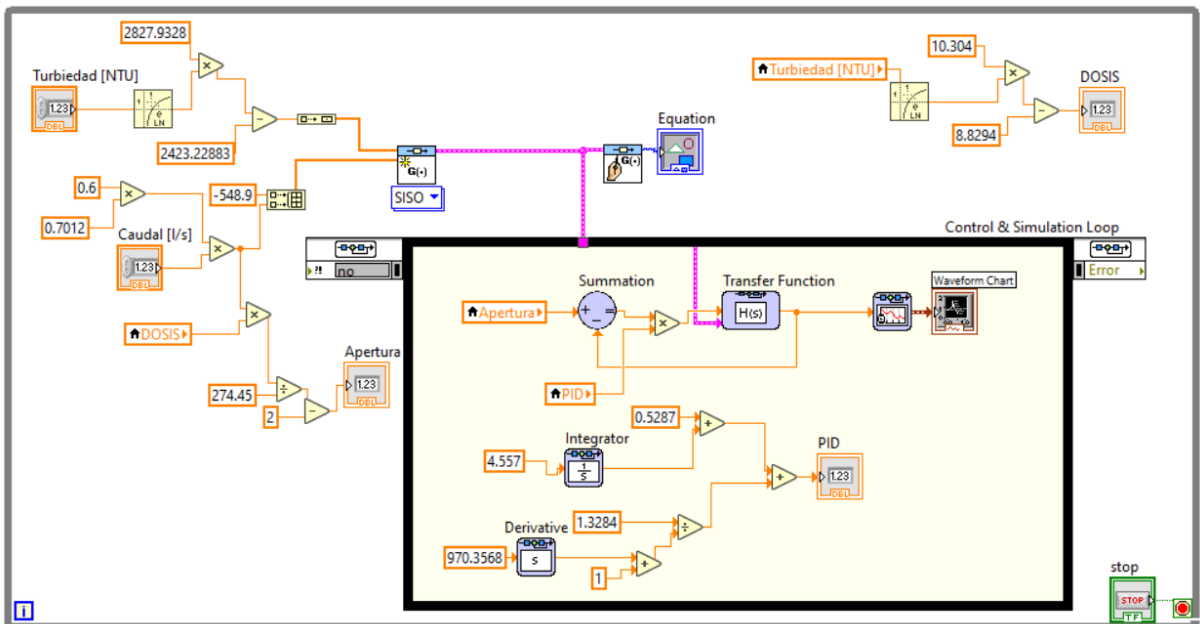


Figura 39: Programación del Sistema de Estabilización al 4%
Fuente: Autores (LABVIEW)

8.4.2.4. Programación en Labview para Apertura de Electroválvulas ON/OFF

Para indicar la apertura de las válvulas ON/OFF, se realiza la programación de la Figuras 40 y 40, en las que se puede observar que al tener activo una de las 2 electroválvulas, la otra no entrará en funcionamiento. El operario puede cambiar de una válvula a la otra. Para saber que momento se realiza esta acción se establece una alarma que indique que el nivel del tanque con el que se está trabajando es menor a los 20 cm, dando tiempo a que se puede establecer el cambio de tanque para continuar con el proceso de dosificación.

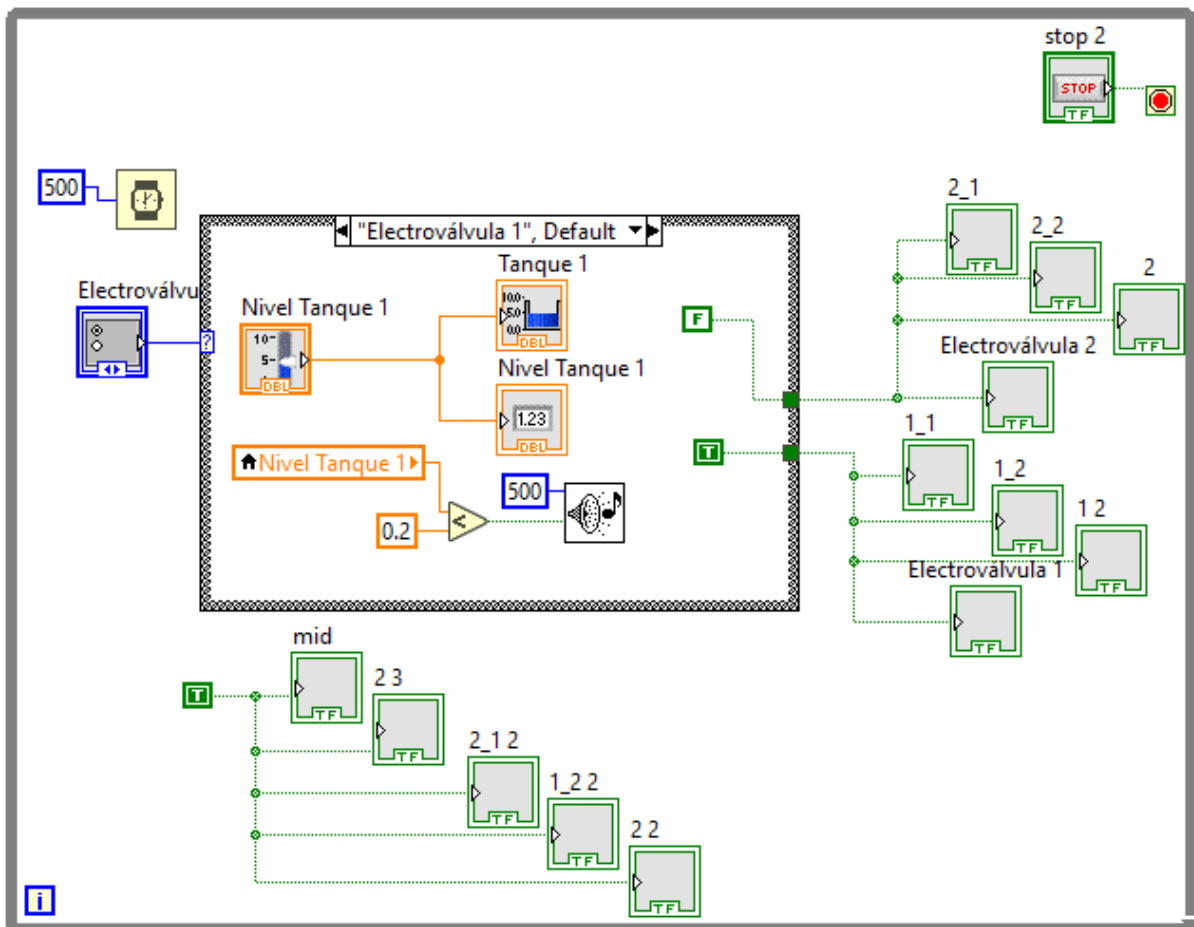


Figura 40: Programación para apertura de Válvula 1 y su Sistema de Alarma

Fuente: Autores (LABVIEW)

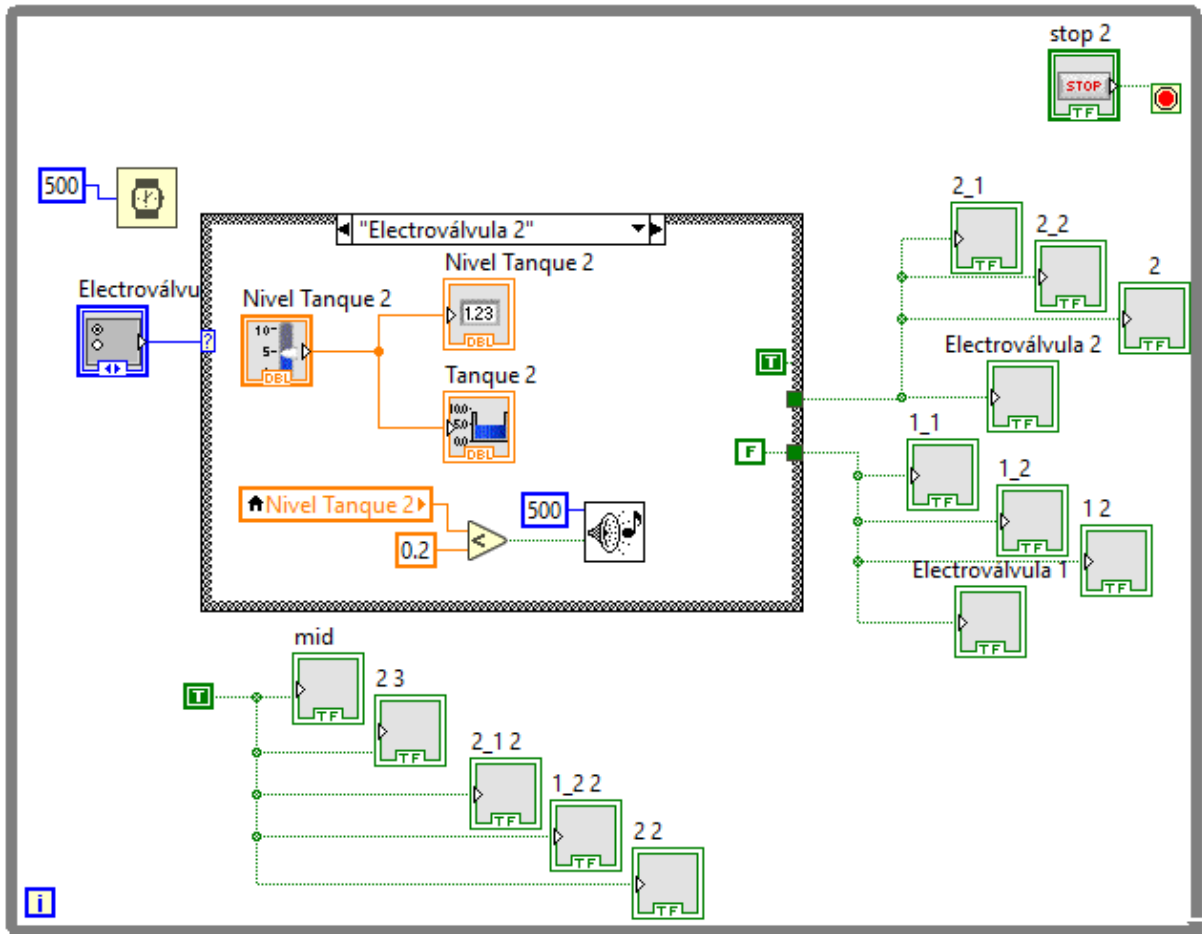


Figura 41: Programación para apertura de Válvula 2 y Sistema de Alarma

Fuente: Autores (LABVIEW)

8.5. Simulación del Sistema de Control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la Planta de Tratamiento de Mahuarcay (EMAPAL-EP)

La simulación del sistema consta del panel de control en el cual se observan los sensores de caudal y turbiedad, así como también los 2 sensores de nivel para los Tanques 1 y 2; se puede apreciar el menú de selección para el porcentaje de Sulfato de Aluminio que genera la apertura de la electroválvula, y la selección de activación de paso del químico del Tanque 1 o Tanque 2. Además de un botón Stop que detiene todo el programa. Todo esto se evidencia en la figura 42

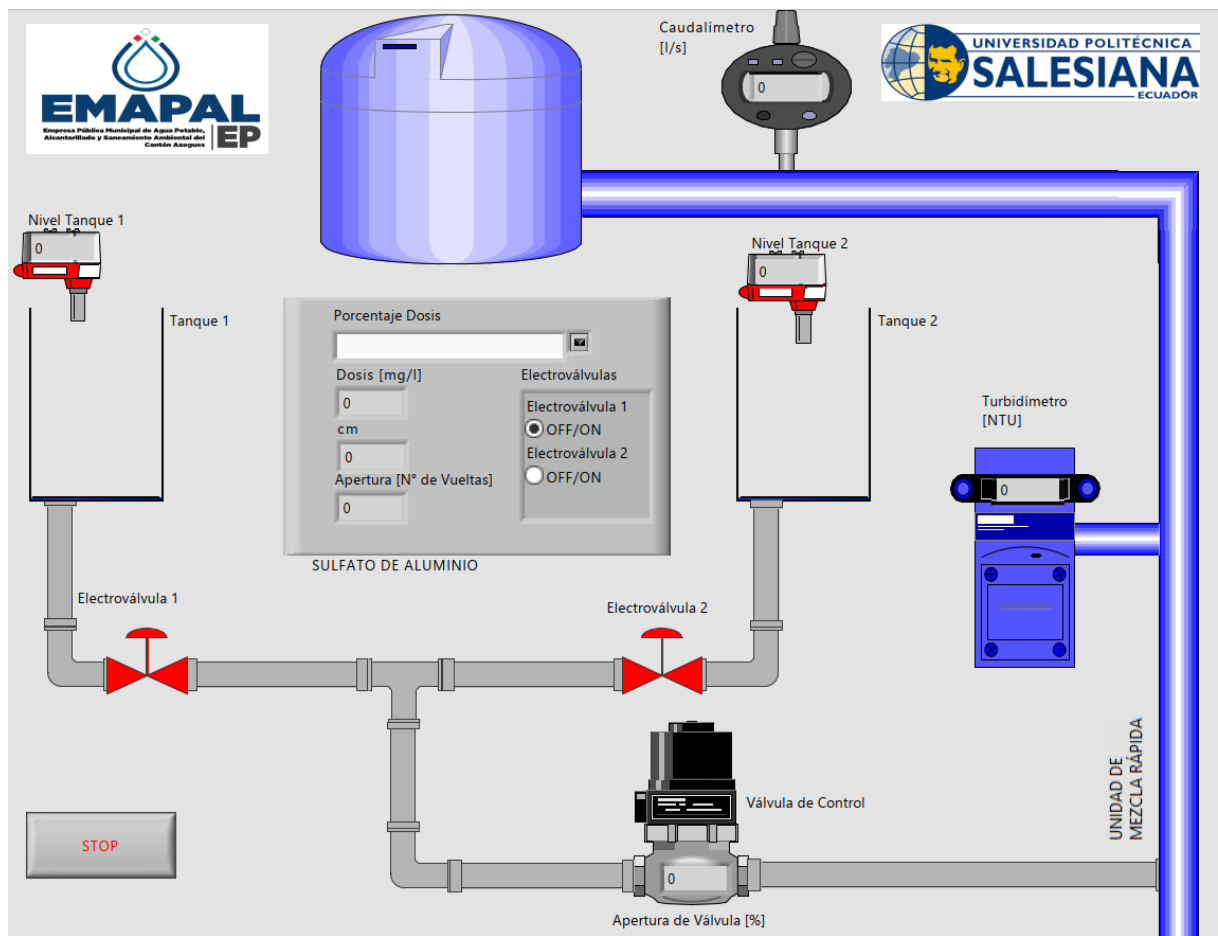


Figura 42: Visualización del Panel de Control
 Fuente: Autores (LABVIEW)

9. Resultados

A continuación, para ayudar a validar el cumplimiento de los objetivos planteados se exponen los resultados del presente proyecto, mismos que se encuentran divididos en 4 secciones, tal como se observa a continuación:

9.1. Parámetros establecidos para el diseño y variables controlables para la dosificación de Sulfato de Aluminio

Durante el desarrollo del presente trabajo, se conoció del proceso de Tratamiento del Agua en la Planta de Mahuarcay; para poder realizar la dosificación adecuada del Sulfato de Aluminio se requirió medir los valores de Caudal y Turbiedad en el ingreso del agua cruda. Estos valores fueron tratados para obtener la apertura correcta del sistema que da paso a la dosis hacia la flauta en la unidad de mezcla rápida. Además se conoció que las tuberías que permiten el paso de la dosis desde los tanques hasta la flauta tienen una dimensión de 2 pulgadas. Este valor es indispensable para la selección de las válvulas con las que se realizaría una futura implementación de la automatización.

9.2. Planteamiento del sistema de adquisición de datos de Caudal y Turbiedad para la dosificación de Sulfato de Aluminio

Para la adquisición de datos se planteó la utilización del Caudalímetro con el que cuenta la empresa, a más del empleo del Sensor de Turbiedad, esto ayudará a evitar que la medición de esta variable se continúe realizando de manera externa. Con los datos adquiridos por los sensores antes mencionados, se planteó el uso de la válvula de asiento inclinado 2/2 vías con accionamiento neumático de la Figura 18, la que cumple la función de dosificador ya que cubre las especificaciones requeridas con las que la planta trabaja al momento. Para realizar el accionamiento de esta válvula se sugiere la utilización del Regulador de Posición de la Figura 21 misma que se adaptará para su control.

Al verificar que se trabaja con 2 tanques que permiten el paso de la dosis hacia la válvula de control, se planteó 2 válvulas de asiento de 3/2 vías con accionamiento neumático, una para cada tanque, el paso de uno de los tanques se realizaría hasta que quede a 20 cm de vaciarse, en ese instante el sistema emitiría una alarma, por lo que el operario deberá realizar el cambio al otro tanque para continuar con el proceso. Para medir la altura de la dosis en los tanques se planteó utilizar los sensores de Nivel con la que cuenta la planta.

9.3. Diseño del sistema de control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio

Una vez especificado los elementos para adquirir los datos, el diseño del sistema de control permitió comprender la funcionabilidad del proyecto mediante un software con el cual se estableció el control del dosificador de manera autónoma como se observan en la sección 8.4.2, mismo que consideró las ecuaciones obtenidas para especificar el químico adecuado que debe ser ingresado hacia la Unidad de Mezcla Rápida. De esta manera se lograría reducir el tiempo de respuesta que actualmente se realiza en un lapso de 10 minutos, evitando que las impurezas con las que llega el agua cruda reduzcan la calidad del agua.

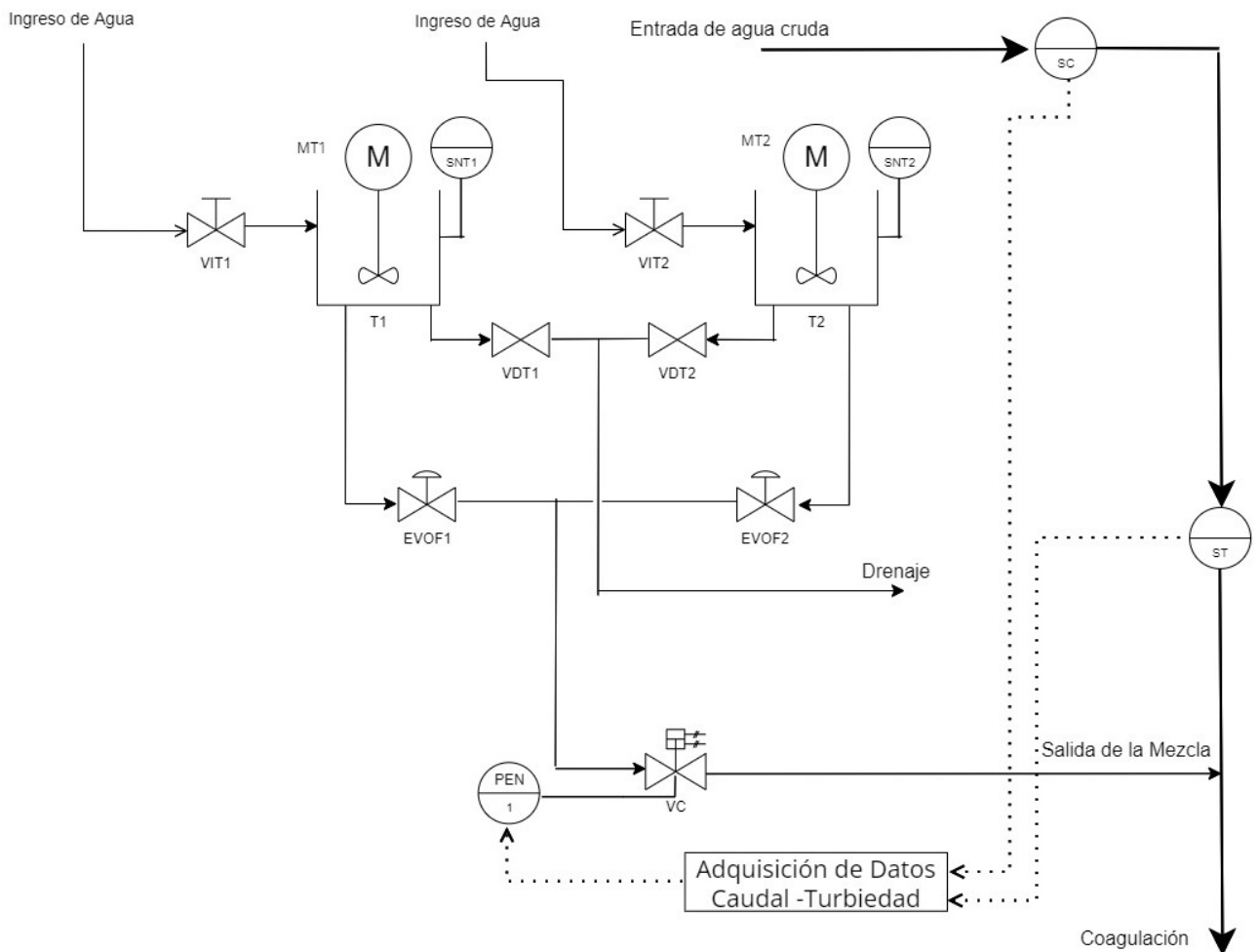


Figura 43: Diagrama de Instrumentación del Sistema Planteado
Fuente: Autores (LABVIEW)

La Tabla 19 expresa la nomenclatura empleada en el diagrama de la Figura 43

Tabla 19: Detalle de elementos del Diagrama de Instrumentación

Tanques	Descripción	Valores Posibles		
T1	Tanque de Sulfato 1	Vacío	Medio	Lleno
T2	Tanque de Sulfato 2	Vacío	Medio	Lleno
Actuadores	Descripción	Valores Posibles		
VIT1	Válvula de Ingreso de Agua del Tanque 1	Abierto	Cerrado	
MT1	Motor del Tanque 1	Encendido	Apagado	
VDT1	Válvula de desfogue del Tanque1	Abierto	Cerrado	
EVOF1	Electroválvula ON/OFF 1	Abierto	Cerrado	
PEN	Posicionador Electro-Neumático	Bajo	Medio	Alto
VIT2	Válvula de Ingreso de Agua del Tanque 2	Abierto	Cerrado	
MT2	Motor del Tanque 2	Encendido	Apagado	
VDT2	Válvula de desfogue del Tanque 2	Abierto	Cerrado	
EVOF2	Electroválvula ON/OFF 2	Abierto	Cerrado	
Sensores	Descripción	Valores Posibles		
SC	Caudalímetro	Bajo	Medio	Alto
ST	Sensor de Turbiedad	Bajo	Medio	Alto
SNT1	Sensor de Nivel del Tanque 1	Vacío	Medio	Lleno
SNT2	Sensor de Nivel del Tanque 2	Vacío	Medio	Lleno

Fuente: Autores

La distribución de los elementos en el entorno de trabajo queda representado mediante la Figura 43 en la que se muestra el Diagrama de Instrumentación realizado para el proceso de Dosificación, en el mismo se puede observar que VIT1, VIT2, VDT1, VDT2 se mantienen con accionamiento manual, debido al proceso que se debe seguir para poder realizar el llenado o vaciado del tanque. En la etapa del llenado de tanque se realiza la mezcla del porcentaje de la dosis con el agua y en el momento del vaciado, se realiza una limpieza previa para poder volver a llenarlo; por tal motivo estas etapas no están consideradas en el diseño.

En el diagrama presentado, se plantea el funcionamiento del proceso automático, tomando en cuenta que los valores del Caudal y Turbiedad son adquiridos y procesados para realizar el control respectivo de la válvula de control, permitiendo el paso de la dosis hacia la salida en la Unidad de Mezcla Rápida. La solución de Sulfato de Aluminio se prepara en T1 Y T2, misma que es distribuida hacia VC, se toma en cuenta que para el paso de la dosis se trabaja con uno de los tanques, hasta que su contenido llega a bajo nivel, al cumplir este acontecimiento

se procede a trabajar con el otro tanque, manteniendo el proceso.

9.4. Resultados de la simulación del sistema de control para la Dosificación de Sulfato de Aluminio

Para la comprobación de resultados, se trabajó con distintos software, como son Matlab y Labview, mismos que permitieron corroborar los valores calculados con los valores tabulados en los Anexos 1 y 2 para garantizar la correcta funcionalidad del dosificador.

Tabla 20: Tabla comparativa de Dosis y Número de vueltas de acuerdo al porcentaje de Solución Madre

% de Dosis	Caudal	Turbiedad	Dosis Calculada	Apertura Calculada	Dosis Tabulada	Apertura Tabulada
2	100	20	22.04	3.63	22	3.5
2	100	30	26.22	4.69	26	4.5
2	110	40	29.18	6.20	28.8	6
2	110	50	31.48	6.84	31.5	6.75
3	80	20	15.43	1.15	15.4	1.25
3	80	50	22.04	2.5	22.05	2.5
3	60	40	20.43	1.13	20.16	1.25
3	60	100	27.04	2.14	26.95	2
4	70	30	15.73	0.81	15.6	0.75
4	70	150	25.68	2.59	25.2	2.6
4	120	180	26.81	6.21	26.4	6
4	120	200	27.46	6.42	27.6	6.5

Fuente: Autores

En la Tabla 20 se observa la comparación de los valores calculados y simulados respecto a los valores extraídos de manera empírica, comprobando un correcto funcionamiento de la simulación del sistema planteado.

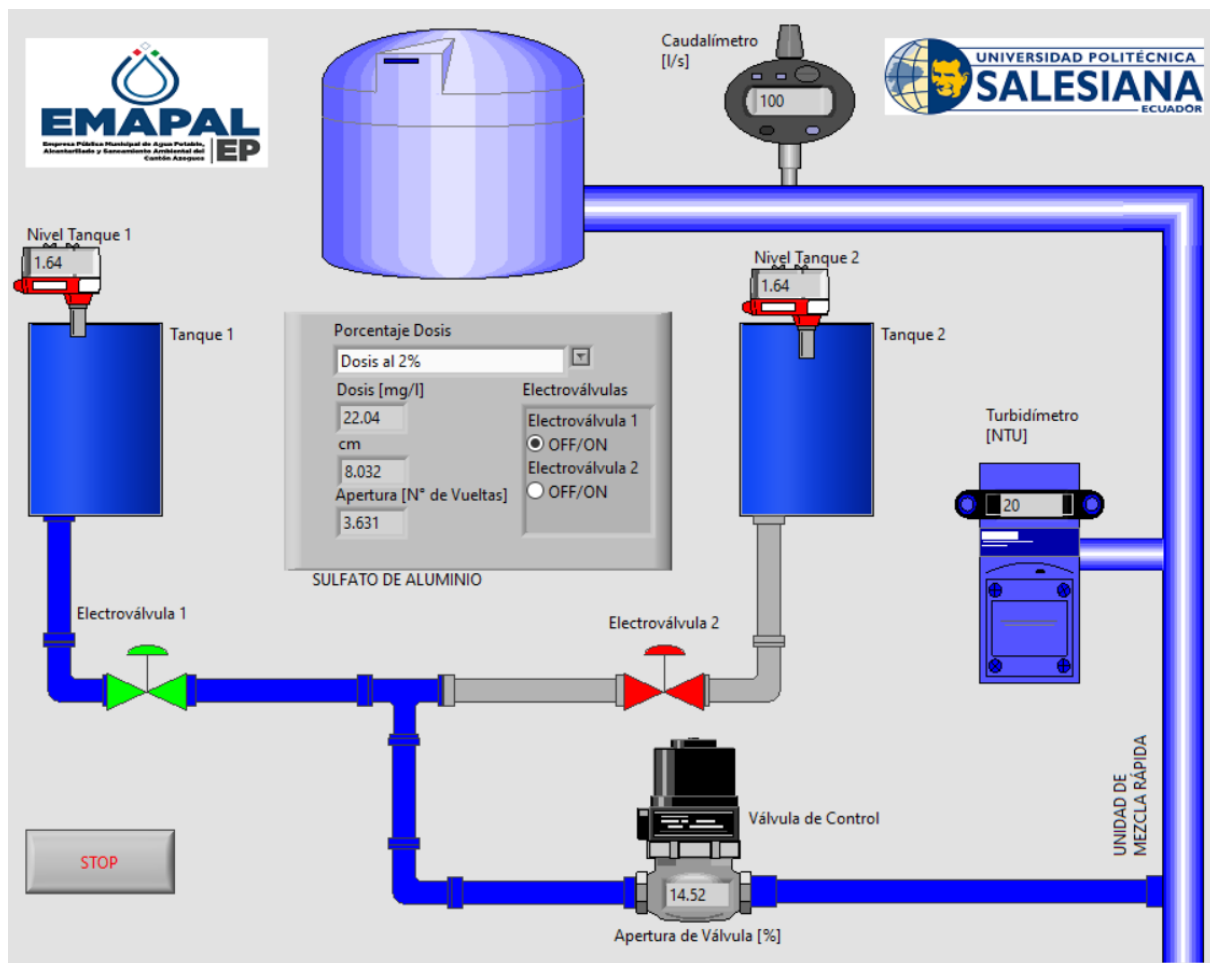


Figura 44: Simulación del control al 2% y apertura de Tanque 1

Fuente: Autores (LABVIEW)

En la Figura 44 se observa la simulación para un caudal de 100 l/s, turbiedad de 10 NTU para la dosis al 2% de la solución madre. Además se observa que en este caso está activa la electroválvula del Tanque 1.

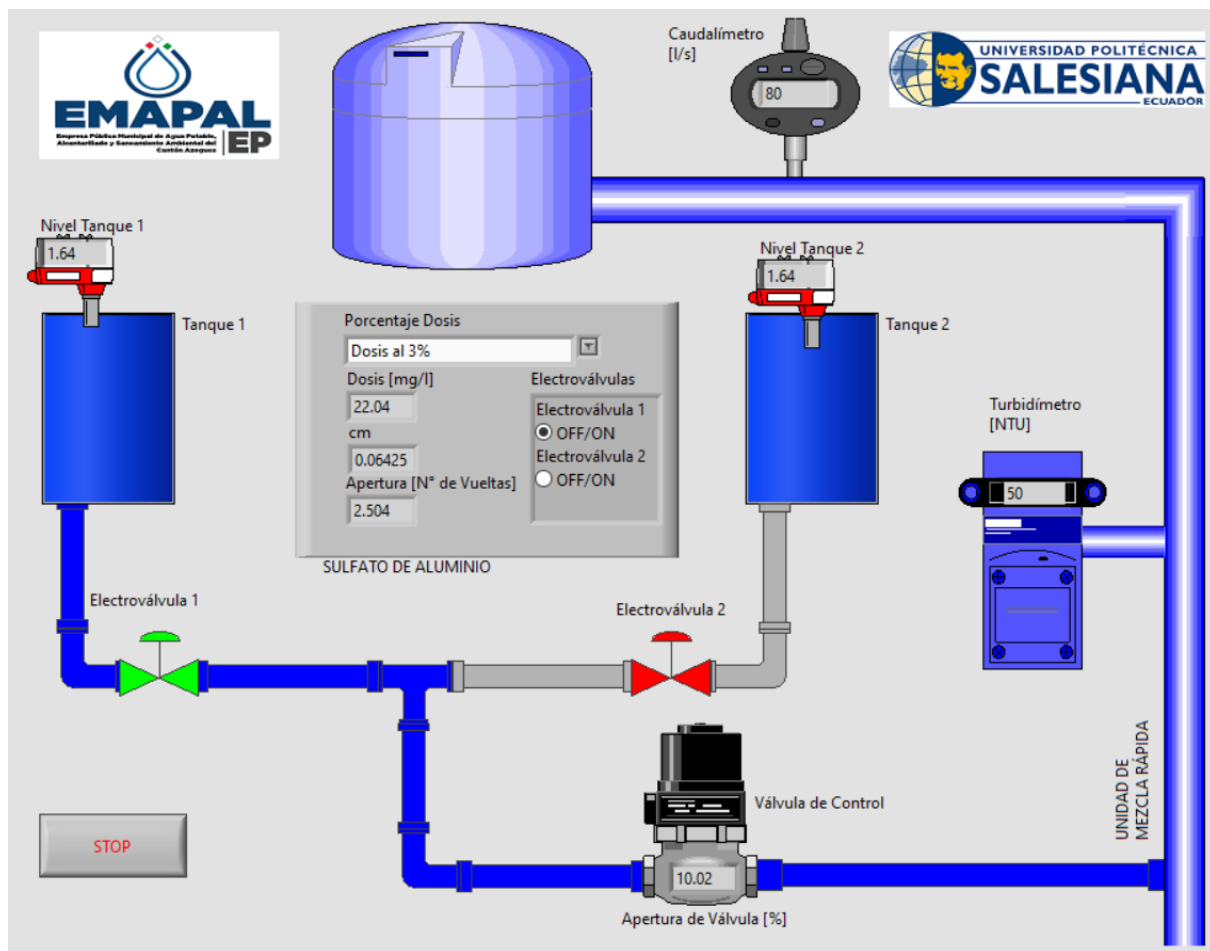


Figura 45: Simulación del control al 3% y apertura de Tanque 1

Fuente: Autores (LABVIEW)

En la Figura 45 se observa la simulación para un caudal de 80 l/s, turbiedad de 50 NTU para la dosis al 3% de la solución madre. Además se observa que en este caso está activa la electroválvula del Tanque 1.

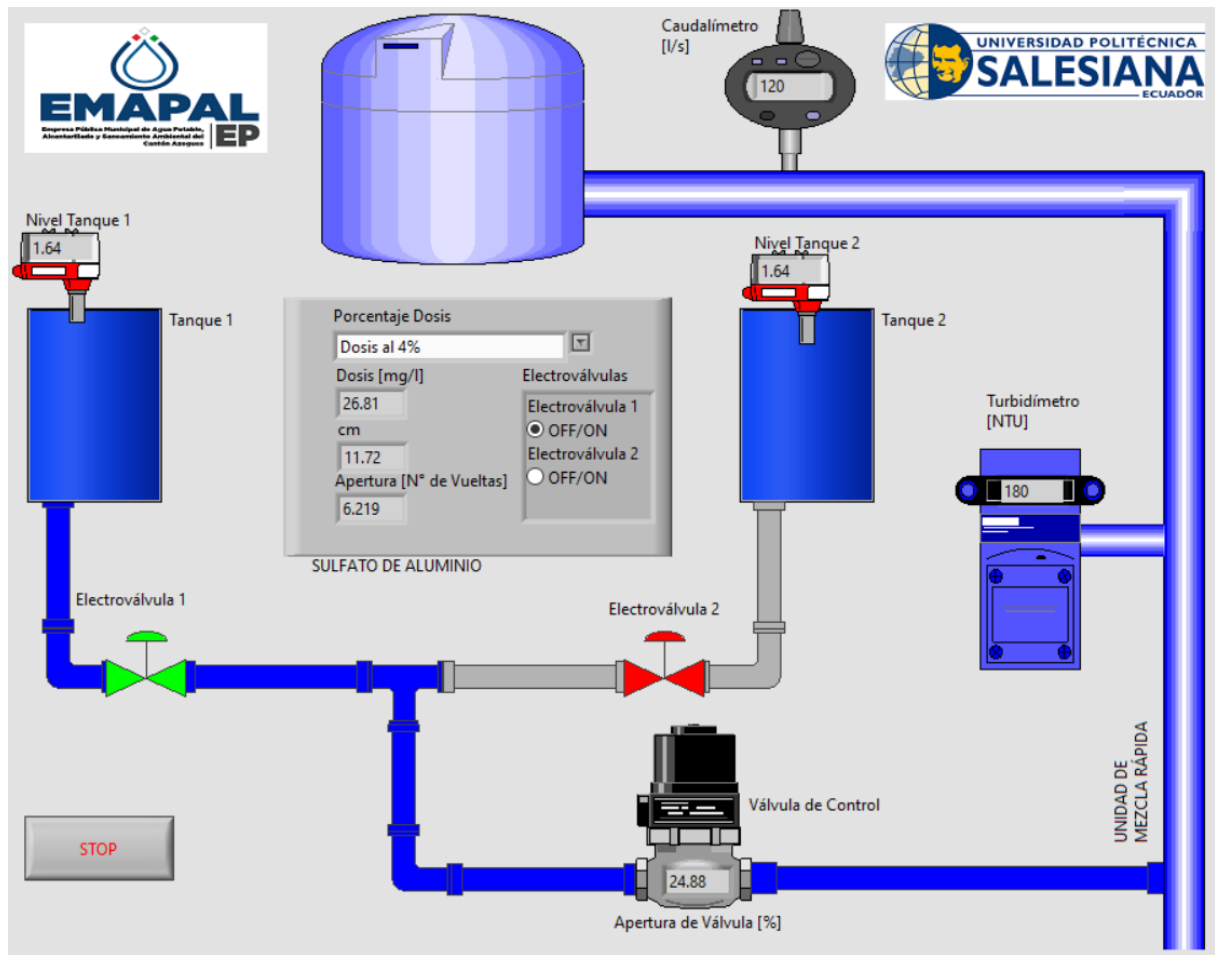


Figura 46: Simulación del control al 4% y apertura de Tanque 2

Fuente: Autores (LABVIEW)

En la Figura 46 se observa la simulación para un caudal de 120 l/s, turbiedad de 180 NTU para la dosis al 4% de la solución madre. Además se observa que en este caso está activa la electroválvula del Tanque 2.

Esta comparación entre la simulación realizada con los valores que se tabulan, denotan que existe un rango de error tanto en la medición de la dosis como en la apertura necesaria para el paso de la solución, por lo que la Tabla 21 muestra el porcentaje de error basándose en la Ecuación 24:

$$\%e = \frac{|v_a - v_e|}{v_e} * 100 \quad (24)$$

Donde:

- $\%e$ es el porcentaje de error,

- v_a es el valor aproximado y
- v_e es el valor exacto.

Tabla 21: Cálculo del error de Dosis Y Apertura de Válvula

Dosis al 2%					
Dosis Calculada	Dosis Tabulada	% de Error de la Dosis	Apertura Calculada	Apertura Tabulada	% de Error de la Apertura
22.04	22	0.18	3.63	3.5	3.58
26.22	26	0.83	4.69	4.5	4.05
29.18	28.08	1.3	6.2	6	3.22
31.48	31.5	0.06	6.84	6.75	1.31
Porcentaje Medio de Error		0.59	Porcentaje Medio de Error		3.04
Dosis al 3%					
Dosis Calculada	Dosis Tabulada	% de Error de la Dosis	Apertura Calculada	Apertura Tabulada	% de Error de la Apertura
15.43	15.4	0.19	1.15	1.25	8.69
22.04	22.05	0.04	2.5	2.5	0
20.43	20.16	1.32	1.13	1.25	10.61
27.14	26.95	0.7	2.14	2	6.54
Porcentaje Medio de Error		0.56	Porcentaje Medio de Error		6.46
Dosis al 4%					
Dosis Calculada	Dosis Tabulada	% de Error de la Dosis	Apertura Calculada	Apertura Tabulada	% de Error de la Apertura
15.73	15.6	0.82	0.81	0.75	7.41
25.68	25.2	1.86	2.59	2.6	0.38
26.81	26.4	1.52	6.21	6	3.38
27.46	27.6	0.51	6.42	6.5	1.24
Porcentaje Medio de Error		1.17	Porcentaje Medio de Error		3.1

Fuente: Autores

Tanto los datos de la dosis como de la apertura de la válvula evidencian el error presente al momento de trabajar con el proceso de manera manual, puesto que el primer caso se realiza de manera aproximada de acuerdo a la gráfica del Anexo 1, mientras que para estimar la apertura de la válvula se escoge el valor de la dosis más aproximada expuesta en la tabla del Anexo 2, en dicha tabla se cuenta con rangos de dosis y número de vueltas, llegando a no ser precisa la mayoría de las veces en la selección de la apertura.

9.4.1. Relación del PID del sistema en Labview y Matlab

Respecto a la simulación del control PID del sistema se obtienen los valores especificados en la Tabla 22 indicando las variaciones existentes en los distintos porcentajes de solución madre, verificándose en las gráficas desde la Figura 47 a la Figura 52.

Tabla 22: Valores obtenidos de la simulación del control PID

% de Solución	Tiempo de Asentamiento	% de Sobre-paso	Apertura Simulink	Apertura Labview
2	0.484	27.6	4.757	4.756
3	0.323	24.5	2.73	2.729
4	0.277	24.5	2.054	2.05411

Fuente: Autores

Es necesario recalcar que al mantener el valor de la turbiedad la dosis en cada caso se mantiene constante, lo que varía es la apertura. Según los datos obtenidos, al existir variaciones en el sistema se produce un cambio de manera casi instantanea debido a los tiempos de estabilidad.

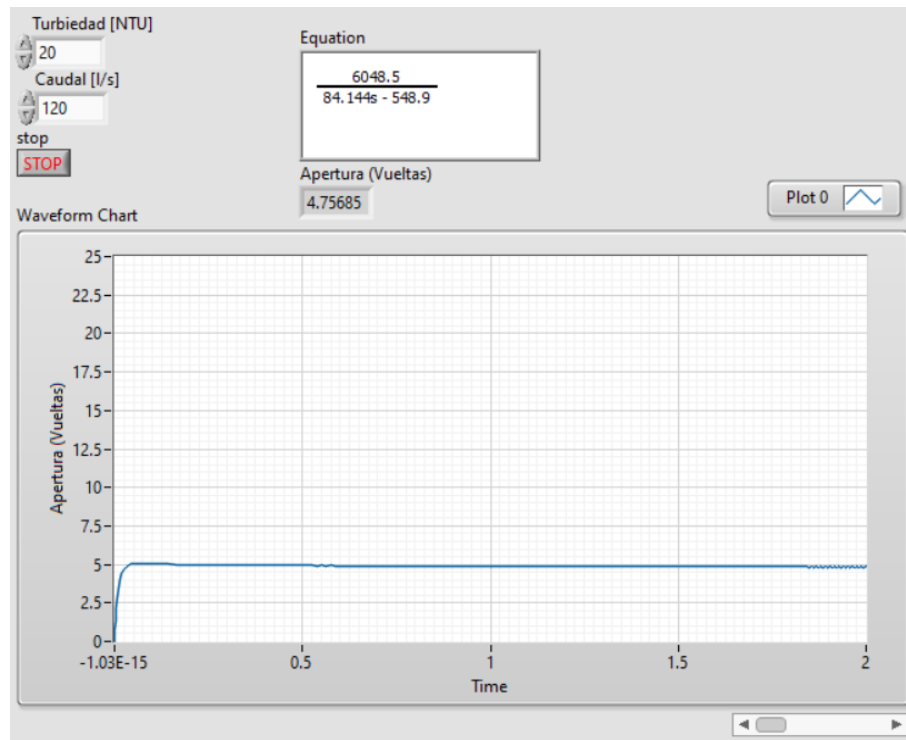


Figura 47: Simulación del PID al 2% en LabView
Fuente: Autores (LABVIEW)

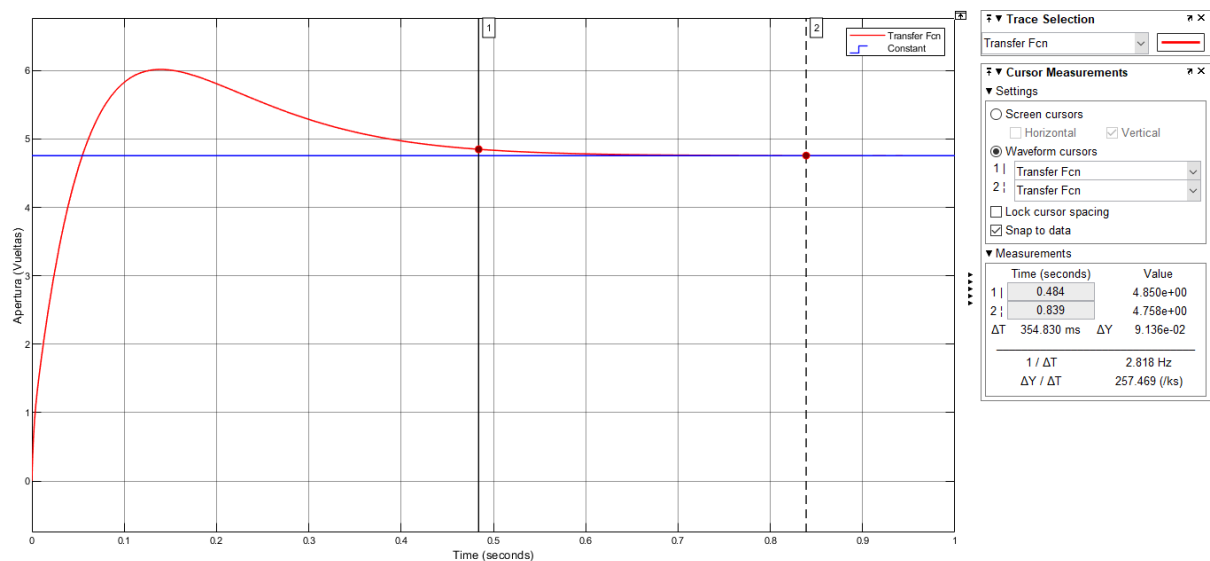


Figura 48: Simulación del PID al 2% en Simulink
Fuente: Autores (SIMULINK)

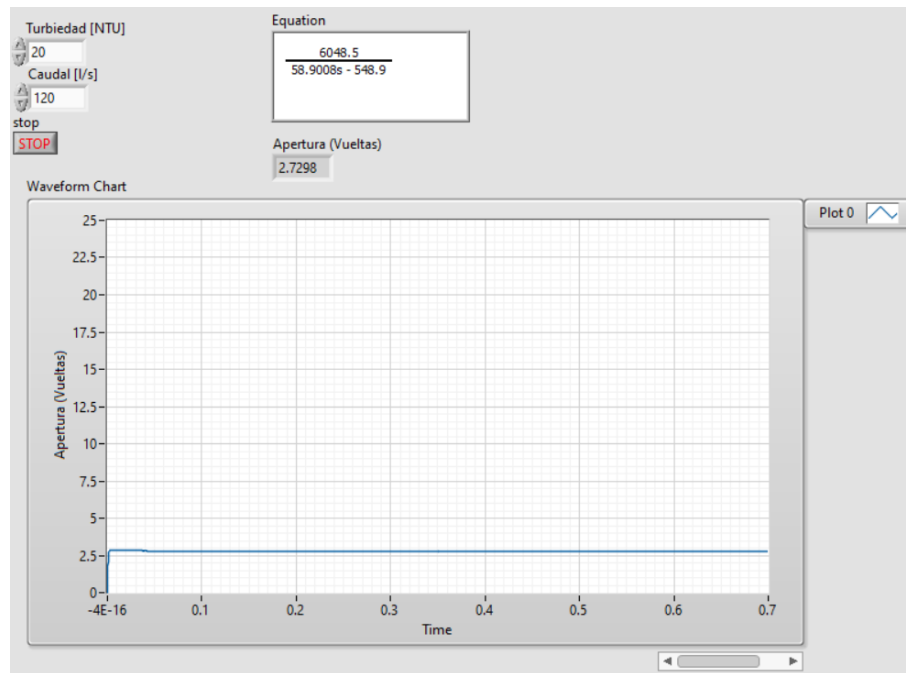


Figura 49: Simulación del PID al 3% en LabView
Fuente: Autores (LABVIEW)

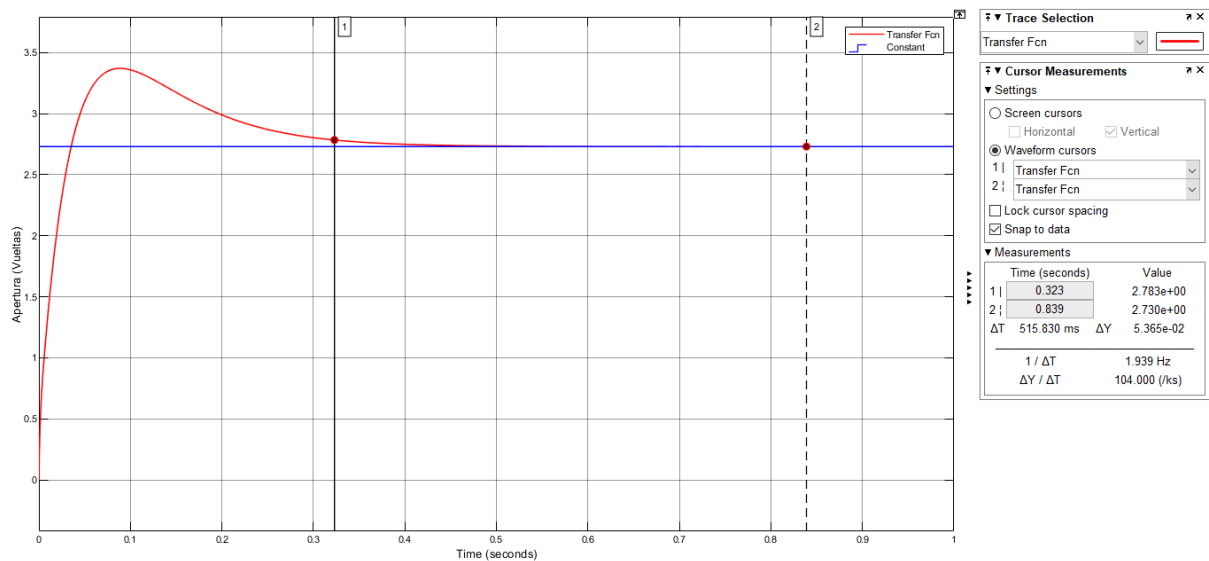


Figura 50: Simulación del PID al 3% en Simulink
Fuente: Autores (SIMULINK)

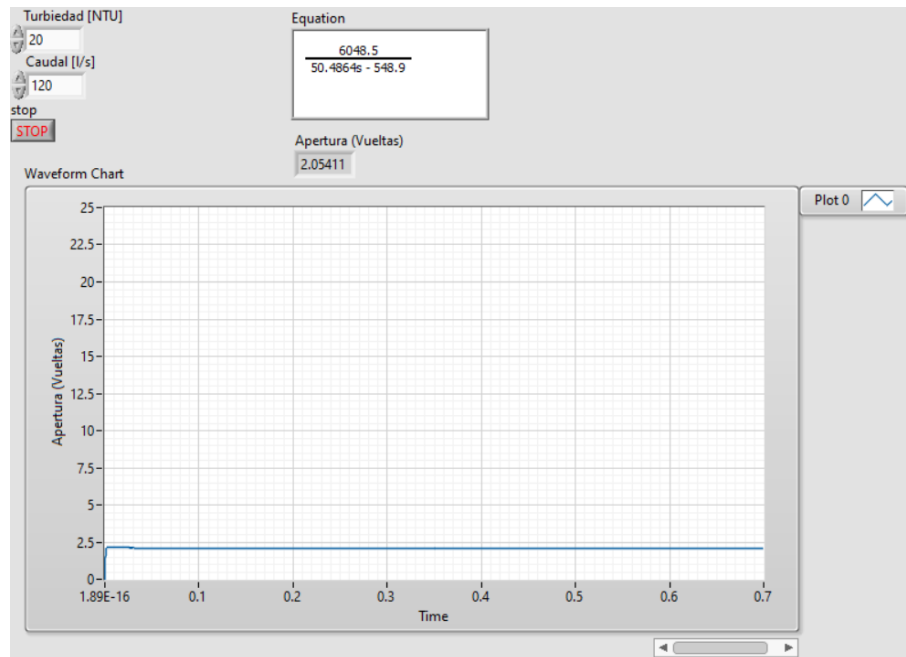


Figura 51: Simulación del PID al 4% en LabView
Fuente: Autores (LABVIEW)

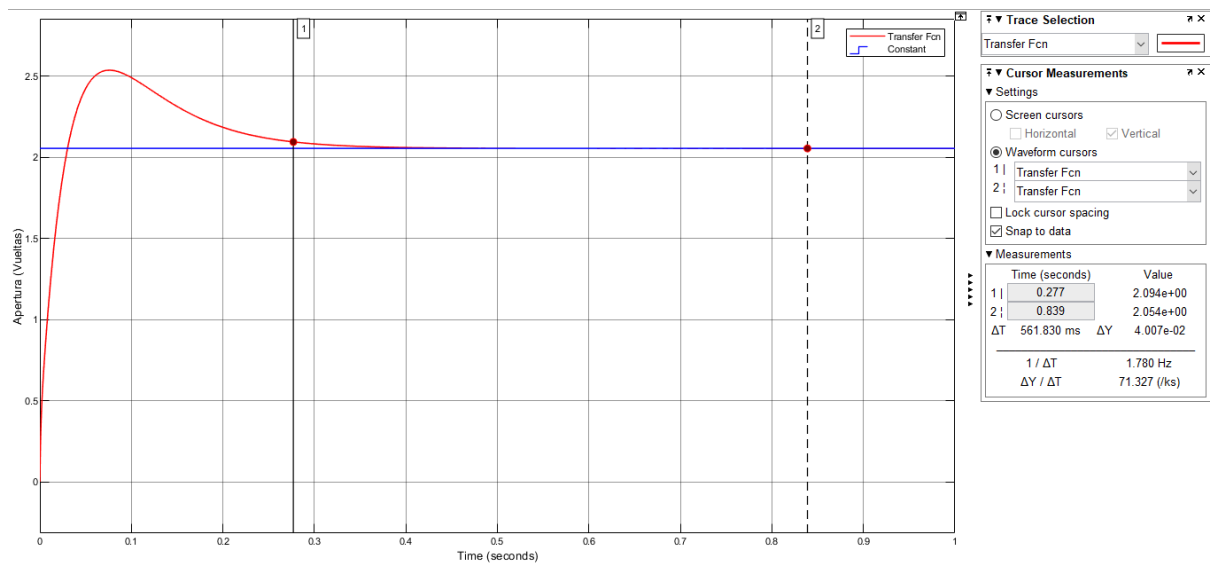


Figura 52: Simulación del PID al 4% en Simulink
Fuente: Autores (SIMULINK)

10. Conclusiones

Este trabajo de investigación tuvo como objetivo el planteamiento de un Sistema Mecánico para la Dosificación de Sulfato de Aluminio en la planta de tratamiento de Agua de Mahuarca, para verificar la viabilidad de una posible implementación; debido a que no cuenta con una automatización ni estudios previos para cumplir con esta necesidad.

La dosificación del agua requiere de una verificación constante de las variables en un lapso de 15 minutos en condiciones normales y de 10 minutos cuando existen perturbaciones, que comúnmente son lluvias o derrumbes, provocando así las variaciones en el caudal y turbiedad. Por lo que se plantea un sistema automático para el control de la dosificación de Sulfato de Aluminio para reducir los tiempos de respuesta ante las variaciones de los valores de entrada para evitar el paso de impurezas con las que llega el agua cruda hacia el siguiente proceso.

A través de la investigación ejecutada se conoce que el proceso manual actual toma entre 7 a 10 minutos para comprobar la dosis requerida y su aplicación en la Unidad de Mezcla Rápida, dando como resultado una pequeña pérdida de calidad del agua dentro de ese lapso de tiempo. El diseño que se propone ejecutar dentro de esta entidad demuestra una reducción considerable de tiempos para el operario al momento del control de este proceso.

Para la selección de las válvulas que pueden ser aptas para su implementación se consideró que el material debe ser resistente a la corrosión, puesto que estará en constante interacción con los químicos en la Planta; además del diámetro por el que pasa el fluido, para evitar cambios estructurales en las tuberías o posibles estancamientos de flóculos de la dosis entrante. Para obtener las mediciones en caso de ser implementado, se ha establecido el uso del Caudalímetro, el Sensor de Turbiedad y sensores de Nivel que posee la Planta.

Mediante el uso de los valores tabulados proporcionados por la empresa, se llegó a la obtención de las fórmulas requeridas para el planteamiento del diseño del control de la válvula proporcional, misma que cumple la función de dosificador, para obtener la dosis referencial y por ende la apertura requerida para el paso del coagulante hacia el agua cruda. De esta manera se lograría realizar el cambio del dosificador tubular por un elemento que permita ejecutar de manera más efectiva el proceso planteado. Este diseño tuvo como base especificar como debe variar la válvula de control ante los cambios de Caudal y Turbiedad; también indicar al operario mediante un sistema de alarma hacia el ordenador, cuando el nivel de la dosis del tanque con el que se trabaje sea menor a 20 cm, y de esta manera poder trabajar con el siguiente tanque.

Una vez esclarecido todo lo anterior, se procedió a simular el Diseño del Sistema de Control para comprobar que los datos que establece la apertura de la válvula de control están

relacionados con los valores tabulados por la empresa, llegando a la comparación de la dosis y la apertura del dosificador en ambos casos, verificando así el porcentaje de error existente en el sistema que actualmente se ejecuta de manera manual. Con estos valores obtenidos se conoció que actualmente los datos con los que se trabajan no siempre llegan a ser precisos, denotando que no se eliminan todos los contaminantes en este proceso.

Con el planteamiento y simulación se busca la reducción del porcentaje de error y un tiempo de respuesta casi instantánea ante perturbaciones que llegan a modificar los valores de Caudal y Turbiedad, prueba de la efectividad en el tiempo de respuesta se plasma en la incorporación del control PID, sirviendo de punto de partida en una futura implementación para el uso del software con el que trabaja el CPU con el que cuenta la empresa.

11. Recomendaciones

Para la implementación del sistema planteado, se recomienda poner en funcionamiento el Sensor de Turbiedad, mismo que actualmente esta fuera de servicio, siendo realizada esta medición en la actualidad de manera externa, además del empleo de los demás sensores con los que se cuenta en la Planta.

Como este proyecto se realizó para el Sulfato de Aluminio, se sugiere que, para el empleo del Policloruro de Aluminio se deba ajustar la fórmula a este químico, de esta manera poder trabajar con cualquiera de los coagulantes mencionados y que el operario pueda elegir en el Panel de Control el tipo de químico que se esté utilizando en los tanques.

Es recomendable incorporar un sistema manual paralelo al automático para situaciones de fallas o mantenimiento de los equipos y así garantizar el continuo funcionamiento de la Planta.

Para mantener el registro de los valores obtenidos se aconseja un sistema de guardado de datos cada hora, sirviendo como inventario para los cálculos de gastos por el material empleado en el proceso.

De acuerdo al Diseño del Sistema de Control planteado, se recomienda el cambio de los valores de los sensores y actuadores a las variables mediante el OPC que trabaja con LabView, para trabajar en tiempo real con el software del PLC. Además de realizar los cálculos para poder obtener los valores digitales y no emplear los datos analógicos enviados por dichos sensores y actuadores. Se puede tener en cuenta el sistema PID realizado en este trabajo para ejecutar la programación en el software del CPU que posee la empresa.

Referencias

- Aguilera, G., y Pouilly, M. (2012). Caudal ecológico: definiciones, metodologías y adaptación a la región andina. *Acta zoológica lilloana*, 15–30.
- AirTac. (2017). Fluid control valve(2/2 way) 2kl series direct-acting and normally opened [Manual de software informático]. Descargado de https://cdn.shopify.com/s/files/1/0068/3235/7429/files/Airtac_2KL_Trimantec2016.pdf
- Albin, R. (1975). Determinación del ph en diversas especies de los renovales de la provincia de valdivia. *Bosque*, 1(1), 3–5.
- Andramuño Cando, J. P. (2020). Prototipos de sensores inteligentes de caudal y nivel para la operación de un subsistema de filtrado en una planta potabilizadora de agua.
- Araujo Guerrero, I. I. (2014). *Control automático para el proceso de dosificado del polímero en la planta de tratamiento de agua potable del casigana de ambato (emapa)* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas
- Barceló, D., y López, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: el problema de los contaminantes emergentes. *Jornadas de presentación de resultados: el estado ecológico de las masas de agua. Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Sevilla*, 1–27.
- Becerra Terán, V. F., y Loyola Cisneros, J. L. (2020). Diseño e implementación de un algoritmo pid discreto para aumentar los lazos de control en controladores lógicos programables.
- Bolton, W. (2013). Mecatrónica sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica, alfaomega, 5ta. *Edición, México*.
- Bürkert, C. (2021, sep). Digital electropneumatic positioner sidecontrol type 8792 [Manual de software informático]. Descargado de <https://www.burkert.com/en/Media/plm/DTS/DS/DS8792-Standard-EU-EN.pdf?id=DTS00000000000000001000121137ENAC>
- Bürkert., C. (2021, nov). Pneumatically operated 3/2 way seat valve classic type 2006 [Manual de software informático].
- Bürkert, C. (2021, nov). Válvula de asiento inclinado de 2/2 vías con accionamiento neumático classic [Manual de software informático]. Descargado de <https://www.burkert.com/en/Media/plm/DTS/DS/DS2000-Standard-ES-ES.pdf>
- Chicaiza Ortega, O. G. (2019). Construcción de un sistema de serigrafía para el estampado de sellos utilizando electroválvulas.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147–170.
- Cuenca, M. R., Cuenca, P. R., Mata, N. C., y González, P. R. (2018). Contaminación de agua potable y enfermedades: causas, consecuencias y soluciones. En *Avances de investigación*

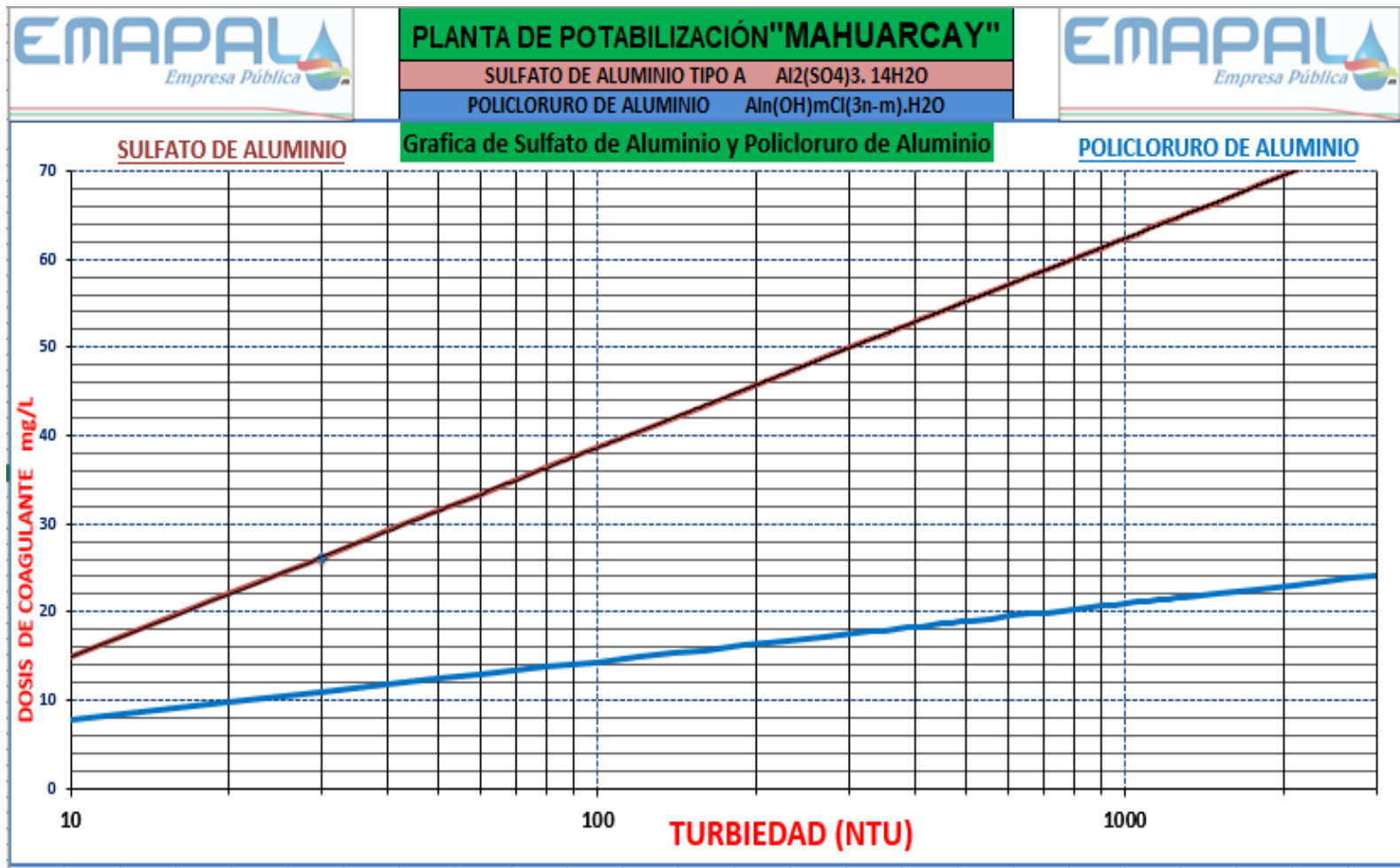
- en salud a lo largo del ciclo vital: Volumen ii* (pp. 41–46).
- EMERSON. (2017). Guía de válvulas de control. , *Quinto*.
- EndressHauser. (2003, jul). Ultrasonic level measurement prosonic t fmu 130, 131 prosonic t fmu 230, 231, 232 [Manual de software informático]. Germany. Descargado de <https://bdih-prod-assetcentralapi-assetcentral-rest-srv.cfapps.eu10.hana.ondemand.com/files/DLA/3F1F95D87CBF2773E10000000A35E018/ti246fen.pdf>
- EndressHauser. (2005, jul). Technical information proline promag 50p, 53p [Manual de software informático]. Germany. Descargado de <http://www.merteh.lv/eh/pdf/TI047DEN.PDF>
- EndressHauser. (2013, jul). Technical information liquisys m cum223/253 turbidity and suspended solids transmitter [Manual de software informático]. Descargado de http://pzip.ru/downloads/endress+hauser/TI00200CEN_1413.pdf
- Espinoza Ortega, E., y Abril Abril, J. (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). Descargado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19576>
- Festo. (2020, jul). ball valve actuator unit vzpr-bpd-22-r2 [Manual de software informático]. Descargado de <https://docs.rs-online.com/4916/A700000007033402.pdf>
- Flores, R. A. C., y cols. (2015). Composición química y tipos de aguas naturales. *Logos Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 2*, 2(3).
- Fuentes, L. d. C., Mendoza, I. A., López, A. M., Castro, M. F., y Urdaneta, C. J. (2011). Efectividad de un coagulante extraído de *Stenocereus griseus* (haw.) buxb. en la potabilización del agua. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 34(1), 039–047.
- Fuenzalida-Puelma, H. L. (1991). El agua como recurso y la salud. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*; 111 (4), oct. 1991.
- García, A. S. (2005). *Estudio de la eficiencia de eliminación de radionúclidos naturales en procesos compatibles con el de potabilización de aguas* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Extremadura.
- Gebr.Müller. (2021a, sep). GemÜ 205 electrically operated solenoid valve [Manual de software informático]. Germany.
- Gebr.Müller. (2021b, apr). GemÜ 8258 electrically operated solenoid valve [Manual de software informático]. Germany.
- Gutiérrez Fernández, A. E., y Martín-Cobos Puebla, M. (2008). El agua como recurso natural

- escaso y la racionalización de su uso para el regadío. *Revista de la Facultad de Derecho de la Universidad de Granada*, 1 (1).
- Gutierrez Ortega, F. H. (2010). *Tipos de coagulantes y su incidencia en la potabilización de agua de la planta mahuarca y de la ciudad de azogues, año 2010* (Tesis de Master no publicada). Quevedo: UTEQ.
- INEN. (2014). Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. , *Primera Edición*.
- Martínez-Orjuela, M., Mendoza-Coronado, J., Medrano-Solís, B., Gómez-Torres, L., y Zafra-Mejía, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*, 19(1), 15–24.
- Moreno Pérez, S. C. (2016). Disminución de la turbidez del agua del río crisnejas en la comunidad de chuquibamba-cajabamba utilizando opuntia ficus indica, aloe vera y caesalpinia spinosa.
- Osorio, N. (2012). ph del suelo y disponibilidad de nutrientes. *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal*, 1(4), 1–4.
- Pozo, M., Serrano, J., Castillo, R., y Moreno, L. (2017). Indicadores ods de agua, saneamiento e higiene en ecuador. *Estudios Temáticos–INEC (INEC and Worldbank Group, 2017)*.
- Prieto, A. (2012). La apertura del espacio de trabajo. *ARQ (Santiago)*(82), 108–111.
- Quispe Huisa, M. F. (2018). Evaluación y planteamiento de diseño del sistema de dosificación de cloro en el tratamiento de agua potable del centro poblado de cayacaya-putina.
- Rodríguez Chang, D. I. (2011). *Rediseño, cálculo e implementación del sistema de dosificación de líquidos utilizando un sistema de medición por peso, para la planta de pronaca balanceados pueumbo* (B.S. thesis). Quito, 2011.
- Vargas Quispe, I. M. (2019). Diseño de sistema mecatrónico para el control de calidad de envases de embutidos utilizando visión por computadora.
- Vera Medina, R. C. (2016). *Diseño del sistema de dosificación de coagulante empleado en la planta de potabilización de agua dentro del laboratorio de ingeniería hidráulica en la universidad central del ecuador*. (B.S. thesis). Quito: UCE.
- Yepes Osorio, D. S., Rojas Castañeda, M. A., y cols. (2019). *Descripción del proceso de potabilización del agua en una planta de la ciudad de cali* (Tesis Doctoral no publicada). Universidad Santiago de Cali.
- Zhindón Arévalo, C. E. (2011). Tratamiento de los lodos generados en la planta potabilizadora de mahuarca mediante el uso de un lecho de secado.

ANEXOS

Anexo 1: Gráfica de Sulfato de Aluminio y Policloruro de Aluminio

Esta gráfica pertenece a la Planta de Tratamiento de Mahuarcay-EMAPAL(EP).



Fuente: Planta de Tratamiento de Mahuarcay-EMAPAL(EP).

Anexo 2: Tabla de Dosis de Sulfato de Aluminio-Caudal-Número de vueltas de Dosificador Tubular

Esta gráfica pertenece a la Planta de Tratamiento de Mahuarcay-EMAPAL(EP).

CAUDAL (Lit / Seg)																
55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	N-VUELT
17.79	16.31	15.05	13.98	13.05	12.23	11.51	10.87	10.30	9.78	9.32	8.89	8.51	8.15	7.83	7.53	0.5
19.57	17.94	16.56	15.37	14.35	13.45	12.66	11.96	11.33	10.76	10.25	9.78	9.36	8.97	8.61	8.28	0.75
21.35	19.57	18.06	16.77	15.65	14.68	13.81	13.05	12.36	11.74	11.18	10.67	10.21	9.78	9.39	9.03	1
23.13	21.20	19.57	18.17	16.96	15.90	14.96	14.13	13.39	12.72	12.11	11.56	11.06	10.60	10.18	9.78	1.25
24.90	22.83	21.07	19.57	18.26	17.12	16.11	15.22	14.42	13.70	13.05	12.45	11.91	11.41	10.96	10.54	1.5
26.68	24.46	22.58	20.97	19.57	18.34	17.27	16.31	15.45	14.68	13.98	13.34	12.76	12.23	11.74	11.29	1.75
28.46	26.09	24.08	22.36	20.87	19.57	18.42	17.39	16.48	15.65	14.91	14.23	13.61	13.05	12.52	12.04	2
30.24	27.72	25.59	23.76	22.18	20.79	19.57	18.48	17.51	16.63	15.84	15.12	14.46	13.86	13.31	12.79	2.25
32.02	29.35	27.09	25.16	23.48	22.01	20.72	19.57	18.54	17.61	16.77	16.01	15.31	14.68	14.09	13.55	2.5
33.80	30.98	28.60	26.56	24.79	23.24	21.87	20.65	19.57	18.59	17.70	16.90	16.16	15.49	14.87	14.30	2.75
35.58	32.61	30.10	27.95	26.09	24.46	23.02	21.74	20.60	19.57	18.64	17.79	17.02	16.31	15.65	15.05	3
37.36	34.24	31.61	29.35	27.39	25.68	24.17	22.83	21.63	20.55	19.57	18.68	17.87	17.12	16.44	15.80	3.25
39.14	35.87	33.11	30.75	28.70	26.91	25.32	23.92	22.66	21.52	20.50	19.57	18.72	17.94	17.22	16.56	3.5
40.91	37.50	34.62	32.15	30.00	28.13	26.47	25.00	23.69	22.50	21.43	20.46	19.57	18.75	18.00	17.31	3.75
42.69	39.14	36.13	33.54	31.31	29.35	27.63	26.09	24.72	23.48	22.36	21.35	20.42	19.57	18.79	18.06	4
44.47	40.77	37.63	34.94	32.61	30.57	28.78	27.18	25.75	24.46	23.30	22.24	21.27	20.38	19.57	18.82	4.25
46.25	42.40	39.14	36.34	33.92	31.80	29.93	28.26	26.78	25.44	24.23	23.13	22.12	21.20	20.35	19.57	4.5
48.03	44.03	40.64	37.74	35.22	33.02	31.08	29.35	27.81	26.42	25.16	24.02	22.97	22.01	21.13	20.32	4.75
49.81	45.66	42.15	39.14	36.53	34.24	32.23	30.44	28.84	27.39	26.09	24.90	23.82	22.83	21.92	21.07	5
51.59	47.29	43.65	40.53	37.83	35.47	33.38	31.53	29.87	28.37	27.02	25.79	24.67	23.64	22.70	21.83	5.25
53.37	48.92	45.16	41.93	39.14	36.69	34.53	32.61	30.90	29.35	27.95	26.68	25.52	24.46	23.48	22.58	5.5
55.15	50.55	46.66	43.33	40.44	37.91	35.68	33.70	31.93	30.33	28.89	27.57	26.37	25.28	24.26	23.33	5.75
56.92	52.18	48.17	44.73	41.74	39.14	36.83	34.79	32.96	31.31	29.82	28.46	27.22	26.09	25.05	24.08	6
58.70	53.81	49.67	46.12	43.05	40.36	37.98	35.87	33.99	32.29	30.75	29.35	28.08	26.91	25.83	24.84	6.25
60.48	55.44	51.18	47.52	44.35	41.58	39.14	36.96	35.02	33.27	31.68	30.24	28.93	27.72	26.61	25.59	6.5
62.26	57.07	52.68	48.92	45.66	42.80	40.29	38.05	36.05	34.24	32.61	31.13	29.78	28.54	27.39	26.34	6.75
64.04	58.70	54.19	50.32	46.96	44.03	41.44	39.14	37.08	35.22	33.54	32.02	30.63	29.35	28.18	27.09	7
65.82	60.33	55.69	51.71	48.27	45.25	42.59	40.22	38.11	36.20	34.48	32.91	31.48	30.17	28.96	27.85	7.25
67.60	61.96	57.20	53.11	49.57	46.47	43.74	41.31	39.14	37.18	35.41	33.80	32.33	30.98	29.74	28.60	7.5
69.38	63.60	58.70	54.51	50.88	47.70	44.89	42.40	40.17	38.16	36.34	34.69	33.18	31.80	30.53	29.35	7.75
71.16	65.23	60.21	55.91	52.18	48.92	46.04	43.48	41.20	39.14	37.27	35.58	34.03	32.61	31.31	30.10	8
72.93	66.86	61.71	57.31	53.49	50.14	47.19	44.57	42.23	40.11	38.20	36.47	34.88	33.43	32.09	30.86	8.25
74.71	68.49	63.22	58.70	54.79	51.37	48.34	45.66	43.26	41.09	39.14	37.36	35.73	34.24	32.87	31.61	8.5
76.49	70.12	64.72	60.10	56.09	52.59	49.50	46.75	44.29	42.07	40.07	38.25	36.58	35.06	33.66	32.36	8.75
78.27	71.75	66.23	61.50	57.40	53.81	50.65	47.83	45.31	43.05	41.00	39.14	37.43	35.87	34.44	33.11	9
80.05	73.38	67.73	62.90	58.70	55.03	51.80	48.92	46.34	44.03	41.93	40.03	38.28	36.69	35.22	33.87	9.25
81.83	75.01	69.24	64.29	60.01	56.26	52.95	50.01	47.37	45.01	42.86	40.91	39.14	37.50	36.00	34.62	9.5
83.61	76.64	70.75	65.69	61.31	57.48	54.10	51.09	48.40	45.98	43.79	41.80	39.99	38.32	36.79	35.37	9.75
85.39	78.27	72.25	67.09	62.62	58.70	55.25	52.18	49.43	46.96	44.73	42.69	40.84	39.14	37.57	36.13	10
87.17	79.90	73.76	68.49	63.92	59.93	56.40	53.27	50.46	47.94	45.66	43.58	41.69	39.95	38.35	36.88	10.25

Fuente: Planta de Tratamiento de Mahuarcay-EMAPAL(EP)

Anexo 3: Especificaciones Técnicas del Sensor de Nivel

Estas especificaciones pertenecen a la familia Endress Hauser (EndressHauser, 2003).

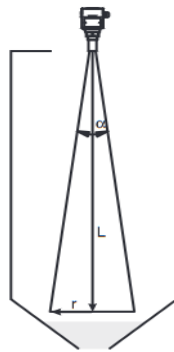
Technical data

General Specifications

Application

Operation and System Design

Input Variables



Output Variables

Measuring Accuracy

Communication Interfaces

Manufacturer	Endress+Hauser
Instrument designation	Prosonic T
Others	CE mark

Continuous non-contact level measurement in liquids and coarse-grained bulk solids
--

Measuring principle	Ultrasonic measurement, time-of-flight measurement
Modularity	Compact ultrasonic sensor, with optional display Local operation or using – Universal HART Communicator DXR 275 (HART) or Commulog VU 260 Z (INTENSOR) handheld terminal – Silometer FMX 770, FXN 671 – PC (PROFIBUS-PA, Commubox)
Signal transmission	4...20 mA optional Smart (with superimposed communication signal), digital current output selectable 8/16 mA or 4/20 mA, digital communication signal via PROFIBUS-PA

Measured variable	Level, determined from the distance between the sensor and surface of material																																				
Measuring ranges	FMU 130, FMU 230: 0.25...4 m (0.8...13.1 ft), for 4-wire 0.25...5 m (0.8...16.4 ft) FMU 131, FMU 231: 0.4...7 m (1.3...23 ft), for 4-wire 0.4...8 m (1.3...26.2 ft) FMU 232: 0.6 m...15 m (2...49.2 ft)																																				
Blocking distance	FMU 130, FMU 230: 0.25 m (0.8 ft) FMU 131, FMU 231: 0.4 m (1.3 ft) FMU 232: 0.6 m (2 ft)																																				
Frequency	FMU 130, FMU 230: approx. 70 kHz FMU 131, FMU 231: approx. 50 kHz FMU 232: approx. 35 kHz																																				
Pulse frequency	0.5...3 Hz, depending on sensor and electronics																																				
Min. delay time	2-wire: approx. 5 s; 4-wire: approx. 1 s																																				
Application-specific effects on attenuation	Estimation of detection limits using beam angle (3 dB) $r = \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L$ <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>$\alpha/2$</th> <th>L</th> <th>r</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Liquids</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2" sensor</td> <td>5.5°</td> <td>4 m (13.1 ft)</td> <td>0.38 m (14.9 in)</td> </tr> <tr> <td>2" sensor</td> <td>5.5°</td> <td>7 m (23 ft)</td> <td>0.67 m (26.4 in)</td> </tr> <tr> <td>4" sensor</td> <td>3°</td> <td>15 m (49.2 ft)</td> <td>0.79 m (31.1 in)</td> </tr> <tr> <td>Bulk solids</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 1/2" sensor</td> <td>5.5°</td> <td>2 m (6.6 ft)</td> <td>0.19 m (7.5 in)</td> </tr> <tr> <td>2" sensor</td> <td>5.5°</td> <td>3.5 m (11.5 ft)</td> <td>0.33 m (13.0 in)</td> </tr> <tr> <td>4" sensor</td> <td>3°</td> <td>7 m (23 ft)</td> <td>0.36 m (14.2 in)</td> </tr> </tbody> </table> α = 3 dB angle of emission L = length of beam (calculated from max. measuring range of sensor)		$\alpha/2$	L	r	Liquids				1 1/2" sensor	5.5°	4 m (13.1 ft)	0.38 m (14.9 in)	2" sensor	5.5°	7 m (23 ft)	0.67 m (26.4 in)	4" sensor	3°	15 m (49.2 ft)	0.79 m (31.1 in)	Bulk solids				1 1/2" sensor	5.5°	2 m (6.6 ft)	0.19 m (7.5 in)	2" sensor	5.5°	3.5 m (11.5 ft)	0.33 m (13.0 in)	4" sensor	3°	7 m (23 ft)	0.36 m (14.2 in)
	$\alpha/2$	L	r																																		
Liquids																																					
1 1/2" sensor	5.5°	4 m (13.1 ft)	0.38 m (14.9 in)																																		
2" sensor	5.5°	7 m (23 ft)	0.67 m (26.4 in)																																		
4" sensor	3°	15 m (49.2 ft)	0.79 m (31.1 in)																																		
Bulk solids																																					
1 1/2" sensor	5.5°	2 m (6.6 ft)	0.19 m (7.5 in)																																		
2" sensor	5.5°	3.5 m (11.5 ft)	0.33 m (13.0 in)																																		
4" sensor	3°	7 m (23 ft)	0.36 m (14.2 in)																																		

Output signal	4...20 mA, selectable digital current output 8/16 mA or 4/20 mA or digital communication signal
Output span	16 mA for analogue signal
Power failure signal (on error)	4...20 mA or 4/20 mA: selectable –10% = 2.4 mA (with 4-wire only), +110% = 21.6 mA or »hold« last current value is held 8/16 mA: selectable –10% = 7.2 mA, +110% = 16.8 mA or »hold«
Switching delay time	1...255 s
Load	max. 600 Ω

Using the PROFIBUS-PA

Output signal	Digital communication signal, PROFIBUS-PA
PA function	Slave
Transmission rate	31.25 kBit/s
Response time	Slave: approx. 20 ms PLC: 300...600 ms for approx. 30 devices (depending upon segment coupler)
Signal on alarm	Selectable –9999, +9999 or hold (last value)
Communication resistance	PROFIBUS-PA termination resistor
Physical layer	IEC 1158-2

Reference conditions	Ideal reflection from calm, flat surface at 20°C (68°F)
Measuring uncertainty	0.25% for max. measuring span
Resolution	2-wire (FMU 130, 131, 230, 231): 3 mm (0.12 in) 4-wire (FMU 230, 231, 232): 2 mm (0.08 in)

Handheld terminal	Commulog VU 260 Z INTENSOR, Hart Communicator DXR 275 HART Connection direct to the current output or anywhere along the signal line Communication resistance: 250 Ω
PROFIBUS-PA	Connection to PLC or PC via the FXN 623 A (not Ex) or FXN 623 C (EEx ia), PROFIBUS address via 8-pole switch, terminal resistance PROFIBUS-PA

Application Conditions

¹⁾ Please check with Endress+Hauser before using sensors at higher temperatures and higher pressures.

When sensors are subjected to high temperatures and pressures (with limiting conditions), it is recommended that the coupling (process connection) be tightened.

Orientation	Perpendicular to the surface of the material
Medium temperature range ¹⁾	-40...+80°C (-40...+176°F) (built-in temperature sensor)
Operating temperature range (electronics)	-20...+60°C (-4...+140°F)
Storage temperature range	-40...+80°C (-40...+176°F)
Operating pressure p_{abs} ¹⁾	Sensors with process connection G 1 1/2 and G 2: 3 bar (43.5 psi) Sensor DN 100 or 4" with slip-on flange or mounting bracket: 2.5 bar (36.25 psi)
Climatic class	DIN / IEC 68 T2-30 Db
Type of protection (EN 60529)	IP 67 (NEMA 6), with housing cover open IP 20
Vibration resistance	DIN IEC 68 T2-6 Tab.2.C (10...55 Hz, a = 0.15 mm, 3 x 100 cycles)
Electromagnetic compatibility (EMC)	Emitted interference to EN 61326; Class B equipment; Immunity to interference to EN 61326; Annex A (industry sector) and NAMUR EMC Recommendation
Explosion protection	FMU 130/131 (2-wire Ex): ATEX II 2 G EEx ia IIC T6 FMU 230/231 (2-wire not Ex and 4-wire): without FMU 232 (4-wire): ATEX II 1/3 D

Mechanical Design

Construction	Compact unit, Versions with threaded connection can be installed with 60 AF box spanner, max. torque 15...20 Nm (11.1...14.8 ft lbs)
Dimensions	See »Dimensions« page 12
Material	Housing: PBT (fibre-glass reinforced, flame-retarded) threaded boss and sensor: PVDF for FMU 232 UP (unsaturated polyester); sensor diaphragm stainless steel
Seals	Between threaded boss and sensor, internal: EPDM seal on threaded boss, external: EPDM seal
Process connection	FMU 130, FMU 230: G 1 1/2 or 1 1/2-11.5 NPT thread FMU 131, FMU 231: G 2 or NPT 2-11.5 NPT thread FMU 232: DN 100 or 4" with slip-on flange or mounting bracket
Cable entry	Pg 16, Cable diameter 5...9 mm (0.2...0.35 in) Sleeves for connection thread G 1/2, 1/2 NPT or M 20x1.5 supplied
Cable	2-wire: Use standard screened 2-wire cable 4-wire: Use standard screened 4-wire cable for signal transmission and power supply Under certain circumstances, the digital communication signal may be affected if unscreened cable is used.

Display and Operating Elements

Display (LCD)	4-character display, with segment display for current Dimension L x B x H: 40 x 20 x 10 mm (1.6 x 0.8 x 0.4 in)
LEDs	Red: indicates alarm or warning Green: Indicates power on (with 4-wire versions only) and entry acknowledgement

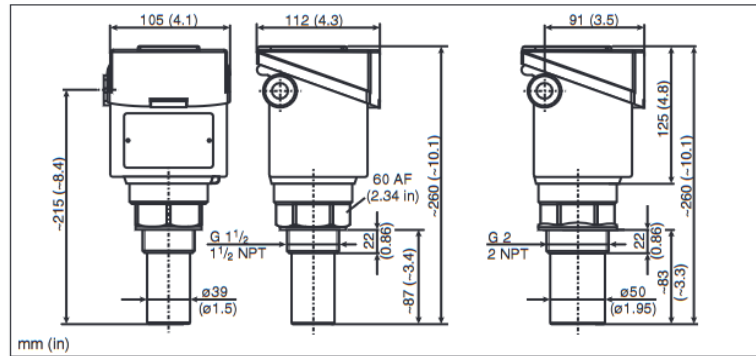
Power Supply

AC voltage	4-wire: 180...250 V _{AC} ; 90...127 V _{AC}
Power consumption	< 4 VA
Switch-on current	100 mA, pulse width half life time 70 ms
DC voltage	4-wire: 18...36 V _{DC} ; 2-wire: 12...36 V _{DC}
Power consumption	< 2.5 W (4 wire instruments)
Switch-on current	7 A, pulse width half life time 2 ms
Current consumption	FMU 130, 131, 230, 231: 12 mA ± 1 mA
PROFIBUS-PA devices	FMU 232: 16 mA ± 1 mA
Ripple (Smart-devices)	INTENSOR max. ripple (measured at 500 Ω) 0 Hz...100 Hz: U _{SS} =30 mV HART max. ripple (measured at 500 Ω) 47 Hz...125 Hz: U _{SS} =200 mV max. noise (measured at 500 Ω) 500 Hz...10 kHz: U _{eff} =2.2 mV
Electrical isolation	The evaluation electronics is electrically isolated from the power supply terminals with all 4-wire versions.

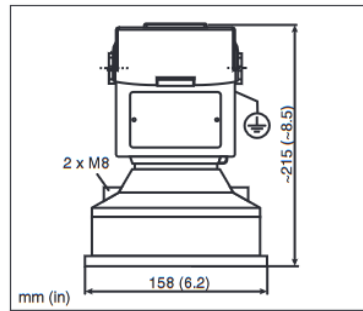
Supplementary Documentation

Prosonic T System Information SI 021F/00/en Prosonic T Compact transmitter for limit detection Technical Information TI 247F/00/en Planning notes PROFIBUS-PA Technical Information TI 260F/00/en

Dimensions



	Prosonic T FMU 130, 230	Prosonic T FMU 131, 231
Thread versions	G 1 1/2 or 1 1/2-11.5 NPT	G 2 or 2-11.5 NPT
Cable entry	Pg 16, cable diameter 5...9 mm sleeves for connection thread G 1 1/2; 1 1/2 NPT; M 20x1.5 supplied	
When mounting in tapped holes to DIN 3852 Part 2, check that the recess diameter d ₄ is »wide«.		



	Prosonic T FMU 232
Mounting	with slip-on flange or mounting bracket
Cable entry	Pg 16, cable diameter 5...9 mm sleeves for connection thread G 1/2; 1/2 NPT; M 20x1.5 supplied

Endress+Hauser
 GmbH+Co. KG
 Instruments
 International
 P.O. Box 2222
 D-79574 Weil am Rhein
 Germany
 Tel. (07621) 975-02
 Fax (07621) 975-345
<http://www.endress.com>
info@il.endress.com

Endress+Hauser
 The Power of Know How



Anexo 4: Especificaciones Técnicas del Sensor de Caudal

Estas especificaciones pertenecen a la familia Endress Hauser (EndressHauser, 2005).

Proline Promag 50P, 53P

Input

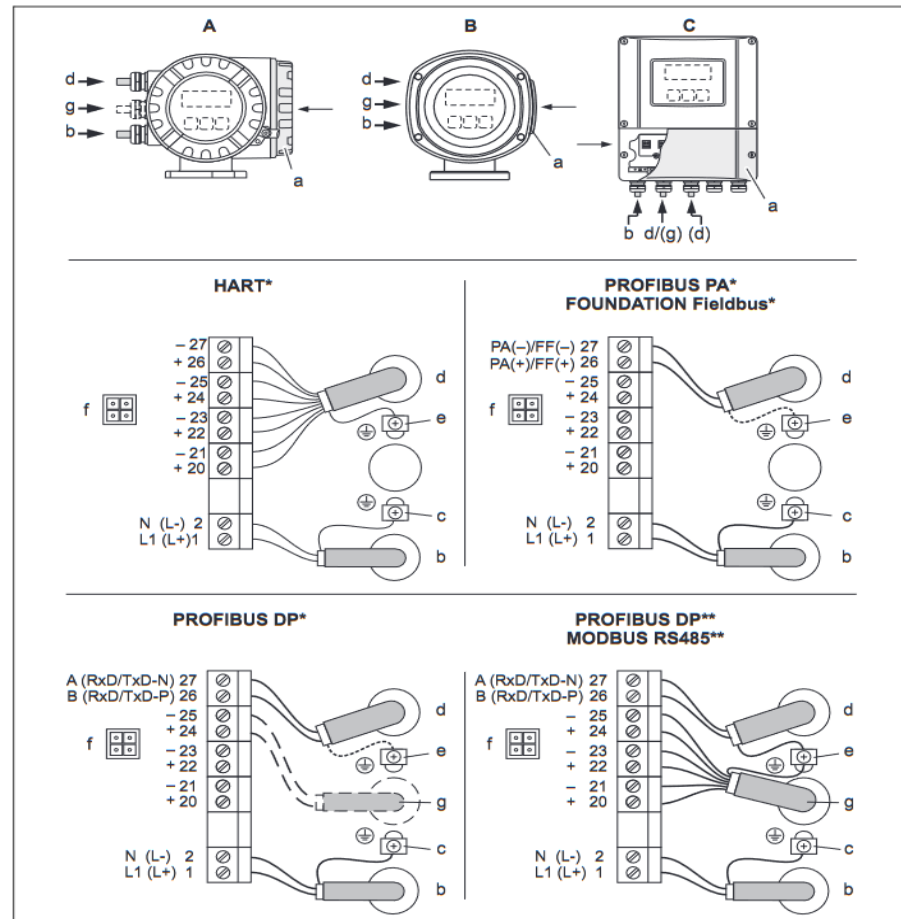
Measured variable	Flow rate (proportional to induced voltage)
Measuring range	Typically $v = 0.01 \dots 10$ m/s with the specified measuring accuracy
Operable flow range	Over 1000 : 1
Input signal	<p>Status input (auxiliary input): $U = 3 \dots 30$ V DC, $R_i = 5$ kΩ, galvanically isolated. Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset.</p> <p>Status input (auxiliary input) with PROFIBUS DP and MODBUS RS485: $U = 3 \dots 30$ V DC, $R_i = 3$ kΩ, galvanically isolated Switching level: $3 \dots 30$ V DC, independent of polarity Configurable for: totalizer(s) reset, measured value suppression, error-message reset, batching start/stop (optional), batch totalizer reset (optional)</p> <p>Current input (for Promag 53 only): Active/passive selectable, galvanically isolated, full scale value selectable, resolution: 3 μA, temperature coefficient: typ. 0.005% o.r./$^{\circ}$C (o.r. = of reading) active: $4 \dots 20$ mA, $R_i \leq 150$ Ω, $U_{out} = 24$ V DC, short-circuit-proof passive: $0/4 \dots 20$ mA, $R_i \leq 150$ Ω, $U_{max} = 30$ V DC</p>

Output

Output signal	<p>Promag 50</p> <p>Current output: active/passive selectable, galvanically isolated, time constant selectable (0.01...100 s), full scale value selectable, temperature coefficient: typ. 0.005% o.r./$^{\circ}$C (o.r. = of reading), resolution: 0.5 μA</p> <ul style="list-style-type: none">■ active: $0/4 \dots 20$ mA, $R_L < 700$ Ω (HART: $R_L \geq 250$ Ω)■ passive: $4 \dots 20$ mA, operating voltage V_S 18...30 V DC, $R_i \leq 150$ Ω <p>Pulse/frequency output: passive, open collector, 30 V DC, 250 mA, galvanically isolated.</p> <ul style="list-style-type: none">■ Frequency output: full scale frequency 2...1000 Hz ($f_{max} = 1250$ Hz), on/off ratio 1:1, pulse width max. 10 s.■ Pulse output: pulse value and pulse polarity selectable, max. pulse width configurable (0.5...2000 ms) <p>PROFIBUS DP interface:</p> <ul style="list-style-type: none">■ Transmission technology (Physical Layer): RS485 in accordance with ANSI/TIA/EIA-485-A: 1998, galvanically isolated■ Profile version 3.0■ Data transmission rate: 9.6 kBaud...12 MBaud■ Automatic data transmission rate recognition■ Function blocks: 1 x analog input, 3 x totalizer■ Output data: volume flow, totalizer■ Input data: positive zero return (ON/OFF), totalizer control, value for local display■ Cyclic data transmission compatible with previous model "Promag 33"■ Bus address adjustable via miniature switches or local display (optional) at the measuring device
----------------------	---

Power supply

Electrical connection
Measuring unit



Anschließen des Messumformers, Leitungsquerschnitt max. 2,5 mm²

A View A (field housing)

B View B (stainless steel field housing)

C View C (wall-mount housing)

*) not changeable communication board

**) changeable communication board

a Cover of the connection compartment

b Cable for power supply: 85...260 V AC, 20...55 V DC, 16...62 V DC

Terminal No. 1: L1 for AC, L+ for DC

Terminal No. 2: N for AC, L- for DC

c Ground terminal for protective conductor

d Signal cable: see Terminal assignment → Page 7 ff.

Fieldbus cable:

Terminal No. 26: DP (A) / PA (+) / FF (+) / MODBUS RS485 (A) / (PA, FF: with reverse polarity protection)

Terminal No. 27: DP (B) / PA (-) / FF (-) / MODBUS RS485 (B) / (PA, FF: with reverse polarity protection)

e Ground terminal for signal-cable shield / Fieldbus cable / RS485 line

f Service connector for connecting service interface FXA 103 (Fieldcheck, Tof Tool - Fieldtool Package)

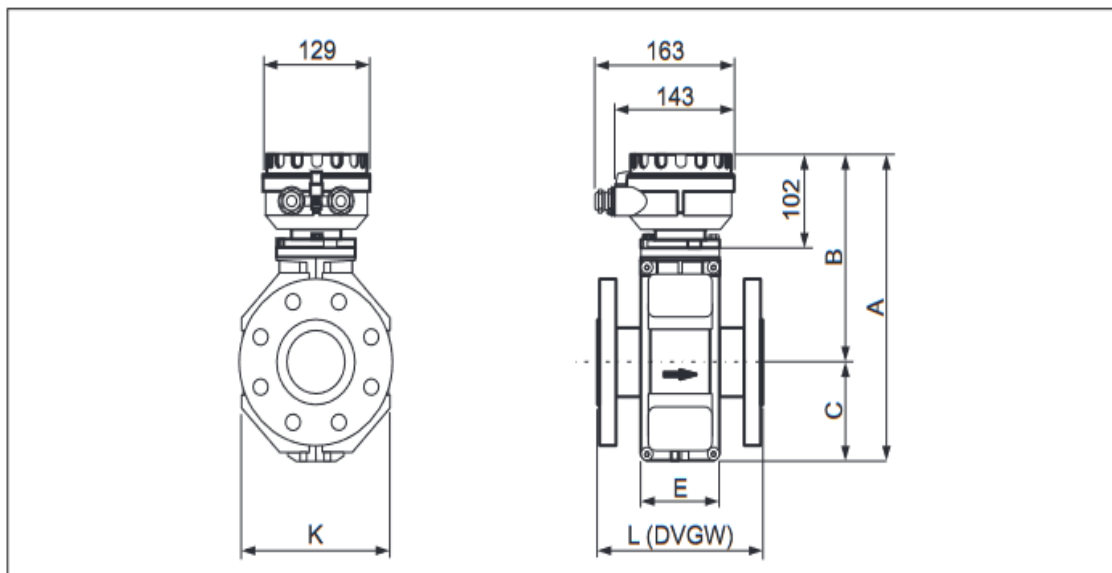
g Signal cable: see Terminal assignment → Page 7 ff.

Cable for external termination (only for PROFIBUS DP with fixed assignment communication board):

Terminal No. 24: +5 V

Terminal No. 25: DGND

Remote version DN ≤ 300



A0003210

DN		L	A	B	C	K	E
EN (DIN) / JIS / AS* [mm]	ANSI [inch]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
15	1/2"	200	286	202	84	120	94
25	1"	200	286	202	84	120	94
32	–	200	286	202	84	120	94
40	1 1/2"	200	286	202	84	120	94
50	2"	200	286	202	84	120	94
65	–	200	336	227	109	180	94
80	3"	200	336	227	109	180	94
100	4"	250	336	227	109	180	94
125	–	250	417	267	150	260	140
150	6"	300	417	267	150	260	140
200	8"	350	472	292	180	324	156
250	10"	450	522	317	205	400	156
300	12"	500	572	342	230	460	166

The fitting length (L) is always the same, regardless of the pressure rating.

* Only DN 25 and 50 are available if flanges according to AS are used.

Fuente: (EndressHauser, 2005)

Anexo 5: Especificaciones Técnicas del Sensor de Turbiedad

Estas especificaciones pertenecen a familia Endress Hauser (EndressHauser, 2013).

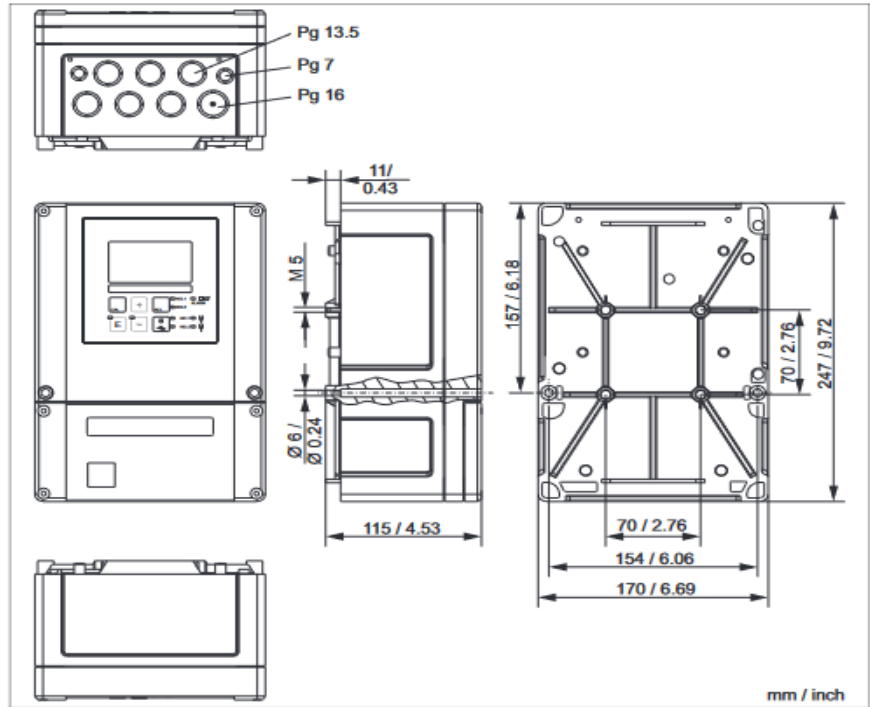
Liquisys M CUM223/253

Function and system design

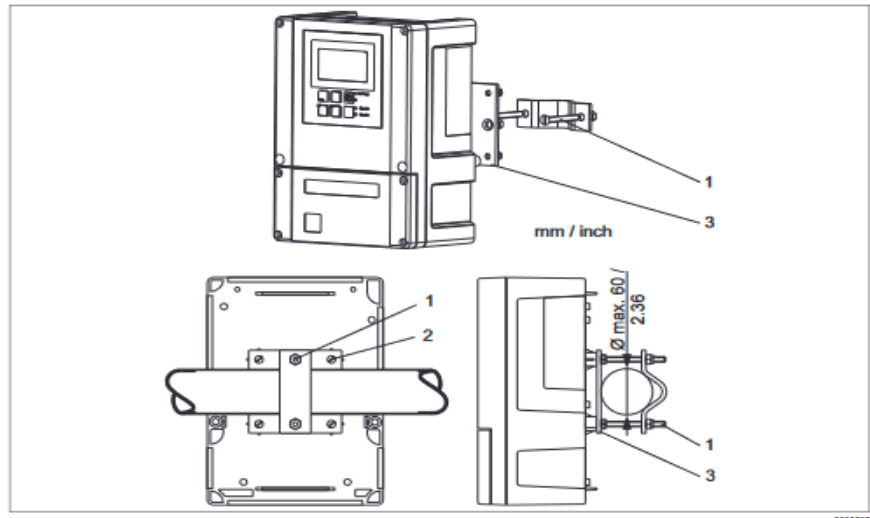
Features of the basic version	<p>Measurement of turbidity and suspended solids</p> <p>The sensor is selected from the menu. During measurement, the value measured can be displayed in the other measuring mode. The temperature is displayed at the same time if desired.</p> <p>Configuration</p> <p>Different alarms are required depending on application and operator. Therefore the transmitter permits independent configuration of the alarm contact and error current for each individual error. Unnecessary or undesirable alarms can be suppressed in this manner. Up to four contacts Up to two contacts can be used as limit contacts (also for temperature), to implement a P(ID) controller or for cleaning functions.</p> <p>Direct manual operation of the contacts (bypassing the menu) provides quick access to limit, control or cleaning contacts, permitting speedy correction of deviations.</p> <p>The serial numbers of the instrument and modules and the order code can be called up on the display.</p>
Additional functions of the Plus package TS	<p>Current output configuration</p> <p>In order to output wide measuring ranges while still achieving a high resolution in specific ranges, the current output can be configured as required via a table. This permits bilinear or quasi-logarithmic curves, etc.</p> <p>Process Check System (PCS)</p> <p>It comprises two independent safety functions:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Errors in applications without control are detected by monitoring the limit between plausible and implausible measured values, i.e. the alarm threshold.▪ Errors in applications with control are detected by the controller monitor which monitors freely adjustable, maximum permissible time intervals and reference value overshoot or undershoot. <p>Live check</p> <p>The live check issues an alarm when the sensor signal does not change over a defined period of time. This may be caused by blocking, passivation, separation from the process, etc.</p>
Additional functions of version TS	<p>Display of various measurement units</p> <p>In addition to turbidity (FNU, NTU) and concentration (ppm / % SS), the display can also show other units (e.g. density). A table is used for conversion (calibration in %).</p>
Second current output	<p>The second current output can be configured for temperature, main measured value (turbidity, suspended solids) or actuating variable.</p>
Current input	<p>The current input of the transmitter allows two different applications: controller shut-down in case of lower flow rate violation or total failure in the main flow as well as feedforward control. Both functions are also combinable.</p>

Installation

Installation instructions



Field instrument



Mounting on pipes

1 - 3 Mounting screws and mounting plate

Anexo 6: Especificaciones Técnicas de Válvula de Asiento de 3/2 vías con Accionamiento Neumático CLASSIC tipo 2006

Estas especificaciones pertenecen a la familia Bürkert (Bürkert., 2021).

Type 2006



1. General technical data

Product properties	
Dimensions	Detailed information can be found in chapter "4. Dimensions" on page 6.
Material	
Body	Stainless steel 316L
Actuator	PA (PPS on request)
Seal	PTFE
Packing gland (with silicone grease)	PTFE V-rings with spring compensation
Nominal diameter	DN15...50
Performance data	
Nominal pressure	PN16 (body)
Pilot pressure (max.)	10 bar 7 bar with actuator size Ø 125
Medium data	
Medium	Water, alcohol, oils, fuels, hydraulic fluid, alkaline solutions, salt solution, organic solutions, hot water, steam
Medium temperature	-10...+180 °C
Viscosity	Max. 600 mm ² /s
Control medium	Neutral gases, air
Process/Port connection & communication	
Port connection	
Threaded connection	G acc. to EN ISO 228-1 NPT acc. to ANSI B 1.20.1 (Rc on request)
Approvals and certificates	
Conformity	EGV 1935/2004 (optional) FDA (optional)
Environment and installation	
Ambient temperature	
PA actuator	-10...+60 °C
PPS actuator	
Actuator size Ø 50...80 mm	+5...+140 °C
Actuator size Ø 125 mm	+5...+90 °C (short-term up to 140 °C)
Installation position	As required, preferably with actuator in upright position

DTS 1000257612 EN Version: F Status: RL (released | freigeben | valide) printed: 17.11.2021

Visit product website ▶

3 | 11

2. Circuit functions

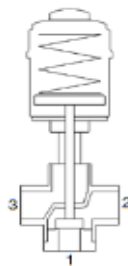
2.1. Control function

Control function	Description
	SF: C, pneumatically operated process valve 3/2 way When de-energised, pressure port 1 closed, service port 2 exhausted
	SF: D, pneumatically operated process valve 3/2 way When de-energised, pressure port 3 connected to service port 2, exhaust port 1 closed
	SF: E, pneumatically operated mixer valve 3/2 way When de-energised, pressure port 3 connected to service port 2, pressure port 1 closed
	SF: F, pneumatically operated distributor valve 3/2 way When de-energised, pressure port 2 connected to service port 3, service port 1 closed

2.2. Pin assignment for fluidic circuit functions C, D, E and F

Note:

- Actuator with Control function A
- When de-energised port connection 1 is closed with spring

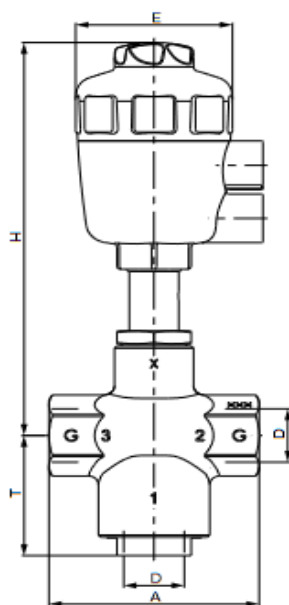


Fluidic circuit function	Connection		
	1	2	3
C	P	A	R
D	R	A	P
E	P1	A	P2
F	A	P	B

A, B Service ports
 P, P1, P2 Pressure ports
 R Exhaust port

4. Dimensions

Note:
Dimensions in mm



Nominal diameter	Actuator size Ø	Port connection D	A	E	H	T
15	50	G ½	85	64	178	54
	63			80		
20	50	G ¾	85	64	178	54
	63			80		
25	63	G 1	105	80	220	54
32	80	G 1¼	130	101	249	68
	125			158		
40	63	G 1½	130	80	226	68
	80			101		
	125			158		
50	125	G 2	150	158	352	72

Anexo 7: Especificaciones Técnicas de electroválvula 2/2 vías GEMÜ 205

Estas especificaciones pertenecen a la familia GEMÜ (Gebr.Müller, 2021a).

GEMÜ

GEMÜ 205 *Electrically operated solenoid valve*



Features

- Hermetic separation between medium and actuator
- In case of power failure operation possible by manual override
- Standard integral optical position indicator

Description

The GEMÜ 205 directly controlled 2/2-way plastic solenoid valve has a high performance coil. It is hermetically separated from the medium by means of a flexible PTFE bush. The armature is sealed by a bellows made of PTFE backed by an additional safety diaphragm. The plug has a rectifier for use with an AC supply. A manual override and an optical position indicator are integrated as standard.

Technical specifications






- **Media temperature** : -20 to 60 °C
 - **Ambient temperature**: 10 to 40 °C
 - **Operating pressure** : 0 to 6 bar
 - **Nominal sizes**: DN 10 to 50
 - **Connection types**: Solvent cement socket | Spigot | Threaded connection | Union end
 - **Connection standards**: DIN | ISO
 - **Body materials**: PVC-U, grey | PVDF
 - **Supply voltages**: 120 V AC, 50/60 Hz | 230 V AC, 50/60 Hz | 24 V AC, 50/60 Hz | 24 V DC
- Technical data depends on the respective configuration

ERC

further information
webcode: GW-205

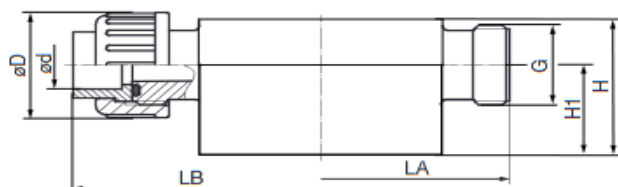


Product line

					
	GEMÜ 52	GEMÜ 102	GEMÜ 202	GEMÜ 205	GEMÜ 225
Nominal sizes	DN 2 to 6	DN 6 to 10	DN 10 to 15	DN 10 to 50	DN 15 to 50
Voltage					
12 V DC	●	●	●	-	-
120 V AC, 50/60 Hz	●	●	●	●	●
230 V AC, 50/60 Hz	●	●	●	●	●
24 V AC, 50/60 Hz	●	●	●	●	●
24 V DC	●	●	●	●	●
Media temperature *	-20 to 100 °C	-20 to 100 °C	-20 to 100 °C	-20 to 60 °C	-20 to 60 °C
Operating pressure *	0 to 6 bar	0 to 4 bar	0 to 2 bar	0 to 6 bar	0 to 6 bar
Connection types					
Solvent cement socket	-	●	●	●	-
Spigot	-	-	-	●	●
Threaded connection	●	●	●	●	-
Union end	-	-	-	●	●
Body material					
PVC-U	-	-	-	-	●
PVC-U, grey	●	●	●	●	-
PVDF	●	●	●	●	-

* depending on version and/or operating parameters

Union end with insert (code 7)

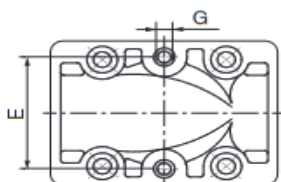


	Material Code ¹⁾	DN 10	DN 15	DN 20
$\varnothing d$		16.0	20.0	25.0
G		G 3/4	G 1	G 1 1/4
H		45.0	63.0	63.0
H1		30.0	30.0	30.0
$\varnothing D$	1	35.0	43.0	53.0
LA		108.0	108.0	108.0
LB		142.0	146.0	152.0
$\varnothing D$	20	34.0	47.0	57.0
LA		106.0	106.0	106.0
LB		142.0	144.0	148.0

Dimensions in mm

- 1) **Valve body material**
 Code 1: PVC-U, grey
 Code 20: PVDF

Mounting dimensions



	Connection Code ¹⁾	DN 10	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50
E		40.0	40.0	40.0	44.5	44.5	44.5	44.5
G	0,1,2,7	M5	M5	M5	M8	M8	M8	M8
	30,31	8 - 36 UNF	10 - 32 UNF	10 - 32 UNF	5/16" - 32 UNF	-	-	-

Dimensions in mm

- 1) **Connection type**
 Code 0: Spigot DIN
 Code 1: Threaded socket DIN ISO 228
 Code 2: Solvent cement socket DIN
 Code 7: Union end with insert (socket) – DIN
 Code 30: Imperial butt weld spigot
 Code 31: Threaded socket NPT

Anexo 8: Especificaciones Técnicas de electroválvula 2/2 vías GEMÜ 8258

Estas especificaciones pertenecen a la familia GEMÜ (Gebr.Müller, 2021b).

GEMÜ

GEMÜ 8258

Electrically operated solenoid valve



Features

- Low power consumption
- High flow rates
- Soft closing action
- Low minimum pressure differential
- Simple, compact construction
- Simple coil replacement without tools (Click-on®)
- Optional manual override
- Explosion protected solenoids acc. to ATEX available as an option
- Type examination up to DN 25 to DIN EN 60730-2-8
- Optional mounting bracket available (not pre-assembled)
- NPT thread available

Description

The GEMÜ 8258 2/2-way servo assisted solenoid valve has a brass or stainless steel valve body. All parts that come into contact with the medium are made from stainless steel, NBR, EPDM or FPM. The valve is suitable for inert media such as air, water and oils.

Technical specifications

- Media temperature: -10 to 110 °C
- Ambient temperature: -10 to 50 °C
- Operating pressure: 0,1 to 16 bar
- Nominal size : DN 8
- Supply voltages: 110 V AC, 50/60 Hz | 230 V AC, 50/60 Hz | 24 V AC, 50/60 Hz | 24 V DC
- Connection types: Threaded connection
- Connection standards: DIN | ISO | NPT
- Body materials: 1.4408, investment casting material | CW617N, brass
- Conformities: EAC

EAC

further information
webcode: GW-8258

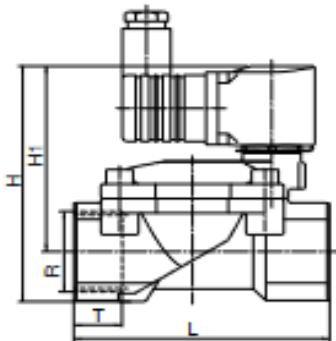


Product line

				
	GEMÜ 8253	GEMÜ 8257	GEMÜ 8258	GEMÜ 8259
Nominal sizes	DN 8 to 50	DN 10	DN 8 to 50	DN 2 to 5
Voltage				
110 V AC, 50 Hz	-	-	-	●
110 V AC, 50/60 Hz	●	-	●	-
230 V AC, 50 Hz	-	●	-	●
230 V AC, 50/60 Hz	●	-	●	-
230 V AC, 60 Hz	-	●	-	-
24 V AC, 50 Hz	-	●	-	-
24 V AC, 50/60 Hz	●	-	●	-
24 V AC, 60 Hz	-	●	-	-
24 V DC	●	●	●	●
Media temperature *	-10 to 110 °C	-10 to 150 °C	-10 to 110 °C	-10 to 110 °C
Operating pressure *	0 to 16 bar	0 to 10 bar	0,1 to 16 bar	0 to 20 bar
Connection types				
Threaded connection	●	●	●	●
Body material				
1.4408, investment casting material	●	●	●	●
CW617N, brass	●	●	●	●

* depending on version and/or operating parameters

Dimensions



DN	Control function code ¹⁾					Connection type code ²⁾				
	L	H	1		2		1		31	
			H1	H	H1	R	T	R	T	
8	60.0	78.5	67.0	78.5	67.0	G 1/4	12.0	1/4" NPT	10.0	
10	60.0	78.5	67.0	78.5	67.0	G 3/8	12.0	3/8" NPT	10.5	
15	67.0	81.0	67.0	81.0	67.0	G 1/2	14.0	1/2" NPT	13.5	
20	80.0	88.0	71.5	88.0	71.5	G 3/4	16.0	3/4" NPT	14.0	
25	95.0	97.5	77.0	97.5	77.0	G 1	18.0	1" NPT	17.0	
32	132.0	124.5	95.5	142.0	113.0	G 1¼	20.0	1¼" NPT	17.0	
40	132.0	124.5	95.5	142.0	113.0	G 1½	22.0	1½" NPT	17.0	
50	160.0	142.5	108.0	160.0	125.5	G 2	24.0	2" NPT	17.5	

Dimensions in mm

1) **Control function**

Code 1: Normally closed (NC)
Code 2: Normally open (NO)

2) **Connection type**

Code 1: Threaded socket DIN ISO 228
Code 31: Threaded socket NPT

Anexo 9: Especificaciones Técnicas de válvula de asiento inclinado 2/2 vías con Accionamiento Neumático CASSIC

Estas especificaciones pertenecen a la familia Bürkert (Bürkert, 2021).

Tipo 2000



1. Datos técnicos generales

Características del producto	
Dimensiones	Obtendrá información más detallada en el capítulo -6. Dimensiones- en la página 7.
Material	Obtendrá información más detallada en el capítulo -5. Materiales- en la página 6.
Tipo de construcción	Válvula de asiento Inclinado
Diámetro nominal de conexión	DN10...DN80, NPS ½...NPS 3
Posición de seguridad en caso de corte de energía	Cerrada (función de control A), abierta (función de control B)
Flujo de entrada	Contra la dirección de corte (por debajo del asiento), a favor de la dirección de cierre (por encima del asiento)
Datos de rendimiento	
Presión de trabajo	0...25 bar(g), vacío hasta -0,9 bar (g) (opcional), consulte -7.1. Datos fluidicos- en la página 11
Presión nominal	PN25 (DIN EN 1333), clase 150 (DIN EN 1759)
Presión de control	2...10 bar(g), consulte -7.1. Datos fluidicos- en la página 11
Valores de K _v	3,8...140 m³/h
Datos de los fluidos	
Fluidos	Vapor, agua, gases neutros, alcoholes, aceites, combustibles, fluidos hidráulicos, soluciones salinas, disolventes orgánicos, gases de combustión de categoría I, II y III según el reglamento (UE) 2016/426 sobre los aparatos de gas y oxígeno
Temperatura del fluido	-40...230 °C, consulte -7.2. Límites de aplicación- en la página 15
Viscosidad	Máx. 600 mm²/s
Fluidos de control	Aire, gases neutros
Conexión de proceso/tubería y comunicación	
Conexiones de tubería ¹⁾	
Orificio roscado	G (DIN ISO 228-1) NPT (ASME B 1.20.1) Rc (ISO 7-1)
Conexión por soldadura	DIN EN ISO 1127 / ISO 4200 / DIN 11866 B DIN 11850 2 / DIN 11866 A ASME BPE / DIN 11866 C SMS 3008
Conexión Clamp	DIN 32676 B (Tubería ISO 4200) DIN 32676 A (Tubería DIN 11850 2) ASME BPE
Conexiones de aire de control	
Tamaño del actuador Ø 40(C)	Rosca G ½
Tamaño del actuador Ø 50(D)... 125(H)	Rosca G ¾
Certificaciones y homologaciones	
Conformidad	FDA y Reglamento 1935/2004 (CE) para productos en contacto con alimentos Agua potable Directiva sobre equipos a presión Reglamento sobre los aparatos de gas Directiva sobre máquinas
Certificaciones	Protección frente a explosiones ATEX / IECEx
Certificados de los materiales	2.2; 3.1
Entorno e instalación	
Temperatura ambiente	-10...140 °C consulte -2. Versiones de los productos- en la página 4
Tipo de protección	IP67
Posición de montaje	Cualquiera; preferiblemente con el actuador hacia arriba

¹⁾ Orce previa solicitud

DTS 100044946 ES Version: B Status: RL (released) | freigegeben | valide | printed: 18.11.2021

Visite la página web del producto >

3 | 25

2. Versiones de los productos



2.1. Cuerpo de bronce con actuador de PA

Características del producto	
Diámetro nominal de conexión	DN10...DN65, NPS 3/8...NPS 2 1/2
Datos de rendimiento	
Presión de trabajo	0...16 bar(g), vacío hasta -0,9 bar(g) (opcional), consulte -7.1. Datos fluidicos- en la página 11
Presión de pilotaje máxima	
Tamaño del actuador 40(C), 50(D), 63(E), 80(F), 100(G)	10 bar(g)
Tamaño de actuador 125(H)	7 bar(g)
Datos de los fluidos	
Temperatura del fluido	-40...180 °C
Conexiones de producto	
Conexiones de cable	orificio roscado
Entorno e instalación	
Temperatura ambiente	-10...60 °C (consulte -7.2. Límites de aplicación- en la página 15)



2.2. Cuerpo de acero inoxidable con actuador de PA

Características del producto	
Diámetro nominal de conexión	DN10...DN80, NPS 3/8...NPS 3
Datos de rendimiento	
Presión de trabajo	0...25 bar(g), vacío hasta -0,9 bar(g) (opcional), consulte -7.1. Datos fluidicos- en la página 11
Presión de pilotaje máxima	
Tamaño del actuador 40(C), 50(D), 63(E), 80(F), 100(G)	10 bar(g)
Tamaño de actuador 125(H)	7 bar(g)
Datos de los fluidos	
Temperatura del fluido	-10...185 °C
Conexiones de producto	
Conexiones de cable	Conexión roscada, por soldadura o Clamp
Entorno e instalación	
Temperatura ambiente	-10...60 °C (consulte -7.2. Límites de aplicación- en la página 15)



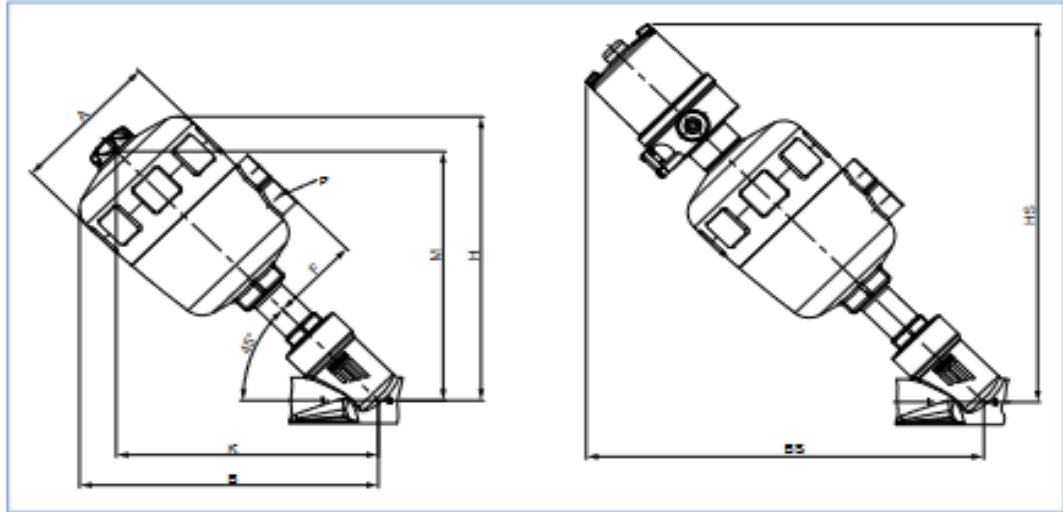
2.3. Cuerpo de acero inoxidable con actuador de PPS

Características del producto	
Diámetro nominal de conexión	DN10...DN80, NPS 3/8...NPS 3
Datos de rendimiento	
Presión de trabajo	0...25 bar(g), vacío hasta -0,9 bar(g) (opcional), consulte -7.1. Datos fluidicos- en la página 11
Presión de pilotaje máxima	
Tamaño del actuador 40(C), 50(D), 63(E), 80(F)	10 bar(g)
Tamaño del actuador 100(G), 125(H)	7 bar(g)
Datos de los fluidos	
Temperatura del fluido	-40...230 °C
Conexiones de producto	
Conexiones de cable	Conexión roscada, por soldadura o Clamp
Entorno e instalación	
Temperatura ambiente	5...140 °C (con funcionamiento continuo hasta 130 °C) (Consulte -7.2. Límites de aplicación- en la página 15)

DTS 100044946 ES Version: B Status: RL (released) | freigegeben | valide | printed: 18.11.2021

6. Dimensiones

6.1. Válvula de asiento inclinado Tipo 2000 y sistema de válvulas On/Off CLASSIC Tipo 8801-YA



Diámetro nominal de la conexión (tubería)		Tamaño del actuador Ø	Ø A	B / H ¹⁾	K / M ¹⁾	P	BS / HS ¹⁾
DN	NPS		[mm]	[mm]	[mm]	[pulgadas]	[mm]
10	3/8	40(C)	53	127	110	G 1/8	198
		50(D)	64	145	129	G 1/8	216
		63(E)	80	177	158	G 1/8	246
15	1/2	40(C)	53	127	110	G 1/8	198
		50(D)	64	145	129	G 1/8	216
		63(E)	80	177	158	G 1/8	246
20	3/4	40(C)	53	130	113	G 1/8	201
		50(D)	64	150	133	G 1/8	207
		63(E)	80	174	155	G 1/8	243
		80(F)	101	195	171	G 1/8	259
25	1	50(D)	64	152	136	G 1/8	223
		63(E)	80	178	159	G 1/8	242
		80(F)	101	195	171	G 1/8	259
32	1 1/4	63(E)	80	188	169	G 1/8	257
		80(F)	101	209	185	G 1/8	273
		100(G)	127	262	232	G 1/8	320
40	1 1/2	63(E)	80	191	172	G 1/8	260
		80(F)	101	213	188	G 1/8	277
		100(G)	127	251	221	G 1/8	309
		125(H)	158	291	254	G 1/8	342
50	2	63(E)	80	209	190	G 1/8	278
		80(F)	101	230	206	G 1/8	294
		100(G)	127	277	247	G 1/8	335
		125(H)	158	306	269	G 1/8	357
65	2 1/2	80(F)	101	242	218	G 1/8	306
		100(G)	127	290	260	G 1/8	348
		125(H)	158	319	282	G 1/8	370
		125(H)	158	339	301	G 1/8	390
80	3	125(H)	158	339	301	G 1/8	390

1.) Las dimensiones de B, H, K, M, HS y BS son valores máximos y, dependiendo del diámetro nominal de la conexión y de la norma, pueden diferir hasta en 6 mm.



Anexo 10: Especificaciones Técnicas de válvula de proceso Neumática FESTO VZPR-BPD-22-R2


Estas especificaciones pertenecen a la familia FESTO (Festo, 2020).

Unidades de accionamiento con cierre esférico VZPR

FESTO

Características y cuadro general de productos

Generales	Función	Propiedades	
 Rosca de conexión Rp $\frac{1}{4}$... Rp $\frac{2}{2}$	<ul style="list-style-type: none"> Ejecución en latón VZPR-... Distribución de conexiones según NAMUR VDI/VDE 3845 Clase PN según DIN EN 1333 	<ul style="list-style-type: none"> Combinación de actuador giratorio neumático y válvula de bola El caudal se bloquea o abre completamente en ambos sentidos Válvula de 5/2 vías con conexiones según NAMUR, para la conexión directa al actuador Los cabezales de detectores de final de carrera pueden montarse directamente en el actuador 	<p>Válvulas con distribución de conexiones según NAMUR → Internet: namur</p> <p>Cabezales de detectores con distribución de conexiones según NAMUR → Internet: dapz</p>
 Caudal Kv 5,9 ... 535 m ³ /h			

Ejecución	Tipo	Rosca de conexión ¹⁾	Diámetro nominal [mm]	Presión nominal de válvulas de procesos continuos [bar]	→ Página/Internet
Latón					
	VZPR-BPD-...	Rp $\frac{1}{4}$	15	PN 40	5
		Rp $\frac{3}{8}$	15	PN 40	
		Rp $\frac{1}{2}$	15	PN 40	
		Rp $\frac{3}{4}$	20	PN 40	
		Rp1	25	PN 40	
		Rp1 $\frac{1}{4}$	32	PN 40	
		Rp1 $\frac{1}{2}$	40	PN 25	
		Rp2	50	PN 25	
		Rp2 $\frac{1}{2}$	63	PN 25	

1) Rosca interior según DIN ISO 228-1

Unidades de accionamiento con cierre esférico VZPR-BPD

FESTO


Hoja de datos


Función



-  Ángulo de giro
0 ... 90°
-  Caudal Kv
5,9 ... 535 m³/h



-  Rosca de conexión
Rp1/4 ... Rp2 1/2

-  Momento de giro
15 ... 180 Nm

Datos técnicos generales									
Rosca de conexión	Rp1/4	Rp3/8	Rp1/2	Rp3/4	Rp1	Rp1 1/4	Rp1 1/2	Rp2	Rp2 1/2
Actuador giratorio									
Conexión neumática	G3/8								
Construcción	Yugo con placa guiada, de doble efecto								
Tipo de fijación	Con rosca interior								
Posición de montaje	Indistinta								
Ángulo de giro [°]	90								
Sentido de cierre	Cierre hacia la derecha								
Momento de giro con 5,6 bar [Nm] y ángulo de giro de 0°	15	15	15	30	30	60	60	106	180
Válvula de bola									
Función de válvula	2/2								
Construcción	Válvula de bola, de 2 vías								
Principio de estanquidad	Por junta de material sintético								
Tipo de accionamiento	Neumático								
Sentido del flujo	Reversible								
Diámetro nominal [mm]	15	15	15	20	25	32	40	50	63
Caudal Kv [m ³ /h]	5,9	9,4	17	41	70	121	200	292	535


Condiciones de funcionamiento y del entorno									
Rosca de conexión	Rp1/4	Rp3/8	Rp1/2	Rp3/4	Rp1	Rp1 1/4	Rp1 1/2	Rp2	Rp2 1/2
temperatura ambiente [°C]	-20 ... +80								
temperatura del fluido [°C]	-20 ... +150								
Actuador giratorio									
Presión de funcionamiento ¹⁾ [bar]	1 ... 8,4								
Fluido	Aire seco, con o sin lubricación								
Válvula de bola									
Presión nominal de válvulas de procesos continuos ²⁾	PN 40	PN 40	PN 40	PN 40	PN 40	PN 40	PN 25	PN 25	PN 25
Fluido	Aire comprimido, agua, gases neutros, líquidos neutros, vacío								

1) Las presiones de funcionamiento varían en función de la cantidad de machos de los actuadores giratorios de simple efecto.
2) Clase PN según DIN EN 1333.

Fuente: (Festo, 2020)

Anexo 11: Especificaciones Técnicas de válvula solenoide de 2 vías AirTac-2KL50050BIG


Estas especificaciones pertenecen a la familia AIRTAC (AirTac, 2017).



Click to shop online @ www.trimantec.com or call 336-767-1379



Fluid control valve(2/2 way) 2KL Series (Direct-acting and normally opened)



Symbol



Product feature

1. Direct acting and normally opened type 2/2 way solenoid valve. Its high sensibility allows it to change direction quickly;
2. It has wide pressure range, including standard high pressure (H) to choose from;
3. It is compact, small size and light weight. It is easy to install and dismantle.
4. The valve body is made of SUS304. Its coil has a Heat resistance classification of Class H. The standard seal material is PTFE(Teflon) which is suitable for a variety of working medium such as water with high temperature and vapour.
5. The protection class of the coil is IP65 and there is a choice for : grommet or terminal electrical entry.

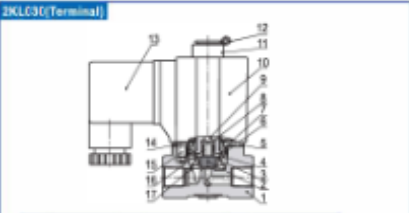
Valve's specification

Acting	Direct acting			
Initial state	Normally opened			
Adaptable fluid ①	Steam, High temperature Water, Oil			
Viscosity limit	Under20CST			
Ambient and fluid temperature(°C)	Oil	Water	Steam	Ambient
	Max. 150	150	183	100
	Min. -10②	1	-	-20

① Note: Please refer to P121 for detail of other's fluid.
② Note: 50CST or less.

Inner structure

2KL030(Terminal)



No.	Item	No.	Item	No.	Item
1	Body	7	Fixed cap	13	Connector
2	Airtight ring	8	Electromagnet	14	Spring washer
3	Spring	9	Man drill	15	Screw
4	Fixed ring	10	Coil assembly	16	Spring
5	Fixed plate	11	Position ring	17	Airtight bush
6	O-ring	12	E Clip		

Specification

Type/Item	Port size①	Orifice size (G1/8)	Cv	Orifice area② section/cm²	Weight G(g)	Max. operating pressure differential MPa	psl	Proof pressure MPa	psl
2KL.H030	-06 1/8"	2.0	0.18	3.0	305	1.5	220	3.0	450
	-08 1/4"				295				
2KL.030	-06 1/8"	3.0	0.33	6.0	305	0.7	100		
	-08 1/4"				295				
2KL.H050	-10 3/8"	4.0	0.55	10.0	610	1.5	220		
	-12 1/2"				600				
2KL.050	-10 3/8"	5.0	0.83	15.0	610	0.7	100		
	-12 1/2"				600				

① PT thread, NPT thread and G thread are available.
② The weight in the table is the terminal valve's weight, 2KL.030 series grommet valve's weight is 10g less than terminal's. 2KL.050series grommet valve's weight is 20g less than terminal's.

Specification of coil

Valve type	Coil type	Power type	Frequency (Hz)	Wiring range	Coil entry	Power Consumption (VA/W)	Insulation	Temp. rise(°C)	
2KL□030	CDA116 CLA116	AC	50	±15%	Terminal (CDA) Grommet (CLA)	15.0VA	Class H	50	
			60			11.0VA		40	
2KL□050	CDA170 CLA170	AC	50	±15%		Grommet (CLA)		35.0VA	65
			60					30.0VA	
		DC	-	±10%		10.5W		40	

Ordering code

2KL H 030 08 A □ □

- Model: 2KL: 2/2 way direct-acting and normally opened
- Pressure condition: H: High pressure, Blank: Standard
- Size series: 030: 030 Series, 050: 050 Series
- Port size: 030 Series: 08: 1/8", 10: 1/4", 050 Series: 15: 3/8", 15: 1/2"
- Thread type: Blank: PT, T: NPT, G: G
- Electrical entry: Blank: Terminal, E: Grommet
- Voltage: A: AC220V, B: DC24V, C: AC110V, E: AC24V, F: DC12V

Ordering code of accessories

Ordering code of accessories is the same as 2S series valve's. Please refer to P96 for details of ordering code.

116

Fluid control valve(2/2 way)

2KL Series (Internally piloted and normally opened)



Specification

Type/Item	Part size ¹⁾	Orifice size (Φmm)	Cv	Valid area of section(mm ²)	Weight (g)	Max operating pressure differential		Proof pressure	
						Mpa	psi	MPa	psi
2KL150-15	1/2"	15.0	5.50	100.0	675	Max:0.7 Min:0.05	Max:100 Min:10	1.5	220
2KL200-20	3/4"	20.0	9.50	170.0	880				
2KL250-25	1"	25.0	12.50	220.0	1125				
2KL320-32	1 1/4"	35.0	23.00	420.0	2710				
2KL400-40	1 1/2"	40.0	31.00	560.0	3250				
2KL500-50	2"	50.0	49.00	860.0	4310				

1) PT thread, NPT thread and G thread are available.

2) The weight in the table is the terminal valve's weight, 2KL150-250 series grommet valve's weight is 10g less than terminal's. 2KL320-500series grommet valve's weight is 25g less than terminal's.

Symbol



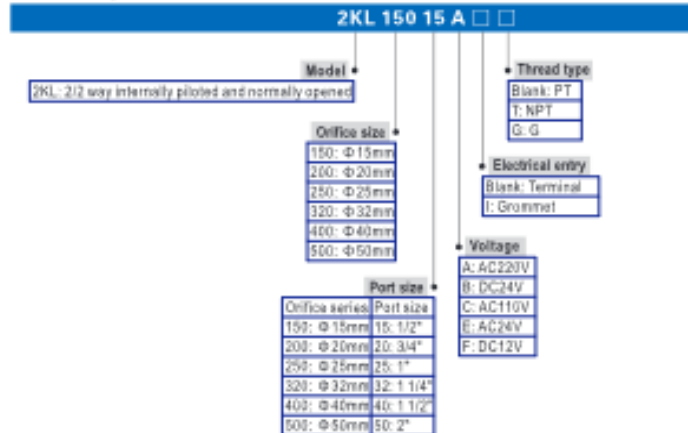
Product feature

1. Indirect acting (internal pilot) and normally opened type 2/2 way solenoid valve. Its high sensibility allows it to change direction quickly.
2. It is compact, small size and light weight. It is easy to install and dismantle.
3. The valve body is made of SUS304. Its coil has a Heat resistance classification of Class H. The standard seal material is PTFE(Teflon) which is suitable for a variety of working medium such as water with high temperature and vapour.
4. The protection class of the coil is IP65 and there is a choice for grommet or terminal electrical entry.

Specification of coil

Valve type	Coil type	Power type	Frequency (Hz)	Voltage range	Electrical entry	Power Consumption (VA/W)	Insulation	Temp. rise(°C)
2KL150	CDA116	AC	50	±15%	Terminal (CDA)	15.0VA	Class H	50
2KL200	CLA116		60			11.0VA		40
2KL250		DC	-	±10%		6.5W		30
2KL320	CDA170	AC	50	±15%	Grommet (CLA)	35.0VA	Class H	65
2KL400	CLA170		60			30.0VA		60
2KL500		DC	-	±10%		10.5W		40

Ordering code



Valve's specification

Acting		Internally piloted			
Initial state		Normally opened			
Adaptable fluid	1:	Steam, High temperature Water, Oil			
Viscosity limit		Under 20cSt			
Ambient and fluid temperature(°C)		Oil	Water	Steam	Ambient
	Max.	150	150	183	100
	Min.	-10.2	-	-	-20

1: Note: Please refer to P121 for detail of other's fluid.

2: Note: 50cSt or less.

Inner structure

2KL150(Grommet)

No.	Item	No.	Item	No.	Item
1	Gasket	11	Fixed cap	21	O-ring
2	Piston	12	Bead flange	22	Fixed ring
3	Body	13	Coil assembly	23	Airtight ring
4	Gasket	14	Position ring	24	Plug
5	Screw	15	E Clip	25	Spring
6	Wear ring	16	Man drill	26	O-ring
7	Spring	17	Electromagnet	27	Bush
8	Cover	18	Spring	28	O-ring
9	Spring	19	Airtight bush	29	Fixed ring
10	Screw	20	Fixed plate		

Ordering code of accessories

Ordering code of accessories is the same as 2S series valve's. Please refer to P98 for details of ordering code.

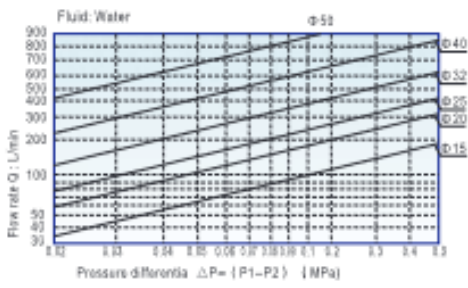
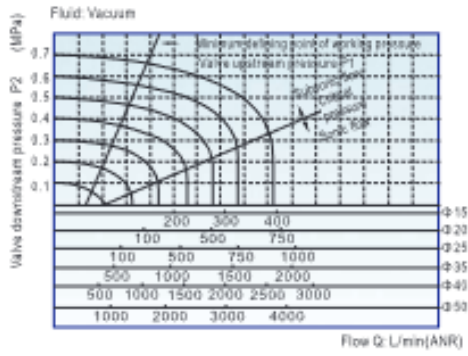
Note: 3201400/500 series valves do not have mounting accessories.

Fluid control valve(2/2 way)



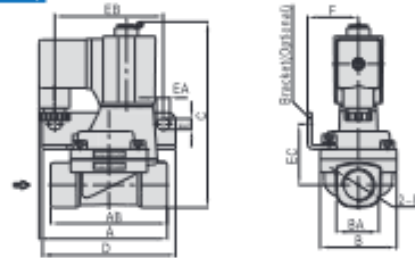
2KL Series (Internally piloted and normally opened)

Flow chart

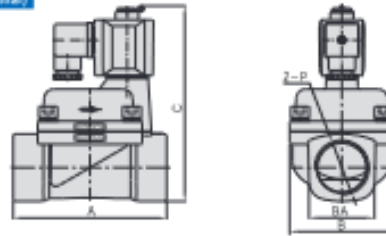


Dimensions

2KL150-250(Terminal)

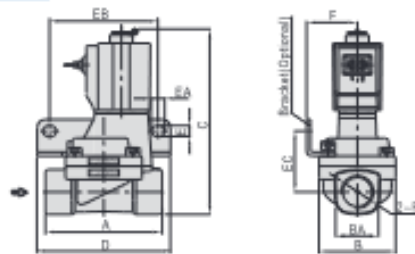


2KL320-500(Terminal)

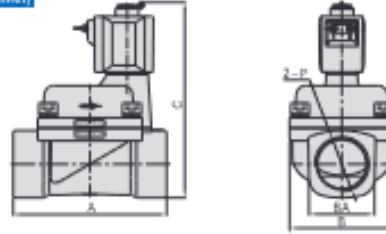


Type/Item	A	AB	B	BA	C	D	E	EA	EB	EC	F	P
2KL150-15	77	70	46	27.5	112.5	80	6.4	8	65	36.5	30.5	1/2"
2KL200-20	76.5	62	53	33.5	121	92	6.4	8	75	40	34	3/4"
2KL250-25	61	52	59	40.5	129.5	95	6.4	8	80	44.5	36	1"
2KL320-32	125	-	80	52	160	-	-	-	-	-	-	1 1/4"
2KL400-40	132	-	90	58	167	-	-	-	-	-	-	1 1/2"
2KL500-50	150	-	100	70	182	-	-	-	-	-	-	2"

2KL150-250(Grammat)



2KL320-500(Grammat)



Type/Item	A	B	BA	C	D	E	EA	EB	EC	F	P
2KL150-15	76	46	27.5	112.5	80	6.4	8	65	36.5	30.5	1/2"
2KL200-20	82	53	33.5	121	90	6.4	8	75	40	34	3/4"
2KL250-25	92	59	40.5	129.5	95	6.4	8	80	44.5	36	1"
2KL320-32	125	80	52	160	-	-	-	-	-	-	1 1/4"
2KL400-40	132	90	58	167	-	-	-	-	-	-	1 1/2"
2KL500-50	150	100	70	182	-	-	-	-	-	-	2"

Anexo 12: Especificaciones Técnicas del Regulador de Posición SideControl Tipo 8792

Estas especificaciones pertenecen a la familia Bürkert (Bürkert, 2021).

Type 8792



1. General technical data

1.1. Positioner SideControl Type 8792

Product features	
Dimensions	Detailed information can be found in chapter "2. Dimensions" on page 7.
Material	
Housing	Aluminium plastic-coated
Seals	EPDM, NBR, FKM
Operation	
Display	Graphic display with backlight and intuitive menu navigation
Operating keys	Membrane keypad with 4 keys
Service interface	Connected to PC via USB connection
Configuration tool	Bürkert Communicator PACTware (only for device versions with PROFIBUS)
Commissioning	
Initialization positioner	Automatic by X.TUNE function (automatic adjustment of the positioner)
Status display	
Optical position indicator (mechanical)	Integrated (for NAMUR Version)
Communication	
Fieldbus	EtherNet/IP, PROFINET, Modbus TCP, PROFIBUS DP-V1
Digital	Bürkert system bus (bÜS) - based on CANopen
Position sensor	
Integrated position sensor (NAMUR)	Conductive plastic rotary potentiometer
External remote position sensor	Linear or rotative
Measuring range for rotary actuators	
PROFIBUS	Rotation angle: 30°...150°
EtherNet/IP, PROFINET, Modbus TCP and bÜS	Rotation angle: 30°...180°
Stroke range for linear actuators	3...130 mm, depending on the lever of the attachment kit
Electrical data	
Operating voltage	24 V DC ±10 %
Residual ripple	Max. 10 %
Protection class	III acc. to DIN EN 61140
Power consumption	<5 W
Input /Output	
Digital input	1 binary input, galvanically isolated, 0...5 V = log "0", 10...30 V = log "1"
Digital output	2 binary output (optional), galvanically isolated
Current limitation pro digital output	100 mA, output will be synchronised when overloaded
Analogue output	1 output (optional) 0/4...20 mA, 0...5/10 V
Input data setpoint and actual value	
Setpoint signal	
Setpoint setting	0/4...20 mA 0...5/10 V
Input resistance	0/4...20 mA: 70 Ω 0...5/10 V: 20 kΩ
Electrical connection	
Multipole version	Screw terminals: M8, M12 acc. to device version (see connection description)
Cable gland version	2x M20 × 1.5 (cable Ø6...12 mm) on screw terminals (0.14...1.5 mm ²)
Remote version	1x M12 × 1.5 (cable Ø3...6.5 mm)

DTS 1000121137 EN Version: AC Status: RL (released | freigegeben | valide) printed: 08.09.2021

Visit product website ►

3 | 27

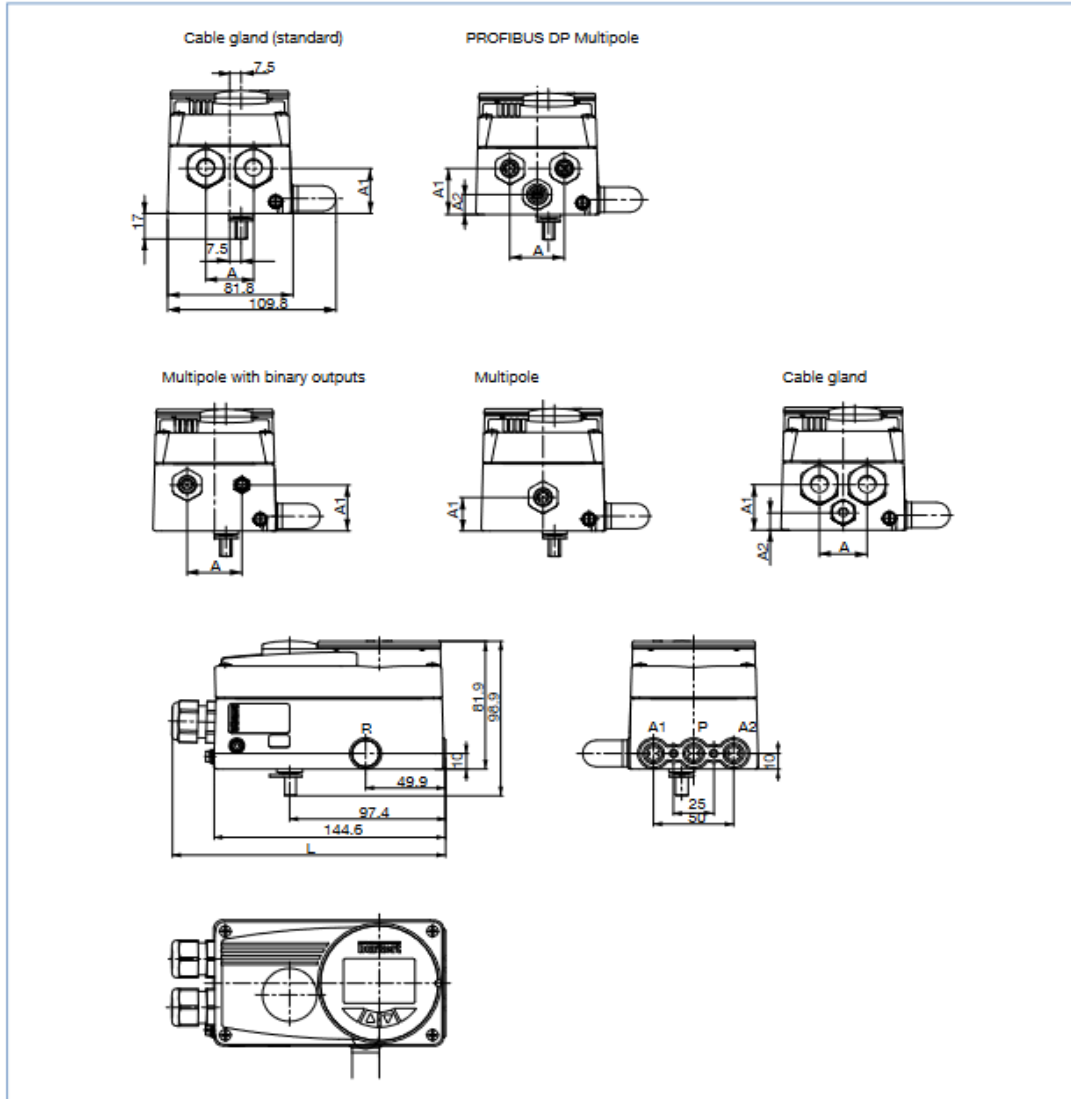
2. Dimensions

2.1. NAMUR version

Note:

Dimensions in mm

DTS 1000121137 EN Version: AC Status: RL (released | freigegeben | valide) printed: 08.09.2021



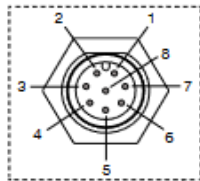
Description	L	A	A1	A2
Standard	171.1	31	30	-
PROFIBUS DP	157.8	36	31	13.5
Multipole binary outputs	157.6	36	31	-
Multipole	157.4	-	22.5	-
Remote	171.1	31	30	11.5

3. Device/Process connections

3.1. Electrical connections

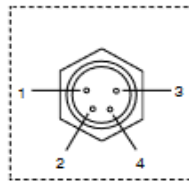
Multipole connection

Operating voltages with diverse signals

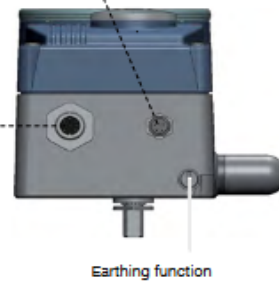


M12 Circular connector, 8 pin

Binary output (optional)



M8 socket, 4 pin



Earthing function

M12 circular plug, 8 pin (setpoint)

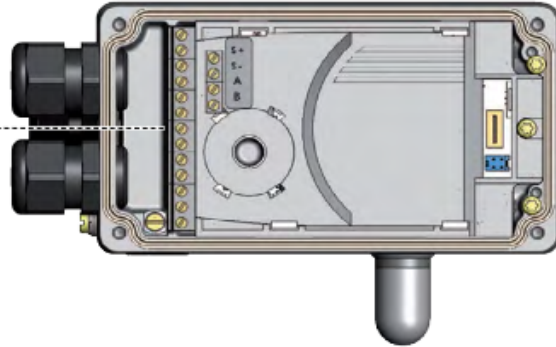
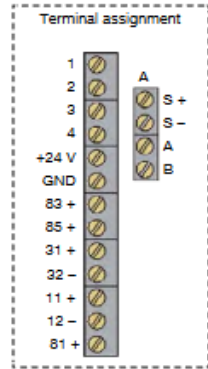
Pin	Pin assignment	Outer circuitry/Signal level
1	Setpoint + (0/4...20 mA or 0...5/10 V)	1 + (0/4...20 mA or 0...5/10 V) Completely galvanically isolated
2	Setpoint GND	2 GND
3	GND	3 24 V DC ± 10 % Max. Residual ripple 10 %
4	+ 24 V	4 24 V DC ± 10 % Max. Residual ripple 10 %
5	Binary input +	5 + 0...5 V (log. 0) 10...30 V (log. 1)
6	Binary input GND	6 GND
Option analogue feedback		
8	Analogue feedback +	8 + (0/4...20 mA or 0...5/10 V) Completely galvanically isolated
7	Analogue feedback GND	7 GND

M8 socket, 4 pin (only for binary outputs options)

Pin	Pin assignment	Outer circuitry/Signal level
1	Binary output 1	1 24 V/0 V, NC/NO Relative to Operating voltage GND (terminal GND)
2	Binary output 2	2 24 V/0 V, NC/NO Relative to Operating voltage GND (terminal GND)
3	Binary output GND	3 GND

DTS 1000121137 EN Version: AC Status: RL (released | freigegeben | valide) printed: 08.09.2021

Screw terminal connection



Terminal	Pin assignment	Outer circuitry/Signal level
11 +	Setpoint +	11 + + (0/4...20 mA or 0...5/10 V) Completely galvanically isolated
12 -	Setpoint GND	12 - GND
81 +	Binary input +	81 + + 0...5 V (log. 0) 10...30 V (log. 1) Relative to operating voltage GND (terminal GND)
+24 V	Operating voltage +	+24 V 24 V DC ± 10 %
GND	Operating voltage GND	GND Max. Residual ripple 10 %

Analogue feedback option/binary outputs

Terminal	Pin assignment	Outer circuitry/Signal level
83 +	Binary output 1	83 + 24 V/0 V, NC/NO Relative to Operating voltage GND (terminal GND)
85 +	Binary output 2	85 + 24 V/0 V, NC/NO Relative to Operating voltage GND (terminal GND)
31 +	Analogue feedback +	31 + + (0/4...20 mA or 0...5/10 V) Completely galvanically isolated
32 -	Analogue feedback GND	32 - GND

Remote version option in conjunction with remote position sensor Type 8798

Note:

For variants without remote version: Terminals A, B, +, - not connected

Terminal	Pin assignment	Outer circuitry/Signal level
Remote position sensor	A	Serial interface, A-line
	B	Serial interface, B-line
	S +	Sensor supply +
	S -	Sensor supply -
		A A-line
		B B-line
		S + +
		S - -

DTS 1000121137 EN Version: AC Status: RL (released) | freigegeben | valide | printed: 08.09.2021

Anexo 13: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 2% de Sulfato de Aluminio

Las siguientes líneas de programación determinan la función de Transferencia para el 2% de Sulfato de Aluminio.

```
%% Planta al 2%
Q = 120;
T = 20;

D = 10.304* (log(T))-8.8294;
cs_2 = (D*Q)/274.45;
Ap2 = (0.7012*cs_2)-2;

den = [Q*0.7012 -548.9];
num = (2827.9328*(log(T))-2423.22883);
G = tf (num,den);
Gc = feedback (G,1);
figure
step (Gc)
title('Sistema al 2%')
xlabel ('Tiempo');
ylabel ('Apertura (Vueltas)');
```

% Apertura
% Dosis
% Función de Transferencia

Fuente: Autores (MATLAB)

Anexo 14: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 3% de Sulfato de Aluminio

Las siguientes líneas de programación determinan la función de Transferencia para el 3% de Sulfato de Aluminio.

```
%% Planta al 3%
Q = 120;
T = 20;

D = 10.304* (log(T))-8.8294;
cs_3 = (0.7*D*Q)/274.45;
Ap3 = (0.7012*cs_3)-2;

den3 = [0.7*Q*0.7012 -548.9];           % Num Vueltas
num3 = (2827.9328*(log(T))-2423.22883); % Dosis
G3 = tf (num3,den3);                   % Función de Transferencia
Gc3 = feedback (G3,1);
figure
step (Gc3)
title('Sistema (Solución Madre al 3%)')
xlabel ('Tiempo');
ylabel ('Apertura (Vueltas)');
```

Fuente: Autores (MATLAB)

Anexo 15: Programación en Matlab para la función de Transferencia al 4% de Sulfato de Aluminio

Las siguientes líneas de programación determinan la función de Transferencia para el 4% de Sulfato de Aluminio.

```
%% Planta al 4%
Q=120;
T=20;

D = 10.304* (log(T))-8.8294;
cs_4 = (0.6*D*Q)/274.45;
Ap4 = (0.7012*cs_4)-2;

den4 = [0.6*Q*0.7012 -548.9];           % Num Vueltas
num4 = (2827.9328*(log(T))-2423.22883); % Dosis
G3 = tf (num4,den4);                   % Función de Transferencia
Gc4 = feedback (G4,1);
figure
step (Gc4)
title('Sistema (Solución Madre al 3%)')
xlabel ('Tiempo');
ylabel ('Apertura (Vueltas)');
```

Fuente: Autores (MATLAB)