# UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

Diseño de un sistema automatizado de dosificación de químicos para el mejoramiento de la calidad del agua

## TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Mecatrónico


**AUTOR(ES)**

| | |
|---|---|
| Rejas Sotelo, Marcos David | 0000-0001-8490-5031 |
| Alvites Enciso, Marco Antonio | 0000-0003-2464-3812 |

**ASESOR(ES)**

| | |
|---|---|
| Vinces Ramos, Leonardo Nikolai | 0000-0002-3518-591X |


**Lima, 14 de noviembre de 2023**

*DEDICATORIA*

*Nuestro trabajo es dedicado a nuestros padres, hermanos y hermanas que han sido nuestros mayores apoyos, ya que sin ellos no hubiese sido posible realizar este proyecto. También nos dedicamos este trabajo hacia nosotros, ya que sin el esfuerzo de cada uno no sería posible realizar este trabajo.*

AGRADECIMIENTOS

Quisiéramos agradecer a nuestros padres, que fueron nuestro mayor apoyo durante este proceso, gracias a Dios y a Jah, que fueron nuestros principales pilares y motivadores para cada día continuar enfrentar este proyecto sin tirar la toalla. Además, quisiéramos darle un gran agradecimiento a todas las personas que fueron participes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, ya que con su aporte logramos terminar este proyecto.

RESUMEN

El presente trabajo propone el diseño de sistema automatizado de dosificación de químicos en las empresas de tratamientos de agua. Este sistema también llamado comúnmente skid de dosificación busca tener un monitoreo y control del químico que se usará en la dosificación, para el caso de este trabajo se esta tomando como el químico a utilizar el sulfato de aluminio, ya que este químico es muy utilizado en las plantas de tratamiento de agua del Perú. El monitoreo de la cantidad de sulfato de aluminio que se está utilizando se logrará gracias a un flujómetro electromagnético, además con la ayuda de los sensores de pH, turbidez y temperatura se verificará y controlará la cantidad de sulfato de aluminio que se debe administrar al sistema. Esta propuesta tendrá en cuenta las normativas y leyes que tiene el gobierno peruano para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave**:** Dosificación; sulfato de aluminio; control de flujo; monitoreo; skid, flujo volumétrico.

Design of an Automated Chemical Dosing System to Improve Water Quality

ABSTRACT

The present work proposes the design of an automated chemical dosing system in water treatment companies. This system, commonly referred to as a dosing skid, aims to provide monitoring and control of the chemical used in dosing. For the purposes of this work, the chemical chosen for use is aluminum sulfate, as it is widely employed in water treatment plants in Peru. Monitoring the quantity of aluminum sulfate is achieved through an electromagnetic flowmeter. Additionally, the pH, turbidity, and temperature sensors will be utilized to verify and control the amount of aluminum sulfate to be administered to the system. This proposal takes into consideration the regulations and laws established by the Peruvian government for wastewater treatment.

Keywords: Dosage; aluminum sulfate; flow control; monitoring; skid, volumetric flow.

u201511146_Alvites Enciso, Marco Antonio_Diseño de un sistema automatizado de dosificación de químicos para el mejoramiento de la calidad del agua

INFORME DE ORIGINALIDAD

| 9% | 7% | 5% | 6% |
|---|---|---|---|
| INDICE DE SIMILITUD | FUENTES DE INTERNET | PUBLICACIONES | TRABAJOS DEL ESTUDIANTE |

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|---|
| 1 | Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas<br>Trabajo del estudiante | 2% |
| 2 | hdl.handle.net<br>Fuente de Internet | 1% |
| 3 | Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE<br>Trabajo del estudiante | 1% |
| 4 | repositorio.uncp.edu.pe<br>Fuente de Internet | 1% |
| 5 | pirhua.udep.edu.pe<br>Fuente de Internet | <1% |
| 6 | Submitted to Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC<br>Trabajo del estudiante | <1% |
| 7 | Submitted to ITESM: Instituto Tecnologico y de Estudios Superiores de Monterrey<br>Trabajo del estudiante | <1% |

TABLA DE CONTENIDOS

**1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO ..... 1**

1.1 ANTECEDENTES ..... 1

1.2 DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN ..... 8

1.3 ANÁLISIS DEL PROBLEMA ..... 9

1.4 OBJETIVOS ..... 10

1.4.1 General ..... 10

1.4.2 Específicos ..... 10

1.5 INDICADORES DE ÉXITO ..... 10

1.6 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO ..... 11

**2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO ..... 13**

2.1.1 Marco Conceptual ..... 13

2.1.2 Estándares, Normas Técnicas y Buenas Prácticas ..... 14

**3 CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN ..... 17**

**4 CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL PROYECTO ..... 25**

4.1 SELECCIÓN DE LA BOMBA ..... 25

4.2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ..... 29

4.3 VALIDACIÓN DEL PROYECTO ..... 39

4.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS ..... 42

**5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 48**

5.1 CONCLUSIONES ..... 48

5.2 RECOMENDACIONES ..... 49

**6 REFERENCIAS ..... 49**

**7 ANEXOS ..... 53**

7.1 ANEXO 1: ..... 53

7.2 ANEXO 2: ..... 54

7.3 ANEXO 3: ..... 61

7.4 ANEXO 4: ..... 61

7.5 ANEXO 5:..... 62
7.6 ANEXO 6:..... 62
7.7 ANEXO 7:..... 63
7.8 ANEXO 8:..... 63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ..... 3

Tabla 2 ..... 11

Tabla 3 ..... 13

Tabla 4 ..... 13

Tabla 5 ..... 15

Tabla 6 ..... 16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 ..... 5

Figura 2 ..... 6

Figura 3 ..... 7

Figura 4 ..... 7

Figura 5 ..... 8

Figura 6 ..... 18

Figura 7 ..... 20

Figura 8 ..... 21

Figura 9 ..... 23

Figura 10 ..... 24

Figura 11 ..... 25

Figura 12 ..... 27

Figura 13 ..... 28

Figura 14 ..... 29

Figura 15 ..... 31

Figura 16 ..... 32

Figura 17 ..... 34

Figura 18 ..... 34

Figura 19 ..... 36

Figura 20 ..... 36

Figura 21 ..... 37

Figura 22 ..... 38

Figura 23 ..... 40

Figura 24 ..... 41

Figura 25 ..... 41

Figura 26 ..... 42

Figura 27 ..... 43

Figura 28 ..... 43

Figura 29 ..... 44

Figura 30 ..... 45

Figura 31 ..... 46

Figura 32 ..... 46

Figura 33 ..... 47

# 1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 Antecedentes

Antes de poder abordar las soluciones propuestas para el desarrollo de este trabajo de investigación, es imperativo tener información base la cual nos ayude a poder discernir entre los procesos óptimos respecto al mejoramiento de la calidad del agua.

Si bien es cierto que existen diferentes tipos de coagulantes, tales como el cloruro férrico, el sulfato ferroso, policloruro de aluminio, entre otros; estas sustancias, en cantidades medidas de forma inexacta, podrían conducir a la contaminación química del agua. Según lo expuesto en el trabajo de investigación titulado "Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble Moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water" (Freitas et al., 2016), se indica que el uso de sulfato de aluminio en cantidades no medidas pueden provocar lesiones cerebrales debido al aluminio residual, por lo que se propone el uso de Lectina de Moringa Oleifera Soluble en Agua (WSMoL por sus siglas en ingles). Acorde a sus resultados, se puede alcanzar hasta un 96.8% de reducción en la turbidez y una concentración de aluminio residual de 0.3 mg/L al usar primero el sulfato de aluminio y luego ir añadiendo WSMoL en proporciones establecidas de acuerdo con la cantidad de sulfato de aluminio y la cantidad de agua a tratar. Sin bien es cierto que el añadido de esta nueva sustancia trae beneficios respecto a la calidad del agua al también reducir su nivel de concentración de iones metálicos, su implementación llegaría a ser relativamente problemática, ya que su disponibilidad en el mercado no es del todo amplia. Por lo que, al fin de cuentas, al concentrarnos únicamente en la filosofía y lógica de control de la dosificación, podemos asegurar niveles de concentración de metales óptimos o similares al de las pruebas hechas con WSMoL.

En el trabajo de investigación titulado "A Mathematical Model to Determination of Alum Amount Added for the Purpose of Coagulation in Water Purification Plants" (Omran & Kadhim., 2016), se desarrolla un modelo matemático, el cual estable la cantidad de coagulante a añadir en base a la turbidez, nivel de pH y temperatura del agua. La fórmula obtenida es de tipo lineal, la cual hace sencilla su entendimiento y la disminución de la carga computacional al poder simularlo. Dichas pruebas se hicieron con muestras del rio Éufrates en un periodo de 10 años, y los resultados obtenidos fueron positivos hasta con un 91%.

En el trabajo de investigación titulado “Data-driven prediction of neutralizer pH and valve position towards precise control of chemical dosage in a wastewater treatment plant” (Xu et al., 2022), nos menciona que el pH es una variable de gran importancia, ya que nos permitirá optimizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales, esta mejora conlleva a que los reactivos utilizados para la dosificación se utilicen correctamente, beneficiando económicamente a las empresas, ya que no se desperdiciaría este recurso costoso. El estudio principal en la que se basaron los autores de esta investigación es la utilización de marchine learning (ML) para la predicción de pH en el sistema para asi poder controlar la dosis de cal en el proceso. (Xu et al., 2022). Lo que se puede concluir de este trabajo de investigación es la medición de pH es esencial para poder controlar la válvula de control que permite el ingreso del dosificador, por lo cual para nuestro proyecto se tomará como base este estudio para poder utilizar un modelamiento matemático que nos ayudará en la simulación del control de la cantidad de sulfato de aluminio para la dosificación de agua.

En el trabajo de investigación titulado “A data-driven optimization model for coagulant dosage decision in industrial wastewater treatment” (Wang et al., 2021), se nos menciona que un proceso de coagulación-floculación es un método muy utilizado en empresas encargadas del tratamiento de las aguas residuales, siendo su principal problema encontrar y controlar la cantidad optima de químico dosificador. Por ello, se aplicaron métodos estadísticos para evaluar el rendimiento de su modelo de regresión, donde se pudo concluir que su modelo mejoro en un 27% la dosificación lo cual conllevó a una reducción de coste del 10% en la planta de tratamiento de agua residual. Sin embargo, esta solución solo pudo lograr en una sola planta de tratamiento de aguas, ya que los datos estadísticos solo funcionaron para solo una cantidad de muestra sacada de esta planta de tratamiento en específico.

A continuación, se presentará un cuadro donde se mostrarán algunos productos y soluciones existentes.

**Tabla 1**

*Modelos de Skid existentes en el mercado.*

| Modelo | Descripción | Imagen | Ventajas | Desventajas |
|---|---|---|---|---|
| CVD1 | Sistema de dosificación compacto con capacidad de transportar hasta 1450 l/h y trabajar hasta una presión de 10 bar. | Ver figura 1. | -Materiales de gran calidad, flexibles y de integración y uso variables.<br>-Mantenimiento reducido.<br>-Alto estándar de seguridad. | -Placas de montaje estandarizadas que en muchos casos se necesita un mínimo espacio para su instalación.<br>-Tiempos de entrega y costos elevados debido a que son productos de importación. |
| Sistema de dosificación DULCODOS | Sistema de preparar la cantidad adecuada del producto a dosificar. | Ver figura 2. | -Puede instalarse a la intemperie.<br>-Facilidad en instalación y puesta en marcha.<br>-Unidad de comprobación volumétrica con función de aspiración. | -Tiempos de entrega y costos elevados debido a que es un producto que se debe importar.<br>-Se necesita realizar grandes modificaciones para flujos pequeños. |
| DOSASKID | Sistema de pre-diseño para dosificación de químicos en las industrias de | Ver figura 3. | -Cuenta con dos bombas para asegurar la dosificación, es decir tiene una | - Tiempos de entrega y costos elevados debido a que es un |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | tratamiento de agua residuales. | | línea principal y otra de respaldo.<br>-Puede utilizarse para control de olores, control y ajuste de pH, agentes suavizantes y cloración. | producto que se debe importar.<br>-No tiene un control del flujo de entrada y salida del químico. |
| CDS-6 | Sistema de dosificación para diferentes tipos de productos químicos. | Ver figura 4. | -Rendimiento de medición confiable.<br>-Libre de fugas.<br>-Cebado seguro y fácil.<br>-Kit de mantenimiento tranpostable. | - Tiempos de entrega y costos elevados debido a que es un producto que se debe importar.<br>-No cuenta con control del flujo del químico dosificador. |
| CTD-1000.1 | Sistema de dosificación para diferentes tipos de productos químicos capacidad de transportar hasta 570 l/h | Ver figura 5. | Materiales de gran calidad, flexibles y de integración y uso variables.<br>-Mantenimiento reducido.<br>-Alto estándar de seguridad. | -Placas de montaje estandarizadas que en muchos casos se necesita un mínimo espacio para su instalación.<br>-Tiempos de entrega y costos elevados debido a la importación. |

**Figura 1**

*Sistema de cloración modelo CVD1 de la marca SERA*

*Nota:* La imagen muestra una referencia del modelo CVD1 Sistema de dosificación compacto, vertical. De "CVD Sistema de dosificación compacto, vertical", por SERA, 2020.

**Figura 2**

*Sistema de dosificación DULCODOS de la marca Tecnofluid*

*Nota*: La imagen muestra una referencial del equipo de dosificación modelo CDS-6. De "Skid de dosificación: ¿Qué son y cuáles son sus ventajas?", por Tecnofluid, 2023 (https://tecno-fluid.com/2022/05/02/skids-de-dosificacion-que-son-y-cuales-son-sus-ventajas/).

**Figura 3**

*Sistema de dosificación de químicos DOSAKID de la marca Milton Roy*

*Nota:* La imagen muestra una referencia del sistema de dosificación modelo DOSAKID. De "DOSAKID Sistema de dosificación de químicos", por Milton Roy, s.f. (https://www.miltonroy.com/es-pe/packaged-systems/dosaskid/dosaskid-standard-chemical-dosing-system).

**Figura 4**

*Sistema de dosificación de químicos CDS-6 de la marca Pure Aqua*

*Nota:* La imagen muestra una referencia del sistema de dosificación modelo CDS-6. De "Sistema de dosificación de químicos", por Pure Aqua, Inc., s.f. (https://es.pureaqua.com/sistema-de-dosificacion-de-quimicos/).

**Figura 5**

*Dosificador de químicos de la marca SERA*

*Nota:* La imagen muestra una referencia del dosificador modelo CTD-1000.1. De "Dosificador CTD", por SERA, 2020. (https://www.sera-web.com/pdf/dosieranlagen/ctd/betriebsanleitungen/tm21_00_es_dosificadora-ctd.pdf)

## 1.2 Descripción de la Organización

La organización en la cual estará orientado nuestro proyecto es a las plantas de tratamiento de aguas residuales.

El objetivo principal de las plantas de tratamiento de aguas residuales es reducir o eliminar los contaminantes en el agua que imponen amenazas a los seres humanos y al medio ambiente, ya que el agua que será tratada en ocasiones será incorporada al mar, lagos o ríos (Jasim, 2020). Una razón importante por la cual las plantas de tratamientos son importantes es que permiten que el agua tratada, sea según el tipo de tratamiento, se puedan volver a utilizar preservando este valioso recurso que cada vez es más escaso (Eco – Intellutions, 2019). Otro beneficio es como se había mencionado antes la protección del medio ambiente, ya que el agua utilizada en un proceso industrial, de uso doméstico, entro otros pueda ser devuelta al mar, ríos y lagunas para que esta pueda continuar su ciclo hidrológico y así evitar la contaminación del medio ambiente cuidando tanto la flora como la fauna (Diseño y Construcciones Industriales S.A. [DISIN S.A.], 2019). En conclusión, las plantas de

tratamientos de agua potable son de gran ayuda para la eliminación de contaminantes por lo cual se puede tener acceso a agua potable, se garantiza la protección del medio ambiente y ayuda a preservar este recurso no renovable.

Las plantas de tratamiento de agua potable realizan dos procesos, "… primero es la clarificación del agua con el fin de mejorar la calidad física y química; y el segundo consiste en la desinfección del agua mediante la eliminación de organismos patógenos para que esta sea inocua al ser consumida". (Ordinola, 2019, p. 37)

El agua de captación para el tratamiento puede provenir de diferentes afluentes tales como ríos, lagos y/o aguas subterráneas, los cuales presentan contaminación. Por lo cual para un adecuado tratamiento de estas captaciones se debe verificar la calidad, turbidez, pH, entre otras variables para poder realizar un proceso adecuado de tratamiento optimo y económico. (Ordinola, 2019)

## 1.3 Análisis del Problema

Si bien es cierto que una Planta de Tratamiento de Agua Potable, conocida por sus siglas como PTAP, se compone de varios procesos que aseguran la óptima calidad del agua para ser suministrada a las poblaciones. El proceso de dosificación de químicos cumple un rol importante, dado que en esa parte se asegura que no existan solidos en suspensión visibles, que se desinfecte y asegure la eliminación de baterías o microorganismos, que se mantenga un pH balanceado, entre otros.

Uno de los principales problemas a los cuales se enfrentan las plantas de tratamiento es la correcta dosificación de los químicos involucrados en cierta parte del proceso de tratamiento. Si es que no se llega a controlar dicha dosificación, se pueden generar los siguientes problemas:

- Incumplimientos normativos: Si es que la planta de tratamiento no llega a cumplir los mínimos estándares de calidad, como los estipulados en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, la empresa se hace acreedora de multas que pueden llegar hasta las 500 UIT. (Presidencia de la República del Perú, 2017)
- Uso incorrecto de las cantidades de los químicos: si es que no se tiene información que retroalimente a los sistemas dosificación, se puede llegar a plantear mal las cantidades necesarias para llegar a cabo cierto proceso del tratamiento. Lo cual conllevar a hacer gastos monetarios innecesarios.

- Problemas de salud: el agua mal tratada puede conllevar a enfermedades, causadas tanto por microrganismos o patógenos no eliminados, como la presencia de químicos o sustancias tóxicas presentes en el líquido.

De los problemas previamente mencionados, el enfoque de este trabajo se centrará en la correcta dosificación de los químicos. Ya que, al asegurar las cantidades correctas a utilizar, se podrá ahorrar en materia prima y dará la oportunidad de mejorar la calidad de vida de las personas a las cuales se le suministrará el agua potable.

## 1.4 Objetivos

### 1.4.1 General

Diseñar un sistema automatizado capaz de controlar y monitorear óptimamente la dosificación de químicos para el tratamiento de agua.

### 1.4.2 Específicos

- Desarrollar un sistema que evite la dosificación manual.
- Diseñar un sistema de monitoreo y registro de la dosificación de los químicos utilizados.
- Minimizar el gasto innecesario de los químicos utilizados en la dosificación.
- Desarrollar un sistema capaz de regularizar la cantidad de químicos para asegurar la óptima calidad del agua.
- Desarrollar un sistema con acceso a componente críticos y capacidad de calibración de fácil acceso.
- Diseñar un sistema que cumpla con las normativas y estándares en la dosificación.

## 1.5 Indicadores de Éxito

- Registro de la cantidad de químico usado.
- Consumo de químico y coste de operación.
- Calidad del agua.
- Disponibilidad del sistema.

## 1.6 Planificación del Proyecto

**Tabla 2**

*Cronograma de la realización del proyecto*

| Semana | Rango de fecha | Actividad |
|---|---|---|
| Semana 1 | 14/08/2023 - 18/08/2023 | Discusión respecto a la elección de tema de proyecto |
| Semana 2 | 21/08/2023 - 25/08/2023 | Búsqueda de antecedentes, paper, tesis de proyectos pasados. |
| Semana 3 | 28/08/2023 - 01/09/2023 | Desarrollo del capítulo 1 y avance del capítulo 2. |
| Semana 4 | 04/09/2023 - 08/09/2023 | Término del capítulo 2 y comienzo de las validaciones del proyecto. |
| Semana 5 | 11/09/2023 - 15/09/2023 | Desarrollo de las validaciones del proyecto. |
| Semana 6 | 18/09/2023 - 22/09/2023 | Desarrollo de las validaciones del proyecto. |
| Semana 7 | 25/09/2023 - 29/09/2023 | Asesoramiento del desarrollo de las validaciones del proyecto. |
| Semana 8 | 02/10/2023 - 06/10/2023 | Diseño de la estructura del skid. |
| Semana 9 | 09/10/2023 - 13/10/2023 | Diseño de la estructura del skid. |
| Semana 10 | 16/10/2023 - 20/10/2023 | Desarrollo de la interpretación de los resultados obtenidos. |
| Semana 11 | 23/10/2023 - 27/10/2023 | Presentación de los avances obtenidos al asesor. |

| | | |
|---|---|---|
| Semana 12 | 30/10/2023 - 03/11/2023 | Levantamiento de observaciones dadas por el asesor. |
| Semana 13 | 06/11/2023 - 10/11/2023 | Ultimas revisiones del documento final. |
| Semana 14 | 13/11/2023 - 17/11/2023 | |
| Semana 15 | 20/11/2023 - 24/11/2023 | Presentación del informe y preparación para la sustentación del proyecto. |
| Semana 16 | 27/11/2023 - 01/12/2023 | Exposición final del proyecto y validación total del proyecto |

# 2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

## 2.1.1 Marco Conceptual

### 2.1.1.1 Detalle de cada uno de los elementos del sistema propuesto

El presente trabajo pretende centrarse en la parte de dosificación del elemento químico con el agua, antes de que vaya al sistema de floculación. Habiendo aclarado este punto, el sistema se desglosa en 2 grupos, lista de elementos mecánicos y lista de elementos de medición y actuación.

**Tabla 3**

*Lista de elementos mecánicos*

| Ítem | Nombre | Descripción | Cantidad |
|---|---|---|---|
| 1 | Tubería de PVC | Ø 2” clase 10 | 2 m. |
| 2 | Filtro Y | PVC de Ø 2” | 1 und. |
| 3 | Tee Reductora | Ø 2” x 1” clase 10 de PVC | 4 und. |
| 4 | Codo de PVC | 90° x Ø 2” | 3 und. |
| 5 | Tubería de PVC | Ø 1” clase 10 | 2 m. |
| 6 | Amortiguador de pulsos | - | 1 und. |

**Tabla 4**

*Lista de elementos de medición y actuación*

| Ítem | Nombre | Descripción | Cantidad |
|---|---|---|---|
| 1 | Válvula Bola PVC | Accionamiento manual. Ø 2” clase 10 | 5 und. |
| 2 | Válvula Bola PVC | Accionamiento manual. Ø 1” clase 10 | 5 und. |
| 3 | Bomba de diafragma | 300 l/h – 3bar | 1 und. |
| 4 | Válvula de alivio | PVC de Ø 2” | 4 und. |
| 5 | Manómetro vertical | Tipo bourdon, con relleno de glicerina, 0–160 psi | 1 und. |
| 6 | Válvula de contrapresión | PVC de Ø 1” | 1 und. |
| 7 | Flujómetro electromagnético | Endress+Hauser-5H1B04<br>Conexión a proceso: rosca 1/2”<br>Electrodos: 1.4435/316L<br>Liner: PFA | 1 und. |
| 8 | Variador de Frecuencia | Transmisor: Compacto<br>6SL3210-5BB21-1BV1<br>Potencia: 1.1kW<br>Entrada: 200-240 VAC monofásico | 1 und. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9 | Sensor de pH | Salida: Trifásica<br>CPS11E<br>Rango: 1-12pH<br>Longitud: 120 mm | 1 und. |
| 10 | Sensor de Turbidez | CUS51D<br>Rango: 0-4000 FNU | 1 und. |
| 11 | Transmisor Multiparamétrico | CM444<br>Entradas: 4 canales<br>Funciones: Diagnostico | 1 und. |
| 12 | Sensor de Temperatura | Tm131<br>Rango: 0 -100°C<br>RTD | 1 und. |

### 2.1.2 Estándares, Normas Técnicas y Buenas Prácticas

#### 2.1.2.1 Lista de Normas y Standares

Las principales normas por las cuales se regirán nuestro proyecto son:

- El Decreto Supremo N° 031-2010-SA:

  Este decreto indica los parámetros a seguir para la regulación de la gestión de la calidad del agua para consumo humano, siendo sus principales objetivos: La gestión de la calidad del agua, la vigilancia sanitaria del agua, el control y supervisión de la calidad del agua, la fiscalización, las autorizaciones, registros y aprobaciones sanitarias respecto a los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del agua para consumo humano y por último la difusión y acceso a la información sobre la calidad del agua para consumo humano; con estos objetivos se busca proteger la salud y el bienestar de la población. (Presidencia de la República del Perú, 2010)

  A continuación, se mostrará una tabla que nos ilustrará los límites principales de máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica y parámetros químicos inorgánicos y orgánicos

**Tabla 5**

*Límites permisibles de parámetros de calidad del agua procesada*

| Parámetros | Unidad de Medida | Límite Máximo Permisible |
|---|---|---|
| Olor | - | Aceptable |
| Sabor | - | Aceptable |
| Color | UCV escala Pt/Co | 15 |
| Turbiedad | NTU | 5 |
| pH | Valor de pH | 6,5 a 8,5 |
| Conductividad (25°C) | µmho/cm | 1 500 |
| Sólidos totales disueltos | $mgL^{-1}$ | 1 000 |
| Aluminio | mg Al $L^{-1}$ | 0,2 |
| Sodio | mg Na $L^{-1}$ | 200 |
| Sulfatos | mg $SO_4$ $L^{-1}$ | 250 |

*Nota* De "El Decreto Supremo N° 031-2010-SA", por Presidencia de la República del Perú, 2010. (https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf?v=1561937448.)

- Norma Técnica Peruana NTP 214.003:1987 (Revisada el 2021)

  Esta norma técnica establece los requisitos físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos que se deben cumplir para que el agua sea considerada potable. A continuación, se mostrará la tabla de los límites máximos permisibles por la norma.

**Tabla 6**

*Límites máximos permisibles para el tratamiento de agua*

| Parámetros | Unidad de Medida | Límite Máximo Permisible |
|---|---|---|
| Cianuro (CN) | mg/l | 0.1 |
| Turbiedad para agua tratada con proceso de filtración | NTU | 5 |
| Turbiedad para agua sin proceso de filtración | NTU | 15 |
| pH | Valor de pH | 8,5 |
| Aluminio (Al) | mg/l | 0,2 |
| Color verdadero | UC | 15 |
| Sulfatos ($SO_4$) | mg/l | 400 |

*Nota* Adaptado de "Norma Técnica Peruana NTP 214.003:1987 (Revisada el 2021)", por Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2021. (https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas)

- ISO 24510

  Esta norma nos proporciona los requisitos y directrices para el diseño, la operación y el mantenimiento de los sistemas de dosificación de químicos en el tratamiento de agua (International Organisation for Standardisation, 2007). Además, esta norma nos

proporciona las instrucciones que debe seguir el personal responsable de la manipulación y realizar el mantenimiento de los equipos de dosificación.

# 3 CAPÍTULO 3: DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

## 1) Selección de elementos de medición

Teniendo en cuenta que la instrumentación es una parte vital para poder llevar a cabo la correcta dosificación del fluido, se debe seleccionar, previamente, las variables que intervendrán en el proceso de dosificación. Según la fórmula de Omran & Kadhim., en donde:

$$AD= 33.6+0.037TR – 0.466T – 1.06pH \ldots (1)$$

Según lo descrito previamente, la ecuación 1 involucra las variables de turbidez (NTU), pH y temperatura (°C), para proporcionar la cantidad del químico a dosificar (mg/L). No obstante, para poder tener la certeza de la cantidad de sulfato disuelto, es imperativo obtener el dato del caudal de dosificación; por lo que en total se tendría 4 variables por medir y/o controlar.

En primer lugar, se debe de definir la variable a medir y la justificación del equipo por seleccionar.

### 1.1 Selección de sistema de medición de pH

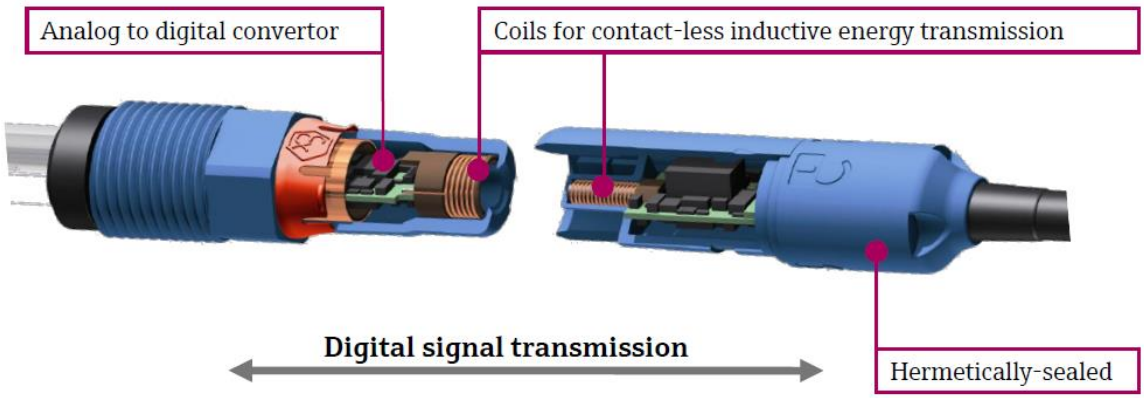
El pH se define como la medida de la concentración de iones de hidrogeno en una solución en particular, en donde un exceso de estos iones vuelve a la solución acida y un defecto de estos, la vuelve básica (Weiner et. Matthews, 2003, p. 93). La escala de esta medida se encuentra en el rango de 0 (ácido) a 14 (básico o alcalino). Este valor toma gran relevancia dentro de la industria a la cual este proyecto va dirigido, puesto que siempre se procura que los valores de pH sean lo más neutros posible; muy cercanos al valor 7. Además, según el decreto supremo N° 031-2010-SA, el valor de pH optimo del agua, para el consumo humano, debería de oscilar entre 6.5 y 8.5.

Teniendo en cuenta que el valor de pH puede variar dependiendo de las condiciones de proceso, como, por ejemplo: canales con contaminación biológica, exposición a ductos corroídos, excesos de partículas en suspensión, entre otro; la elección de un buen instrumento de medición puede hacer una gran diferencia en el resultado final de la calidad del agua. La marca Endress+Hauser (E+H) cuenta con un robusto portafolio en lo que a la variable análisis respecta. Para la medición de pH, E+H ofrece la medición mediante la tecnología Memosens 2.0, la cual es capaz de ofrecer una verdadera comunicación digital entre el sensor y el transmisor. Dado que los sensores análogos tradicionales cuentan con contactos metálicos, los cuales son propensos a oxidarse debido a la humedad, para su comunicación; no llega a ser fiable, porque puede ser susceptible a perturbaciones electrostáticas por parte de otros dispositivos, lo cual obliga a utilizar cables con materiales aislantes de alta calidad y transmisores con una gran impedancia en las conexiones. Todo esto afecta al CAPEX, puesto que se estaría requiriendo de un costo de inversión considerable.

Memosens 2.0, al transmitir la información de manera inductiva, no existen partes metálicas expuestas que este propensas a oxidarse. Además, al tener la información ya digitalizada, no es obligatorio que las calibraciones o comisionamientos de los sensores se hagan en campo, por lo que se puede hacer en condiciones óptimas en un laboratorio.

**Figura 6**

*Tecnología Mesomens 2.0*




De “Product Portfolio fot water & waste water 2022”, por Endress+Hauser, 2023.

El sensor de pH a escoger es el modelo CPS11E por las siguientes razones:

- Cuenta con un diafragma anular (junta) de PTFE, el cual sirve para repeler la suciedad que pueda ocasionar una contaminación en las sondas de medición del sensor.
- Cuenta con un sensor de temperatura integrado para compensar la medición de pH.

Para la transmisión de estos valores de pH, se está optando por el transmisor multiparamétrico modelo CM444 por las siguientes razones:

- Tiene 4 entradas, la cual lo vuelve conveniente por si es que se desea medir más parámetros de medición.
- Cuenta con diferentes protocolos de comunicación, como HART, Modus TCP, Profinet, PROFIBUS DP, entre otros, lo cual lo vuelve muy versátil.

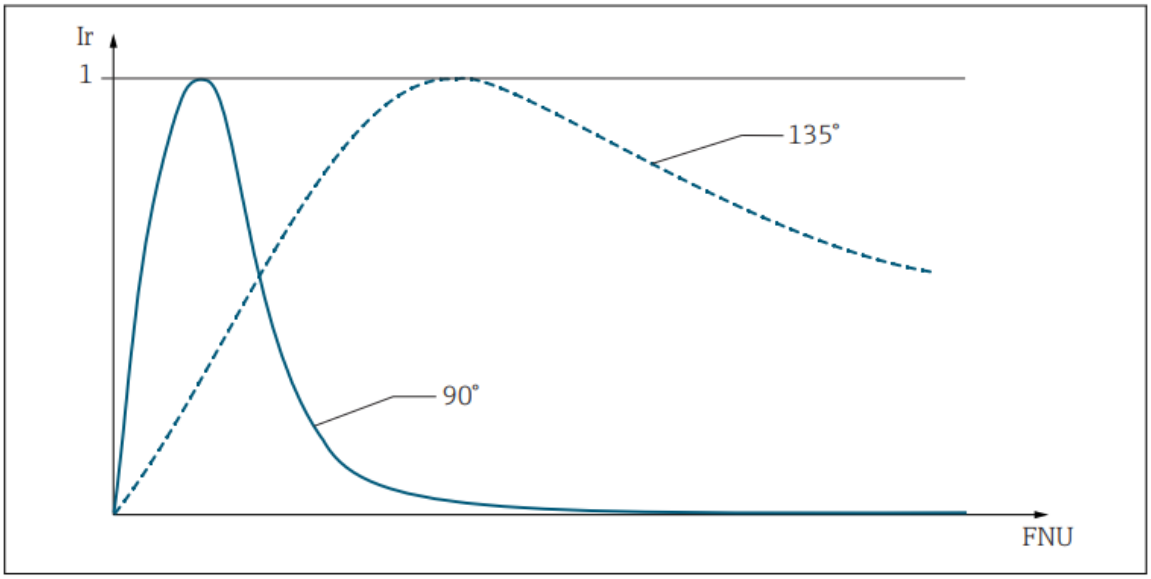
1.2 Selección del sistema de medición de turbidez

La turbidez mide el grado de transparencia del fluido, en el cual está presente un cierto porcentaje de partículas en suspensión. Un haz de luz se hace pasar a través de este fluido y la luz, al ser dispersada debido al choque con las partículas, proporciona un método de medición cuando ciertos detectores son dispuestos en ángulos de 90 y 135 grados con respecto a la horizontal del haz emitido (Weiner et. Matthews, 2003, p. 92). Teniendo en cuenta los datos mencionados en las normas técnicas que se están considerando para este proyecto, se indica que, para el agua no filtrada, el máximo valor admisible es de 15 NTU, se debe asegurar que el equipo de medición cuente con una precisión o repetibilidad elevada para tener valores consistentes durante las mismas condiciones de proceso.

El modelo de sensor propuesto es el CUS51D, ya que este cuenta con el método de 4 rayos de luz pulsante. Dicho método indica que, dependiendo de la densidad de partículas en suspensión, los haces de luz se dispersan en diferentes ángulos. Los ángulos que más información proporcionan son en 90 y 135 grados. Cuando la densidad de estas partículas es baja, los rayos tienden a dispersarse en un ángulo de 90 grados y, por otro lado, cuando esta densidad va incrementando, tiende más a dispersarse en un ángulo de 135 grados. (Endress+Hauser,2022).

**Figura 7**

*Gráfico Ir vs FNU*




*Nota* De "Technical information Turbimax CUS51D", por Endress+Hauser, 2022 (https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EED9CA9447A282D2F00/TI00461CEN_1822-00.pdf)

Este juego de ángulos no solo permite obtener la medición en unidades de NTU o FNU, sino también en mg/l, lo cual lo vuelve en el sensor indicado para la aplicación en este proyecto.

1.3 Selección del sistema de medición de temperatura

La temperatura es esencial para la medición del sistema, ya que esta proporcionará los valores que nos ayudarán a controlar la cantidad de sulfato a dosificar. Por lo cual, realizar una selección adecuada de este, es esencial. Debido a esto, se eligió el sensor de temperatura TM131 de E+H con su transmisor remoto TMT142B por las siguientes características:

- El tiempo de asentamiento de la señal de temperatura es un factor clave, puesto que para tener un control de rápido accionar, es requerido que la

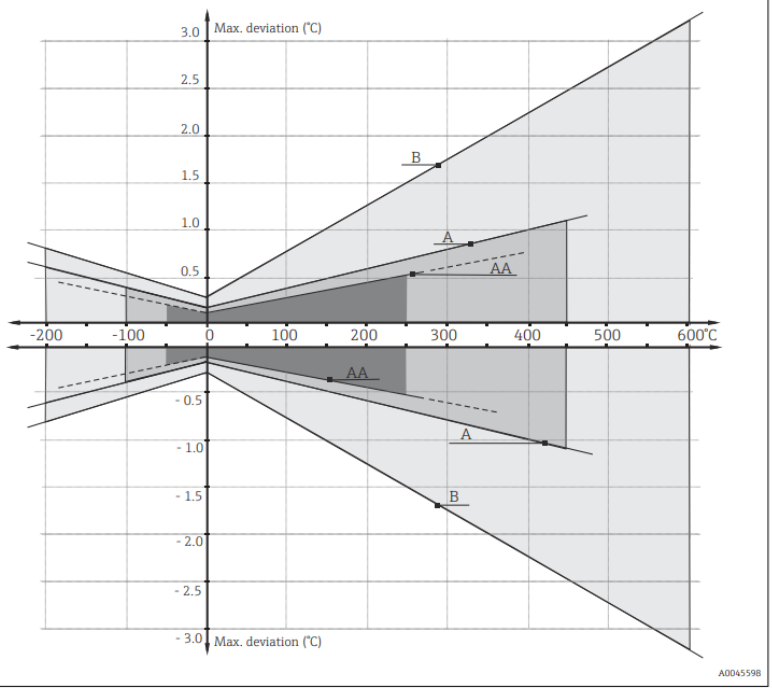
construcción del mismo sensor, así como su termopozo sean de tal manera que ofrezcan tiempos de asentamientos de T90 menores a 10 segundos. Endress + Hauser cuenta con sensores RTD QuickSens, en donde la punta del sensor ThinFilm está dispuesta de forma muy cercana a las paredes del encapsulado, haciendo que la transferencia de calor únicamente pase por el encapsulado.

- La importancia de la precisión en la medida puede llegar a ser un diferenciador, ya que de eso también depende la cantidad de sulfato a dosificar. De entre los diferentes tipos de sensores de temperaturas disponibles que existe, los RTD son muy fiables en cuando a la precisión, no obstante, estos también cuentan con diferentes desviaciones térmicas.

**Figura 8**

*Gráfico de precisión de los sensores de temperatura RTD*

| Class | Max. tolerances (°C) | Characteristics |
|---|---|---|
| **RTD maximum sensor error** | | |
| Cl. A | ± (0.15 + 0.002 · \|t\| [1)]) | |
| Cl. AA, formerly 1/3 Cl. B | ± (0.1 + 0.0017 · \|t\|) [1)] | |
| Cl. B | ± (0.3 + 0.005 · \|t\| [1)]) | |




*Nota* De "Technical information iTHERM moduline TM131", por Endress+Hauser, 2023 (https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEDBC86EE49FBC8780D/TI01373TEN_0523-00.pdf)

Por lo que se está considerando el Clase AA, ya que este puede proporcionar desviaciones térmicas de 0.15 °C en rango de 0°C a 50°C.

Por último, dado que se requiere que la visualización sea en un lugar de fácil acceso, se está optando por el transmisor remoto TMT142B, el cual puede ser instalado tanto en pared como en un tubo parante. Sin embargo, este también cuenta con la tecnología SmartBlue, el cual permite que cualquier usuario se pueda conectar de manera remota al instrumento, en donde no solo podrá ver los datos de proceso, sino también podrá configurar el rango de medición del equipo y su puesta en marcha con una distancia hacia el equipo de hasta 25 metros. Lo cual resulta muy amigable y optimo, en caso se tuviesen más equipos.

## 1.4 Selección del sistema de medición de flujo

Para asegurar que la cantidad de líquido floculante a dosificar en verdad cumpla con el caudal requerido, es imperativo que se tenga un medidor flujo a la salida del skid. Antes de siquiera proponer algún flujómetro en específico, se deben de tener los datos de proceso para poder realizar el dimensionamiento:

- Rango de flujo: 10 a 300 l/min
- Rango de presión: 1 a 3 barg
- Rango de temperatura: 15 a 25 °C

Además, teniendo en cuenta el punto de vista económico, dentro de todos los flujómetros digitales, el electromagnético es el más accesible, dado que su principio de medición no requiere de adecuaciones mecánicas complejas, tanto para la línea como para el mismo instrumento. Sin embargo, un factor clave para la selección de un electromagnético, es el valor de la conductividad del líquido a medir. Los flujómetros electromagnéticos de E+H aseguran una precisión fiable en conductividades a partir de los 5uS/cm. Teniendo que cuenta que el sulfato de aluminio va a ser combinado con agua, se puede esperar que la conductividad de esta mezcla no será menor a 50 uS/cm, por lo que el flujómetro electromagnético es un muy buen candidato para ser usado en el skid.

La selección del sensor y transmisor va a depender del uso principal del sensor y del espacio y las salidas requeridas por el transmisor; sabiendo que un skid es una

construcción mecánica, en donde sus componentes son compactos, el transmisor a escoger es el modelo Proline 100, ya que cuenta con salidas de comunicación de 4-20 mA HART, PROFIBUS DP, MODBUS RS485, PROFINET y salida de pulsos, y, al no contar con un display in situ, es muy versátil en instalaciones con espacio reducido. Respecto al sensor, el modelo H es idóneo para diámetros pequeños y cuenta con un line de PFA, el cual lo vuelve aplicable a arios entornos en donde se tenga químicos corrosivos a elevadas temperatura.

Dado que se tiene el modelo Promag H100, realizar el dimensionamiento se obtienen los siguientes datos:

**Figura 9**

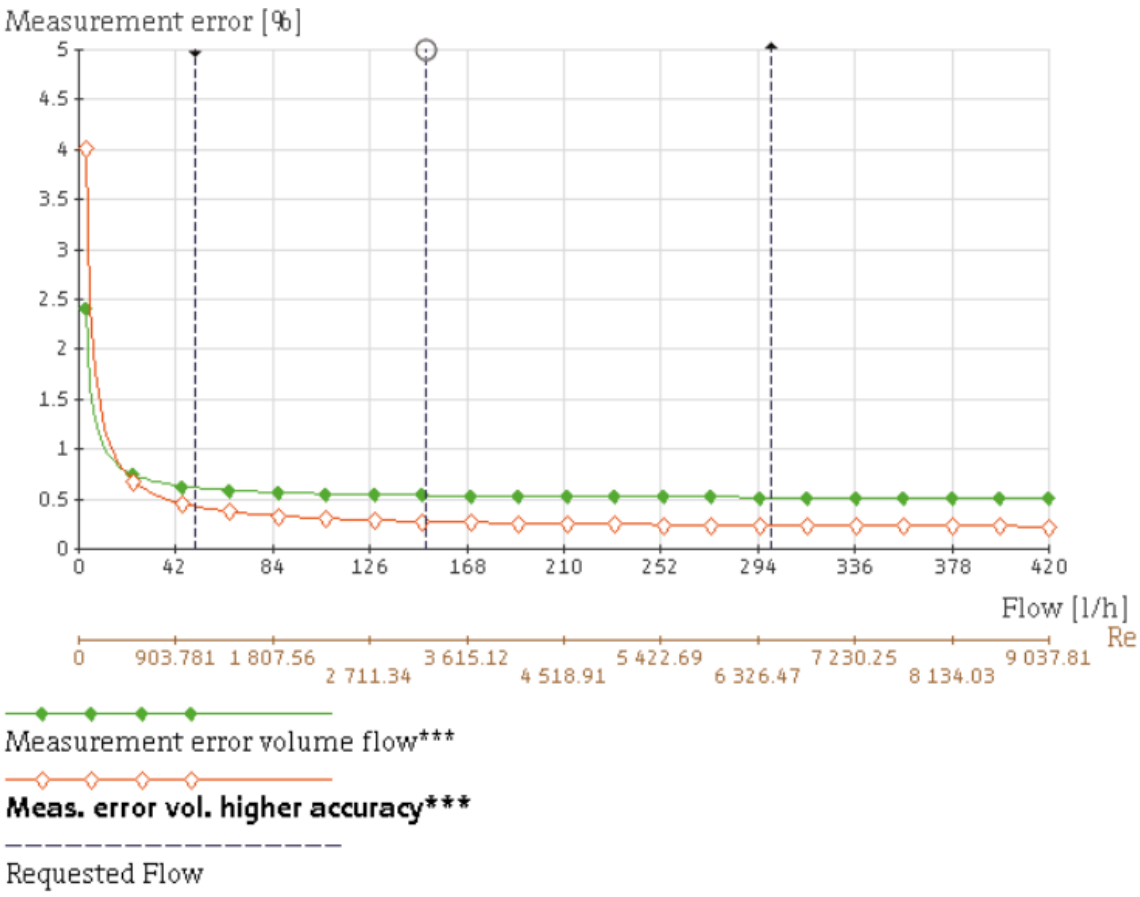
*Resultados del dimensionamiento del flujómetro*

| | minimum | nominal | maximum | |
|---|---|---|---|---|
| Requested Flow | 50 | 150 | 300 | l/h |
| Velocity | 0.873 | 2.62 | 5.24 | m/s |
| Pressure loss | n.a. | n.a. | n.a. | mbar |
| Measurement error volume flow*** | 0.61 | 0.54 | 0.52 | % |
| Meas. error vol. higher accuracy*** | 0.43 | 0.28 | 0.24 | % |
| Reynolds No. | 1 076 | 3 228 | 6 456 | |

Dado que siempre se debe tener el escenario en donde el fluido que pasa a través del flujómetro no es 100% libre de partículas en suspensión, se debe tener en cuenta la velocidad del fluido, ya que, si es que nos encontráramos con velocidades ente 3 a 5 m/s con partículas en suspensión mayores a 30%, es posible que el liner pueda sufrir daños irreversibles. Además, se debe tener presente que los liner no son ítems de repuestos, por lo que, si es que este se daña, no habrá más opción que cambiar todo el flujómetro.

**Figura 10**

*Gráfica de error de medición vs flujo*




La principal selección de un flujómetro digital es su capacidad de ofrecer precisiones muy altas, se requiere que este tenga un error menor al 0.5%. Para conseguir eso, es imperativo que la velocidad del fluido y su número de Reynolds sea elevada, es por esa razón que se decidió ir por el modelo con el diámetro más pequeño, en este caso el de DN15.

**Figura 11**

*Información de compatibilidad química*

| | Temperature | | |
|---|---|---|---|
| Material (sensor) * | minimum : 25°C | nominal : 25°C | maximum : 25°C |
| (P) EPDM | A | A | A |
| (P) Hard Rubber | A | A | A |
| (M) Alloy C22/2.4602 | A | A | A |
| (P) Kalrez | B | B | B |
| (P) Natural Rubber | B | B | B |
| (P) PEEK, FKM | U | U | U |
| (P) PFA | A | A | A |
| (P) PTFE | A | A | A |
| (P) PU | NR | NR | NR |
| (P) PVC | B | B | B |
| (P) PVDF | A | A | A |
| (M) Platinum | A | A | A |
| (P) Polyamid | NR | NR | NR |
| (P) Silicon | B | B | B |
| (M) Stainless steel 304/1.4301 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/1.4404 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/1.4435 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/316/1.4404 | A | A | A |
| (M)Tantalum | A | A | A |
| (P) Viton | A | A | A |
| (P) PEEK, EPDM | A | A | A |
| (M) Titanium Grade 2 | A | A | A |

### 1.5 Selección de la bomba

La bomba es un elemento importante para el sistema de dosificación, ya que proporcionar el adecuado flujo del químico dosificador, por lo cual es de gran importancia su selección; debido a ello se hablará de ello con detalle en el capítulo 4.

# 4 CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL PROYECTO

## 4.1 Selección de la bomba

Para la selección correcta de la bomba se deben tener en cuenta el caudal máximo y la cantidad de dosificación máxima anual. En este caso, por temas de simulación se está considerando un caudal máximo de 300 l/h y una dosificación máxima anual de 50 mg/l, teniendo estos datos se hará uso de la fórmula que se presenta a continuación:

$$PPD = 0.012 \times GPM \times ppm \ldots (2)$$

En la ecuación 2, se involucran el caudal máximo expresado en galones por minuto y la dosificación máxima expresada en ppm, dándonos como resultado el rango de dosificación que se tendrá por en libras por día.

Teniendo lo descrito en el párrafo anterior, se realizan las conversiones pertinentes y se obtiene que los 300 l/h equivalen a 1.32 GPM y los 50mg/l equivalen a 50 ppm, aplicando la ecuación 2 se obtiene:

$$PPD = 0.012 \times 1.32 \times 50$$

$$PPD = 0.792 \text{ libras por día}$$

Otro dato importante para la selección de la bomba es la contrapresión, que se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Delta\rho = (\mu \times l \times v^2 \times 1000 \times SG) / 2d \ldots (3)$$

En la ecuación 3, se involucra diámetro interno de la tubería(d) en metros, la longitud de la tubería (l) en metros, la velocidad del agua (v) en metros por segundo, el coeficiente de fricción (μ) y la gravedad especifica del agua (SG).

Se tiene los siguientes datos para la aplicación de la formula, el diámetro interno de la tubería es 49.25 metros; ya que la tubería es de 2” y grado ANSI Sch80, una longitud de tubería de 2 metros, la rugosidad interna de la tubería de 0.05 metros y el rango de fluido de 300 l/h. Teniendo estos datos y aplicando ecuación 3 se obtiene una caída de presión de 0.00227447 psi.

Teniendo estos dos datos importantes que son la dosificación por día (PPD) y la caída de presión (psi) nos dirigiremos a la figura 12 donde obtendremos la presión requerida en psi.

**Figura 12**

*Gráfica de contrapresión vs PPD*

BACKPRESSURE, PSI

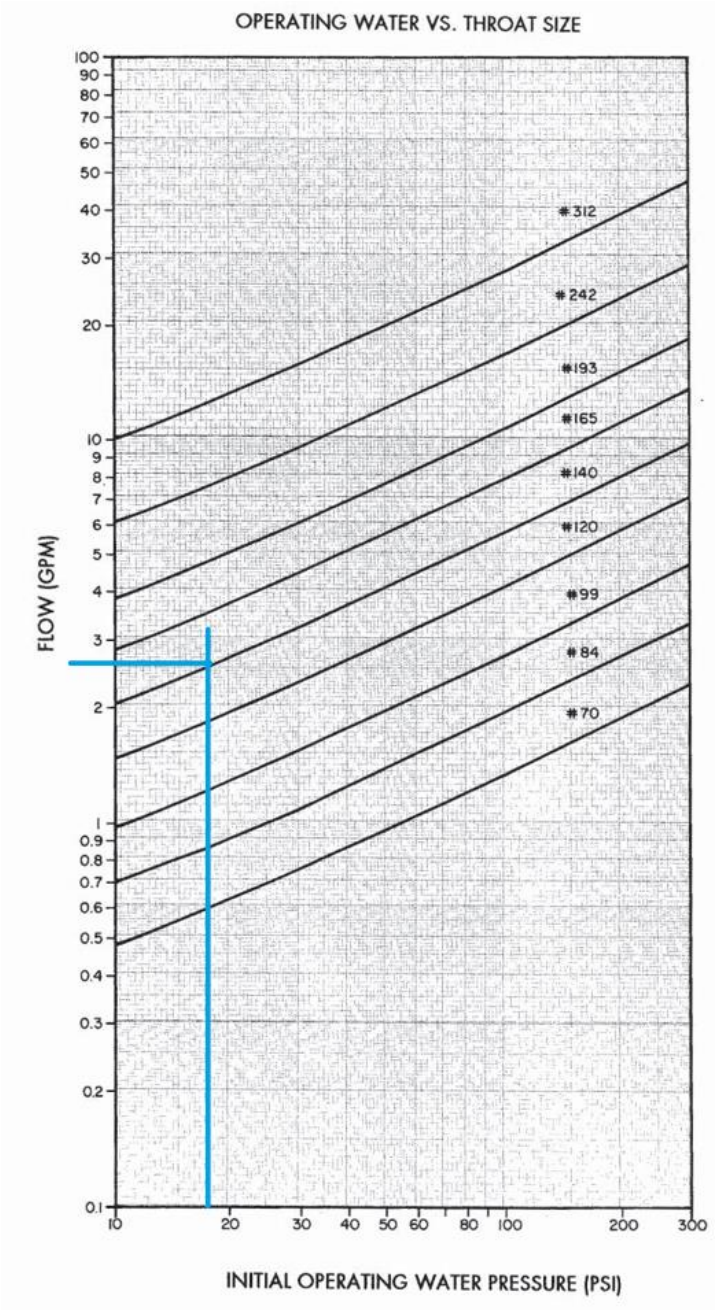
| LB. CHLORINE PER DAY | 0 | 2.5 | 5 | 10 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 500 | 90 242-K<br>55 312-L | 95 242-K<br>55 312-L | 100 242-K<br>60 312-L | 155 193-J<br>115 242-K<br>70 312-L | 195 193-J<br>130 242-K<br>85 312-L | 235 192-J<br>160 242-K<br>120 312-L | 260 193-J<br>180 242-K<br>155 312-L | 275 193-J<br>210 242-K<br>175 312-K | 240 242-K<br>195 312-K | 285 242-K<br>220 312-K | 255 312-K | |
| 400 | 190 165-H<br>100 193-J<br>55 242-K<br>50 312-L | 190 165-H<br>100 193-J<br>65 242-K<br>50 312-L | 190 165-H<br>110 193-J<br>70 242-K<br>55 312-L | 195 165-H<br>120 193-J<br>80 242-K<br>60 312-L | 205 165-H<br>140 193-J<br>95 242-K<br>70 312-L | 225 165-H<br>175 193-J<br>125 242-K<br>100 312-L | 250 165-H<br>210 193-J<br>155 242-K<br>125 312-K | 270 165-H<br>240 193-J<br>175 242-J<br>150 312-K | 300 165-H<br>280 193-J<br>200 242-J<br>180 312-K | 230 242-J<br>210 312-K | 265 242-J<br>245 312-K | |
| 300 | 195 140-G<br>100 165-H<br>60 193-J<br>45 242-K<br>30 312-L | 195 140-G<br>100 165-H<br>70 193-J<br>45 242-K<br>35 312-L | 195 140-G<br>105 165-H<br>80 193-J<br>50 242-K<br>35 312-L | 200 140-G<br>115 165-H<br>90 193-J<br>55 242-K<br>45 312-L | 205 140-G<br>130 165-H<br>110 193-J<br>75 242-K<br>60 312-K | 225 140-G<br>150 165-H<br>130 193-J<br>110 242-K<br>85 312-K | 225 140-G<br>190 165-H<br>165 193-J<br>130 242-J<br>115 312-K | 275 140-G<br>230 165-H<br>185 193-J<br>160 242-J<br>145 312-K | 300 140-G<br>275 165-H<br>210 193-J<br>185 242-J<br>175 312-K | 240 193-H<br>220 242-J<br>210 312-K | 265 242-J<br>245 312-K | 270 312-K |
| 250 | 125 140-G<br>70 165-H<br>55 193-J<br>35 242-K<br>25 312-L | 125 140-G<br>75 165-H<br>55 193-J<br>35 242-K<br>25 312-L | 125 140-G<br>80 165-H<br>60 193-J<br>40 242-K<br>30 312-L | 130 140-G<br>85 165-H<br>70 193-J<br>50 242-K<br>35 312-L | 150 140-G<br>100 165-H<br>85 193-J<br>70 242-K<br>55 312-K | 180 140-G<br>135 165-H<br>130 193-J<br>95 242-J<br>85 312-K | 200 140-G<br>165 165-G<br>145 193-H<br>125 242-J<br>115 312-K | 235 140-G<br>190 165-G<br>175 193-H<br>155 242-J<br>145 312-K | 285 140-G<br>230 165-G<br>205 193-H<br>185 242-J<br>175 312-K | 270 165-G<br>235 193-H<br>215 242-H<br>210 312-K | 300 165-G<br>275 193-H<br>235 242-H<br>240 312-K | 265 242-H<br>270 312-K |
| 200 | 85 140-G<br>50 165-H<br>30 242-K<br>21 312-L | 130 120-F<br>95 140-G<br>55 193-J<br>35 242-K<br>22 312-L | 130 120-F<br>100 140-G<br>60 193-J<br>35 242-K<br>25 312-L | 145 120-F<br>110 140-G<br>70 165-H<br>65 193-J<br>45 242-K<br>35 312-L | 160 120-F<br>125 140-G<br>90 165-H<br>85 193-J<br>60 242K<br>50 312-K | 180 120-F<br>150 140-G<br>125 165-G<br>115 193-H<br>90 242-J<br>80 312-K | 210 120-F<br>185 140-G<br>150 165-G<br>140 193-H<br>120 242-J<br>110 312-K | 260 120-F<br>225 140-G<br>185 165-G<br>165 193-H<br>155 242-J<br>145 312-K | 295 120-F<br>270 140-G<br>225 165-G<br>205 193-H<br>175 242-H | 250 165-F<br>220 193-G<br>205 242-H | 265 165-F<br>250 193-G<br>225 242-H | 300 165-F<br>275 193-G<br>260 242-H |
| 150 | 75 120-F<br>55 140-G<br>40 165-H<br>35 193-J<br>25 242-K<br>16 312-L | 85 120-F<br>60 140-G<br>45 165-H<br>20 242-K<br>18 312-L | 90 120-F<br>65 140-G<br>50 165-H<br>23 242-K | 105 120-F<br>75 140-G<br>65 165-H<br>30 242-J | 120 120-F<br>95 140-G<br>85 165-G<br>70 193-J<br>50 242-J | 145 120-F<br>134 140-G<br>110 165-G<br>105 193-J<br>85 242-J | 180 99-E<br>155 140-F<br>145 165-G<br>130 193-H<br>110 242-H | 225 99-E<br>190 140-F<br>180 165-G<br>160 193-G<br>140 242-H | 265 99-E<br>215 140-F<br>210 165-G<br>175 193-G<br>170 242-H | 285 120-E<br>255 140-F<br>220 165-F<br>205 193-G<br>200 242-H | 290 140-F<br>260 165-F<br>240 193-G<br>225 242-H | 295 165-F<br>270 193-G<br>260 242-H |
| 100 | 70 99-E<br>60 120-F<br>45 140-G<br>30 165-H<br>25 242-J<br>15 312-K | 80 99-E<br>65 120-F<br>55 140-G<br>30 165-H<br>20 242-J<br>17 312-K | 85 99-E<br>70 120-F<br>60 140-G<br>35 165-H<br>23 242-J<br>20 312-K | 100 99-E<br>80 120-F<br>65 140-F<br>45 165-H<br>40 193-J<br>30 242-J | 115 99-E<br>95 120-F<br>80 140-F<br>60 165-G<br>45 242-J | 140 99-E<br>135 120-F<br>110 140-F<br>100 165-G<br>90 193-G<br>80 242-J<br>75 312-K | 180 99-E<br>155 120-E<br>145 140-F<br>125 165-F<br>115 193-G<br>110 242-H | 220 99-E<br>185 120-E<br>180 140-F<br>155 165-F<br>145 193-G<br>140 242-H | 265 99-E<br>215 120-E<br>180 165-F<br>170 193-G<br>165 242-H | 245 120-E<br>215 165-F<br>200 193-G | 280 120-E<br>250 165-F<br>235 193-G<br>225 242-H | 290 165-F<br>265 193-G<br>260 242-H |
| 75 | 145 70-C<br>70 99-E<br>50 120-F<br>30 140-F<br>25 193-H<br>20 242-J<br>10 312-K | 160 70-C<br>75 99-E<br>55 120-F<br>35 140-F<br>30 165-F<br>20 242-J<br>15 312-K | 170 70-C<br>80 99-E<br>60 120-F<br>40 140-F<br>35 165-F<br>30 193-H<br>23 242-J<br>18 312-K | 185 70-C<br>90 99-E<br>70 120-F<br>50 140-F<br>45 165-F<br>40 193-H<br>30 242-J<br>25 312-K | 210 70-C<br>105 99-E<br>90 120-F<br>75 140-F<br>60 165-F<br>50 193-H<br>45 242-J | 240 70-C<br>135 99-E<br>120 120-E<br>100 140-F<br>90 165-F<br>85 193-G<br>80 242-J<br>75 312-K | 265 70-C<br>175 99-D<br>145 120-E<br>135 140-F<br>120 165-F<br>110 193-G | 285 70-C<br>195 99-D<br>180 120-E<br>170 140-F<br>150 165-F<br>145 193-G<br>140 242-H | 300 70-C<br>225 99-D<br>215 120-E<br>205 140-E<br>180 165-F<br>170 193-G<br>165 242-H | 255 99-D<br>245 120-E<br>220 140-E<br>215 165-F<br>200 193-G | 285 99-D<br>280 120-E<br>250 140-E<br>230 193-G<br>225 242-H | 280 140-<br>265 193-G<br>260 242-H |
| 50 | 85 70-C<br>45 99-E<br>35 120-F<br>25 140-F<br>20 193-H | 100 70-C<br>55 99-E<br>40 120-F<br>35 140-F<br>30 165-F<br>25 193-H<br>20 242-H | 110 70-C<br>60 99-E<br>45 120-F<br>40 140-F<br>35 165-F<br>25 193-H | 125 70-C<br>75 99-E<br>60 120-F<br>50 140-F<br>40 165-F<br>35 193-H<br>30 242-H | 150 70-C<br>90 99-D<br>75 120-E<br>70 140-F<br>55 165-F<br>50 193-H<br>45 242-H | 185 70-C<br>115 99-D<br>105 120-E<br>100 140-F<br>85 165-F<br>75 242-H | 210 70-C<br>145 99-D<br>140 120-E<br>120 140-E<br>115 165-F<br>110 193-G<br>105 242-H | 235 70-C<br>175 99-D<br>170 120-E<br>150 140-E<br>145 193-G<br>135 242-H | 275 70-C<br>210 99-D<br>180 140-E<br>170 193-G<br>165 242-H | 245 99-D<br>220 120-E<br>215 140-E<br>200 193-G | 280 99-D<br>250 120-D<br>245 140-E<br>230 193-G<br>225 242-H | 280 120-D<br>275 140-E |
| 30 | 60 70-C<br>40 99-D<br>30 120-E<br>20 140-F<br>15 165-F | 70 70-C<br>40 99-D<br>35 120-E<br>30 140-F<br>20 165-F | 80 70-C<br>45 99-E<br>40 120-E<br>35 140-F<br>22 165-F | 95 70-C<br>50 99-D<br>45 140-F<br>35 165-F | 115 70-C<br>65 99-D<br>55 140-F<br>50 165-F | 145 70-C<br>105 99-D<br>100 120-E<br>85 140-E<br>80 165-F | 175 70-C<br>135 99-D<br>125 120-E<br>120 140-E<br>110 165-F | 215 70-C<br>165 99-D<br>155 120-E<br>150 140-E<br>140 165-F | 235 70-B<br>185 99-D<br>180 120-E<br>175 140-E<br>170 165-F | 260 70-B<br>210 99-D | 285 70-B<br>240 99-D | 270 99-C |
| 20 | 40 70-C<br>30 99-D<br>22 120-E<br>18 140-E | 55 70-C<br>35 99-D<br>30 120-E<br>20 140-F | 60 70-C<br>40 99-D<br>30 120-E<br>25 140-F | 70 70-C<br>45 99-D<br>40 120-E<br>35 140-F | 90 70-C<br>65 99-D<br>55 120-E<br>50 140-F | 125 70-C<br>100 99-D<br>90 120-D<br>85 140-E | 160 70-B<br>130 99-C<br>120 120-D | 185 70-B<br>155 99-C<br>150 120-D | 210 70-B<br>180 99-C<br>175 140-E | 245 70-B<br>210 99-C | 280 70-B<br>235 99-C | 260 99-C |
| 10 | 35 70-C<br>20 99-D<br>18 120-D | 40 70-C<br>24 99-D<br>21 120-D | 45 70-C<br>30 99-D<br>24 120-D | 55 70-C<br>35 99-D | 75 70-C<br>55 99-C<br>50 120-D | 105 70-B<br>85 99-C<br>80 120-D | 135 70-B<br>110 99-C | 165 70-B<br>145 99-C | 200 70-B<br>170 99-C | 230 70-B<br>200 99-C | 270 70-B<br>230 99-C | 260 99-C |

De “Inyector hydraulic operating requirements for sonic operation – 1” fixed throat injector”, por Siemens, s.f./a. (https://www.siemens.com/pe/es.html)

Como se puede observar en la figura 12 el mínimo cantidad de PPD sería de 10 y contrapresión de 0 psi, con lo cual se puede concluir que se necesitaria una presion requerida de 18 psi, con este dato nos ayudaremos la figura 13 que nos proporcionará el caudal mínimo en GPM que se necesitará para la selección de la bomba.

**Figura 13**

*Gráfica de presión vs causal*

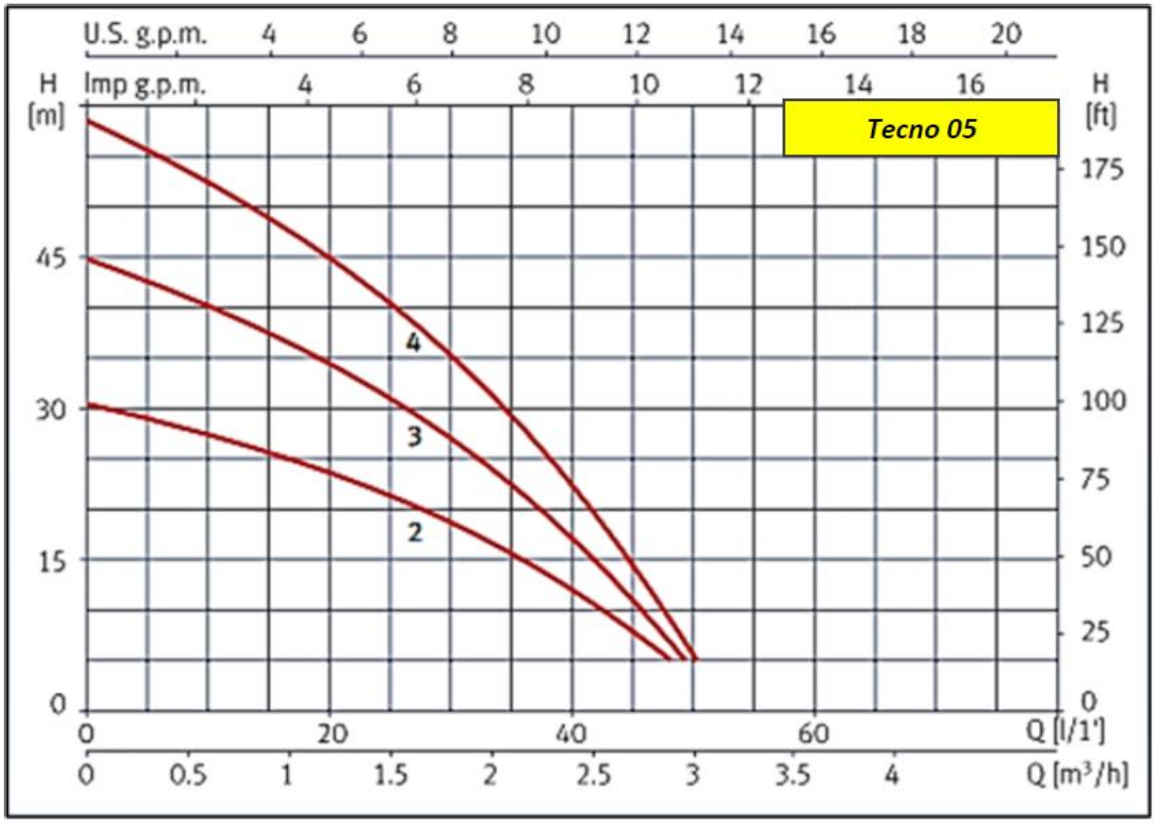



De “Inyector hydraulic operating requirements 1” asnd ¾” fixed throat injector”, por Siemens, s.f./b. (https://www.siemens.com/pe/es.html)

De la figura 13 se puede observar que el caudal minimo que debe proporcionar la bomba es de 2.8 GPM que es equivalente a 0.64 $m^3$/h o 635.95 l/h. Teniendo este dato nos dirigimos a la figura 14.

**Figura 14**

*Gráfica de caudal vs metros de columna de agua*




Por Hydro Center Ingenieros SAC, 2023.

Como se puede observar en la figura 14, se selecciona la bomba Tecno 05 – 3M de la marca EPSA, ya que como se puede apreciar en la gráfica con un caudal mínimo de 0.64 $m^3/h$ la bomba trabaja en un punto ideal.

## 4.2 Desarrollo de la Solución

**<u>Cálculo Matemático</u>**

Para esta aplicación, se tiene que poner en contexto el lugar en donde irá instalado el equipo. El skid va a ser instalado en una piscina en donde ira pasando el agua turbia a cierta cantidad de flujo. A la salida del skid, un tubo, el cual suministrará el floculante disuelto en agua, irá directamente inmerso en dicha piscina. Cabe resaltar que los instrumentos de medición de temperatura, turbidez y pH irán, inmersos en el área transversal de la piscina. Teniendo este contexto, se procede a explicar los cálculos que se tuvieron en cuenta para poder realizar la simulación del proceso. La idea parte de la siguiente formula descrita en el capítulo 3:

$$AD= 33.6+0.037TR – 0.466T – 1.06pH \ldots (1)$$

La variable TR representa la turbidez en NTU, la T es la temperatura en °C y por último se toma en cuenta el valor de pH. El resultado final, AD, es la cantidad de sulfato a dosificar en mg/L. Se debe tener en cuenta que el valor de AD fue dimensionado para estar acorde con la norma en donde la turbidez no puede ser mayor a 5 NTU. El resultado de mg/L sería útil si es que se tuviese una dosificación "en seco", en donde, por ejemplo, un tornillo sin fin pudiese ir suministrando la cantidad adecuada. Sin embargo, dado que nuestra bomba y equipos está hecho para una dosificación liquida, es imperativo ir complementando la fórmula de AD. El principal interés es que se obtenga el resultado de en unidades de l/seg o L/hora (flujo volumétrico), por lo que se siguieron los siguientes pasos:

**Cálculo en unidades de mg/s**

Para obtener los mg/s, se tiene que multiplicar la formula anterior con el caudal de agua turbia en la piscina, por lo que se requieren los datos, por parte del cliente, del área transversal de la piscina y de la velocidad del flujo, por lo que tendríamos los siguientes datos:

- A = $m^2$
- V = $m^2/s$
- AD = mg/L

Para proceder con la obtención de las unidades de mg/s se tiene la siguiente ecuación:

$$Q_{floculante}= (33.6+0.037TR – 0.466T – 1.06pH) \times (A \times V) \times 1000 \ldots (4)$$

El valor de 1000 se usa para poder pasar de $m^3/s$ a L/s. Dado que AD es mg/L y la multiplicación de A y V con 1000 nos da L/s. Luego, al multiplicar estas variables, tenemos las unidades de $Q_{floculante}$ = mg/s. Ahora que se tiene este valor, se sabe que, a cierta velocidad de flujo en la piscina, le corresponde un valor en mg/s de floculante a dosificar.

Retomando la explicación anterior, en donde la bomba seleccionada únicamente dosificará en unidades volumétricas. Se requiere un ultima adecuación de la fórmula 3 para obtener las unidades de L/s o L/h.

**Cálculo en unidades de L/s || L/h**

Primeramente, se tiene que plantear que la bomba va a succionar el sulfato previamente disuelto en cierta cantidad de agua. Dicha solución también será un dato proporcionado por el cliente. Por ejemplo, se puede llegar a asumir que el sulfato va a estar disuelto con cierta cantidad en un litro de agua.

La necesidad de este dato parte de la siguiente afirmación, en donde:

$$\text{Solución} = \text{Soluto} + \text{Solvente} \ldots (5)$$

Dado que se tiene el valor del solvente, que en este caso es 1 litro de agua, y el valor del soluto, que es el valor calculado de $Q_{floculante}$, se puede calcular la solución disuelta requerida por cada valor de flujo volumétrico en la piscina. El cálculo de este dato se expresa con la siguiente ecuación:

$$Q_{solucion} = (Q_{floculante}/(2.67 \text{ x}1000))+1 \ldots(6)$$

Ya se conoce que las unidades de $Q_{floculante}$ es mg/s, el valor de 2.67 es la densidad del sulfato en $mg/cm^3$ y el valor de 1000 es la conversión para que la densidad sea en mg/L. Por último, el valor de 1 está en unidades de L/s. Al terminar de hacer el cálculo respectivo, se tiene que $Q_{solucion}$ es en L/s. Teniendo este nuevo valor, ahora se tiene una relación directa entre las entradas de temperatura, pH y turbidez, y la salida de flujo de la bomba.

## Programa en Tia Portal

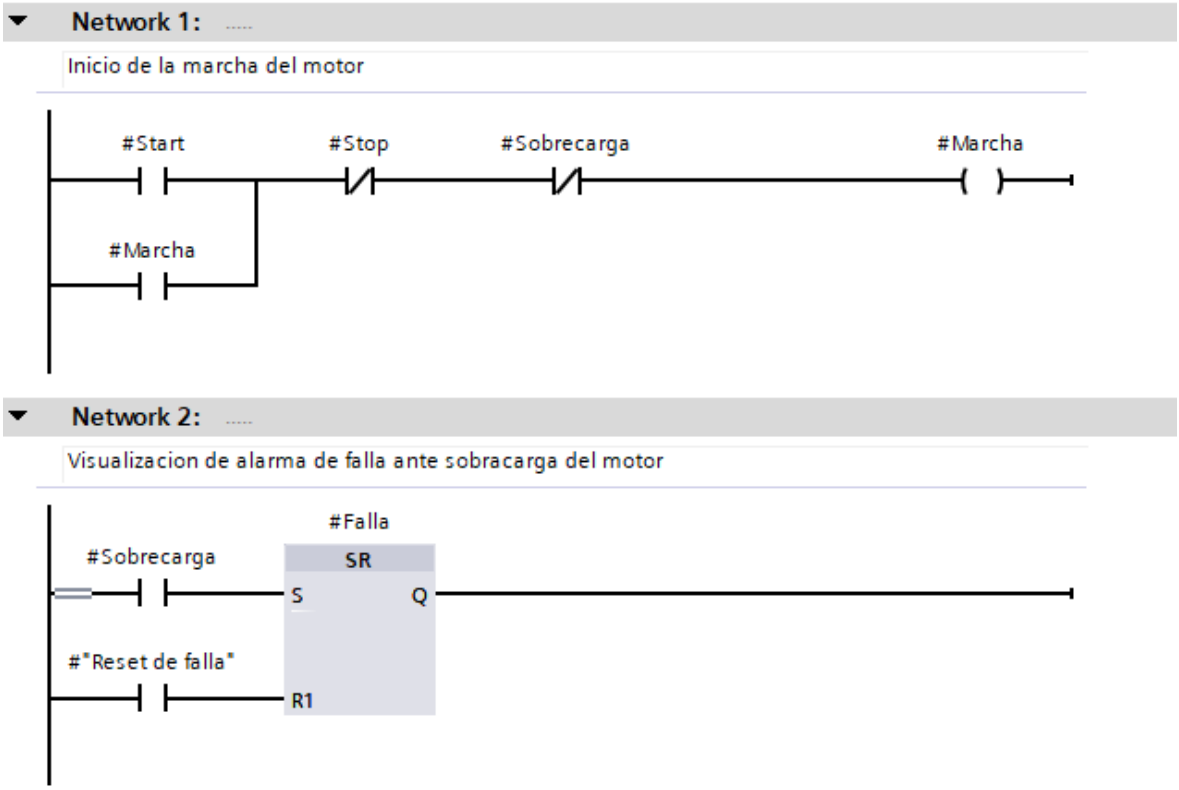
En este apartado se procederá a explicar los diferentes pasos y bloques de programación utilizados para realizar la simulación del sistema.

### Encendido del sistema

Mediante un “Function Block” se armó el siguiente arreglo:

**Figura 15**

*Variables del inicio del sistema*




El Network 1 únicamente se hace el arreglo de contactos de las entradas de arranque, parada, sobrecarga y la salida de la marcha, la cual mandará un 1 lógico para poder dar inicio al sistema en general. En el Network 2 se tiene un bloque Set/Reset, el cual nos ayudará a parar el sistema en caso se dé una sobrecarga (de manera simulada).

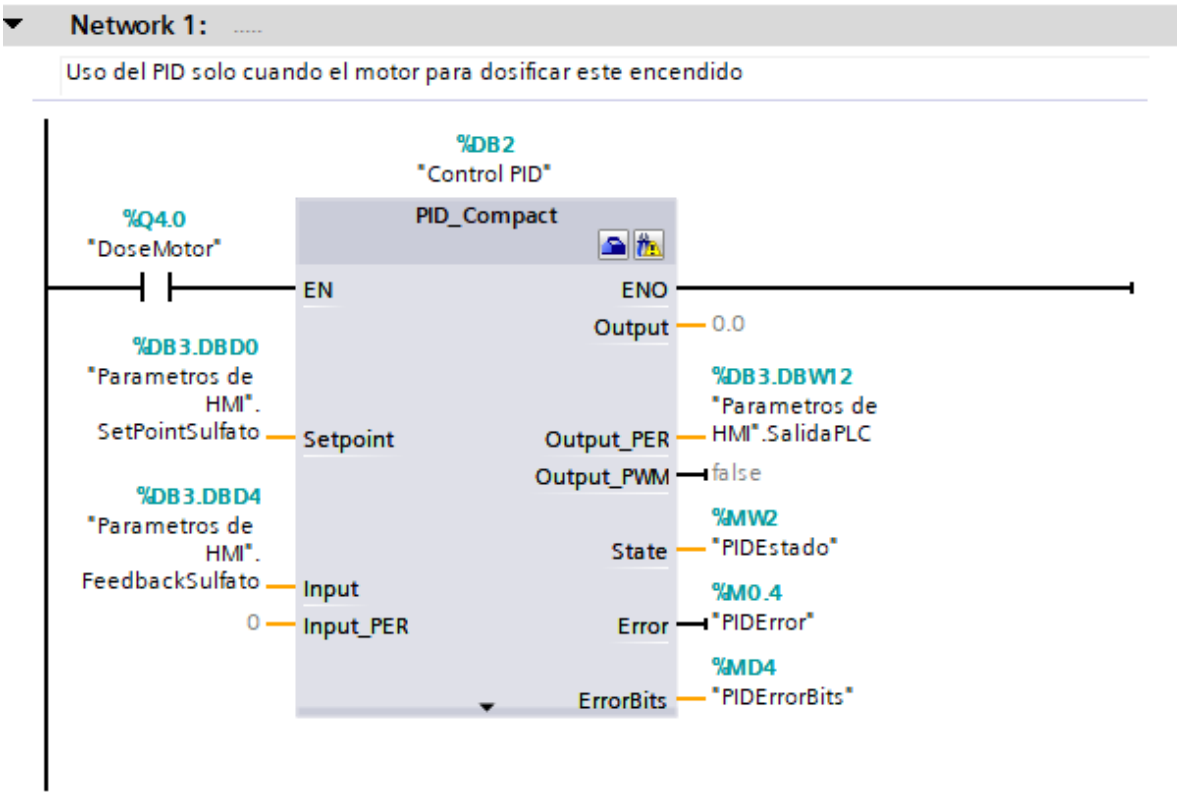
Se decidió armar la relación de estas entradas en un "Function Block", ya que de esa manera podemos llamar la función de manera rápida y sencilla al bloque principal de programación.

**Bloque PID**

Naturalmente se hará uso del bloque PID para poder realizar el sistema de control teniendo como base el valor de Set Point, el cual será el valor obtenido en la ecuación número 3, la retroalimentación, el cual será el valor del flujo obtenido por el flujómetro y la salida, la cual será la velocidad del motor reflejada en Hz. La unión de estas variables se ve reflejada en la siguiente imagen:

**Figura 16**

*Bloque PID*



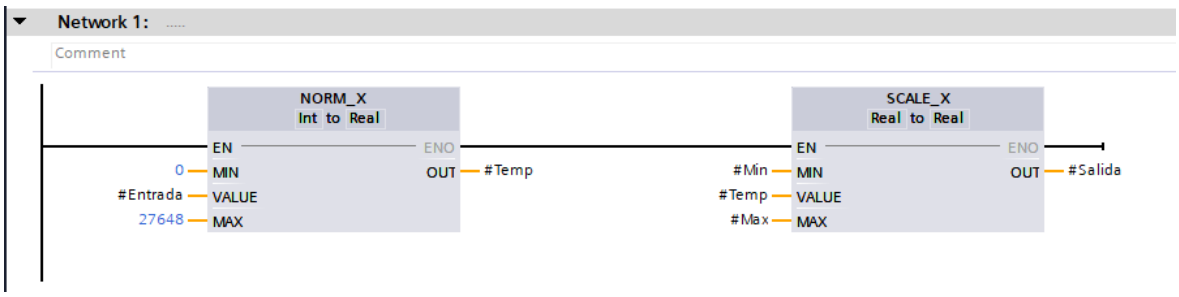

Muy aparte de las 3 variables mencionadas, también se consideró el uso de las variables de estatus del PID, como, por ejemplo, el Estado, Error y ErrorBits. Estas tres últimas variables no tendrán ningún efecto en la simulación, ya que solamente servirán como un flag para tener información del bloque. Cabe resaltar que el bloque PID estará dentro del bloque de organización "Cyclic Interrupt", ya que se quiere llamar al PID cada cierto tiempo para que las salidas se puedan ir actualizando de manera continua.

**Entradas Analógicas**

Únicamente se tendrá como entradas las variables de temperatura, pH y Turbidez. Si bien es cierto que se podría reflejar estas variables en sus unidades de ingeniería, como por ejemplo en °C o NTU, se decidió tener como entrada el valor en bruto para ser previamente escalado en 27648 (reflejando el comportamiento real de un sensor). Naturalmente las salidas de estos si estarán en sus unidades de ingeniería, ya que de esta manera será más sencillo ir trabajando con la implementación de las fórmulas previamente mencionados en los bloques de cálculo del Tia Portal.

**Figura 17**

*Normalización y escalado de entradas analógicas*




Estos bloques están armados en el bloque “Function”, ya que estos serán llamados en tres ocasiones, ya que tenemos 3 variables de entrada.

## Sistema de control simulado

Debido a la carencia de los equipos de manera física, se optó por desarrollar el comportamiento de las entradas mediante código SCL en los bloques “Function Block”.

Dicho código tiene la siguiente lógica:

**Figura 18**

*Código de simulación de comportamiento de las curvas de entrada*

Network 2:

Comment

```
#"Resiltado data de flujo" := 0;
FOR #"Data de flujo Int" := 1 TO #TiempoAsentamiento DO
    #"Data de flujo"[#"Data de flujo Int" - 1] := #"Data de flujo"[#"Data de flujo Int"];
    #"Resiltado data de flujo" += #"Data de flujo"[#"Data de flujo Int" - 1];
END_FOR;
#"Data de flujo"[#TiempoAsentamiento] := #PotenciaMotor;
#"Resiltado data de flujo" += #"Data de flujo"[#TiempoAsentamiento];
#"Resiltado data de flujo" /= #TiempoAsentamiento;
IF "Parametros de HMI".ZeroSulfato THEN
    FOR #"Data de flujo Int" := 0 TO #TiempoAsentamiento DO
        #"Data de flujo"[#"Data de flujo Int"] := 0;
    END_FOR;
END_IF;
```

La variable que da sentido al comportamiento de la señal es la del tiempo de asentamiento, dependiendo de su valor, es que los valores pueden alcanzar de manera acelerada o no el

input que el usuario estuviese escribiendo en la simulación. A partir de ello es que luego se tiene un arreglo de n-posiciones igual al valor del tiempo de asentamiento. La línea 4 del código únicamente va a reflejar el corrimiento de todos los datos para que cada valor actual sea diferente a su valor anterior. Entre las líneas 6 y 8 de código, solamente se verá reflejado el escalamiento de los valores de la data del flujo en relación con el tiempo de asentamiento, de lo contrario, su visualización se vería de manera desproporcionada. Por último, entre las líneas 9 y 13 solamente se está haciendo un "reset" del dato de flujo para ver cómo es que este se va a ir acercando al set point deseado.

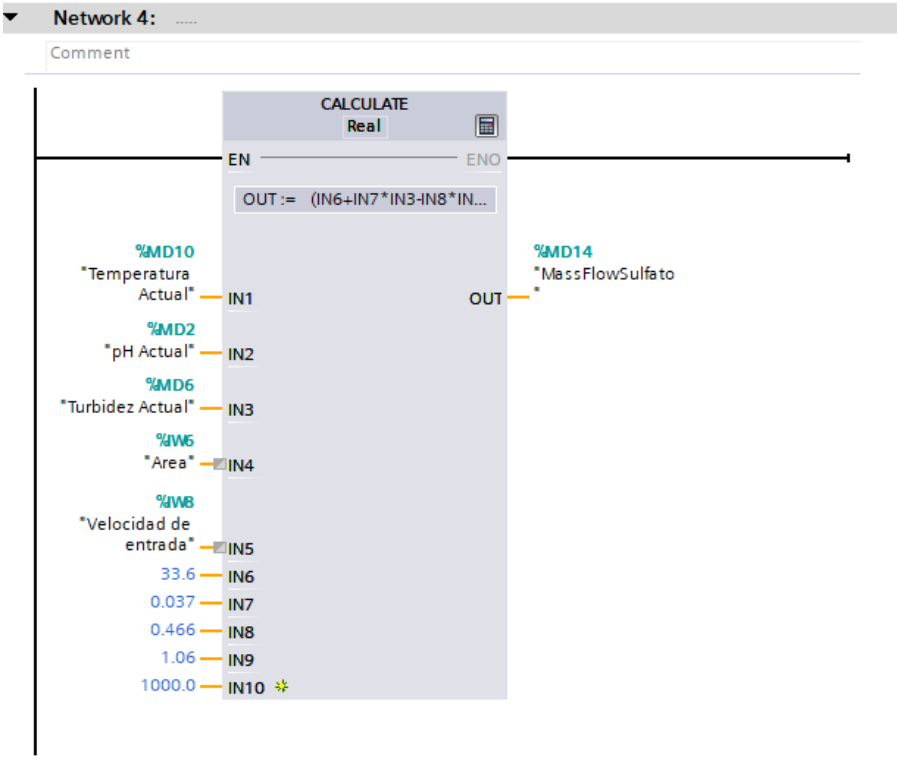
Cabe resaltar que este bloque únicamente va a definir la forma del cambio de las curvas de las variables, no sus valores, matemáticamente hablando.

**Ecuaciones del sistema**

El comportamiento de las entradas y salidas tienen que estar a acordes con las ecuaciones 2, 3 y 5, ya que estas son las que van a definir los comportamientos de las entradas y salidas de las variables previamente expuestas. La ecuación del SetPoint es la que se refleja a continuación:

**Figura 19**

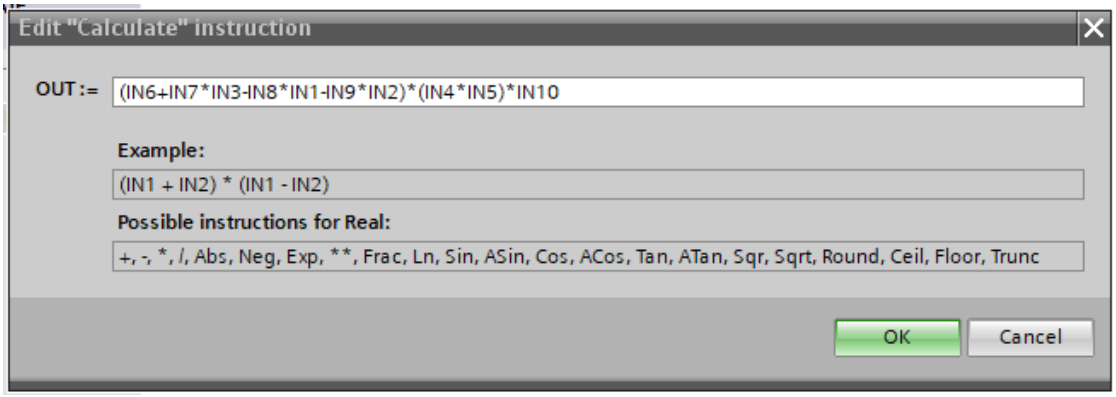
*Bloque de cálculo de la ecuación 4*




El bloque "Calculate" está tomando en consideración las variables expuestas en las ecuaciones 2 y 3. Ya que nuestro principal interés es la cantidad de mg/s de sulfato a dosificar para un determinado caudal de la piscina.

**Figura 20**

*Visualización de la ecuación 4 en el bloque Cálculo*



En la imagen superior se ve reflejada el input de la combinación de las ecuaciones 2 y 3. Más adelante en los resultados de la simulación se verá el comportamiento de $Q_{floculante}$.

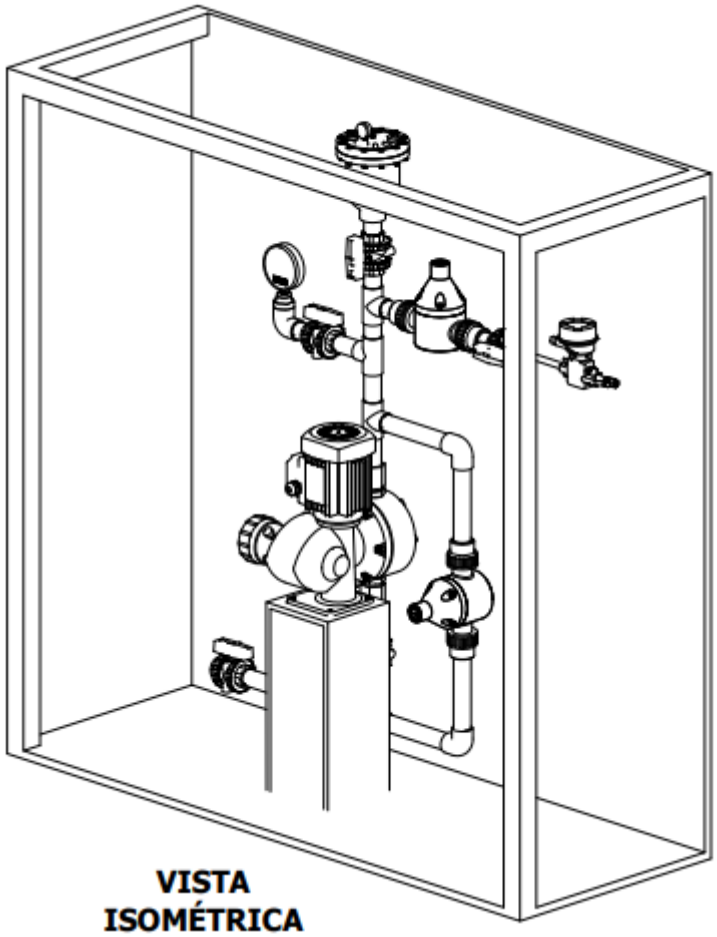
Las 6 imágenes previamente expuestas, reflejan de manera resumida el comportamiento de las entradas y salidas de las variables que guardan relación con las ecuaciones 2, 3 y 5, en el Tia Portal.

**Armado Mecánico en Inventor**

La pieza principal de este proyecto es el armado del skid, el cual involucra los sensores, actuadores principales y dispositivos de adecuación de flujo que nos permitirán darnos una idea del volumen total que podría ocupar.

**Figura 21**

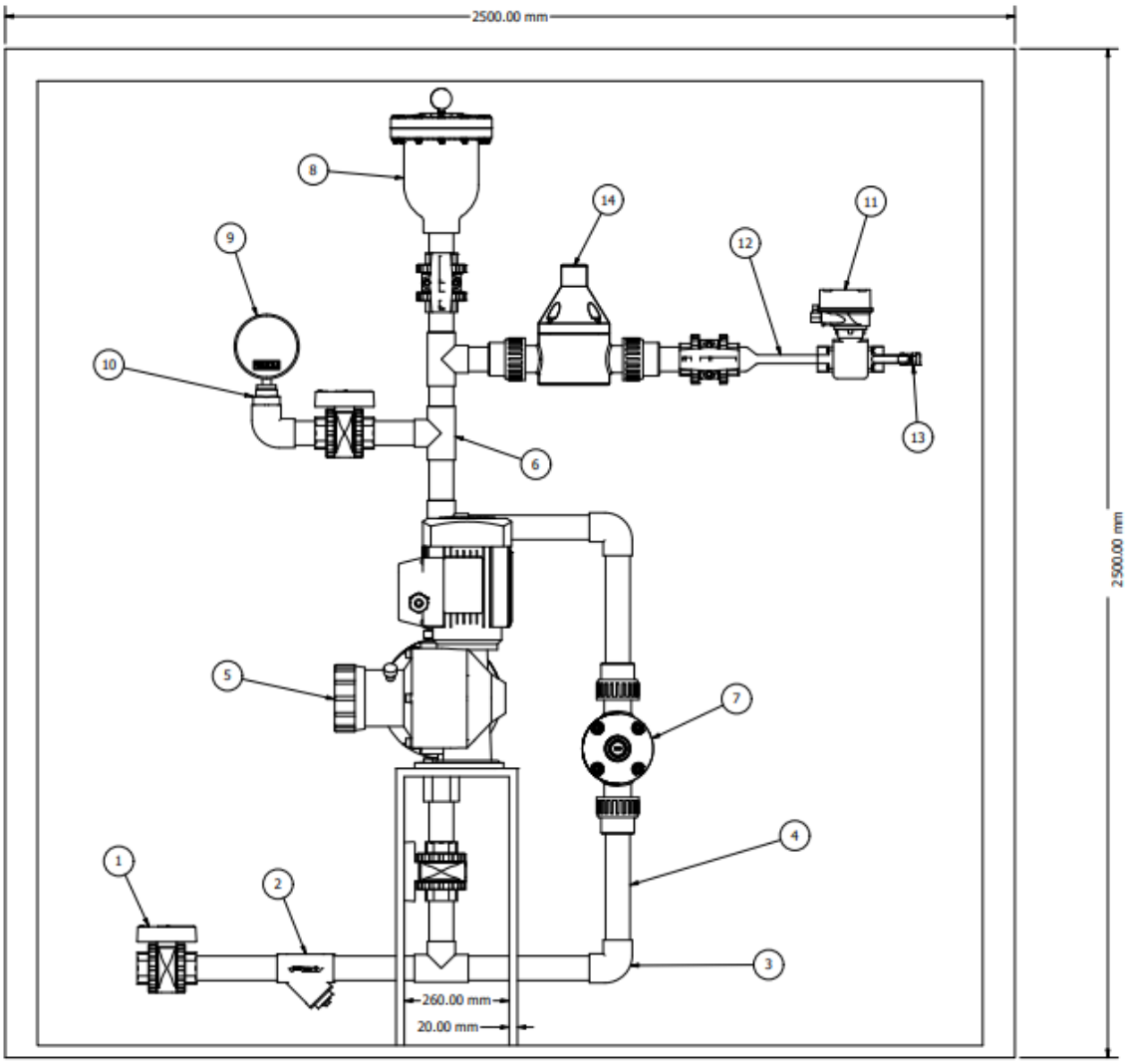
*Vista isométrica del Skid*



En la imagen previa se tiene una vista isométrica del skid completo en donde en el lado izquierdo se puede apreciar la entrada del sulfato disuelto en agua y a la derecha, la salida del flujómetro electromagnético, el cual ira directamente hacia la piscina con agua turbia.

**Figura 22**

*Vista frontal y dimensiones del Skid*




En la imagen anterior se puede apreciar de manera clara la cantidad y tipo de equipos a utilizar en la implementación mecánica. A modo de resumen, se tiene está optando por el uso de válvulas de bola manuales, válvulas de alivio, amortiguadores de pulsos, manómetro, válvulas de contrapresión, bomba dosificadora y flujómetro electromagnético.

Profundizando más en la selección de estos equipos (de manera resumida), las válvulas de alivio, el amortiguador de pulsos y las válvulas de contrapresión van a cumplir la principal función de estabilizar el flujo que recorre el fluido en cada una de las partes en donde se ve involucrada las perturbaciones causadas por los codos, tees y posibles sobrepresiones que estarán presentes en una situación real. Además, esto ayuda en gran medida en la lectura del flujómetro, ya que es imperativo que el perfil de flujo no sea pulsante y se estaría asegurando tubería llena en la sección transversal del flujómetro.

La forma del skid se hizo de manera ascendente, ya que de esa manera se puede ahorrar espacio en los laterales y se estaría evitando la formación de burbujas a la salida del skid como consecuencia del efecto sifón, el cual podría ser causado si es que la salida se hubiese puesto en la parte inferior del skid.

## 4.3 Validación del Proyecto

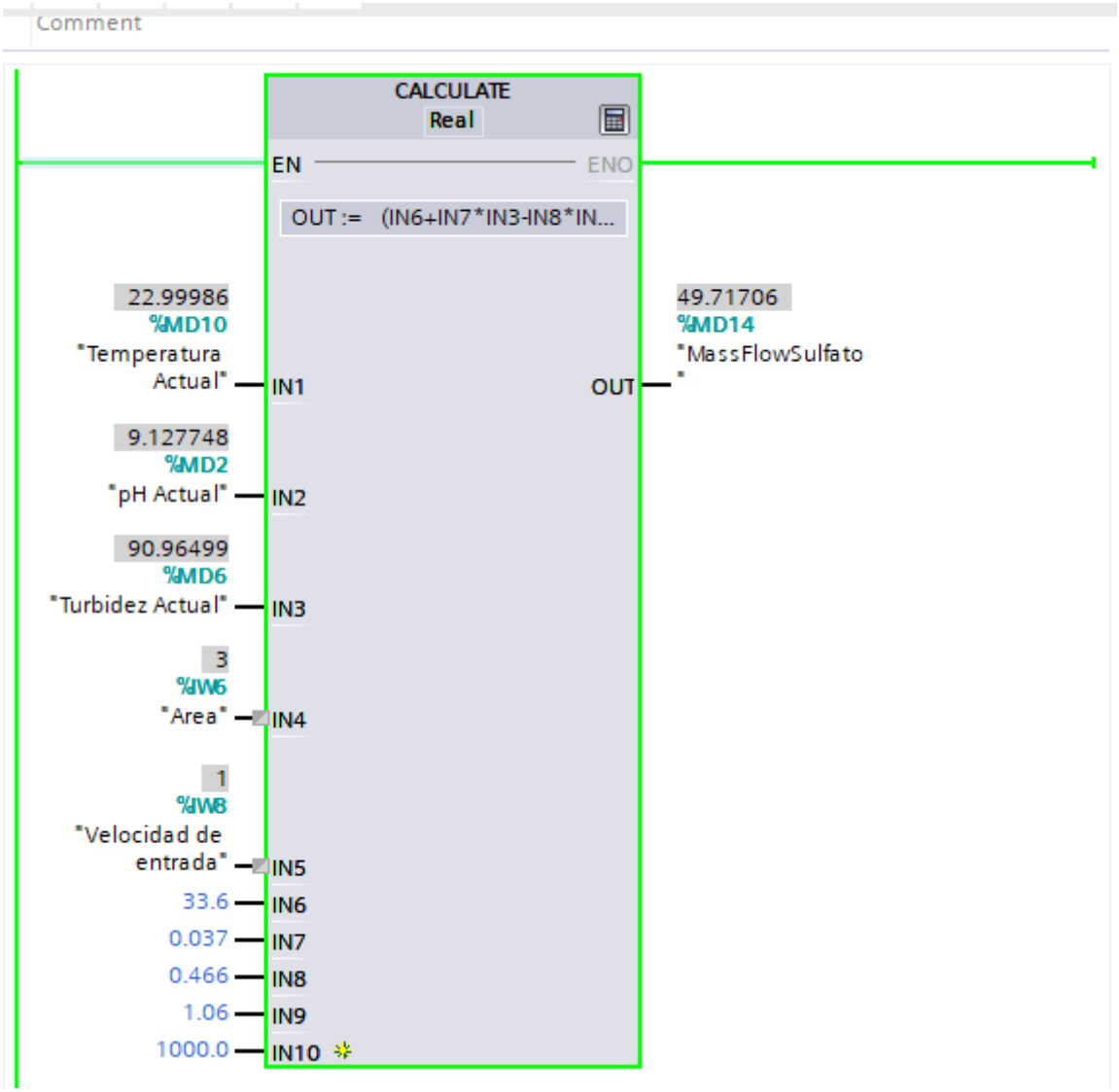
Para la validación del proyecto, se procede a iniciar con los bloques del Tie Portal. En primer lugar, se definen los valores de entrada, para este ejemplo se está teniendo los siguientes datos:

- Temperatura = 23°C
- pH = 9
- Turbidez = 91 NTU
- Área transversal de la piscina = $3m^3$
- Velocidad de flujo = 1 m/s

A raíz de estos valores, el bloque “Calculate” dará el siguiente resultado, en unidades de mg/s.

**Figura 23**

*Visualización de las variables de entrada durante la simulación.*

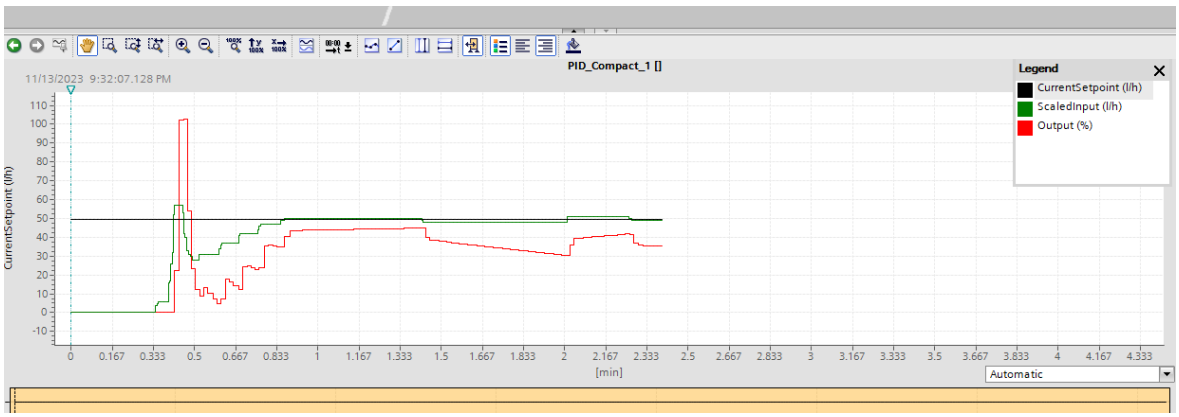



Dado que se sabe que el valor de $Q_{floculante}$ es aproximadamente 50 mg/s, se escoge este dato como el SetPoint, ya que como la principal razón es tener en cuenta las medidas de la entrada del sulfato, es de principal interés para el cliente tener controlado la cantidad de bolsas de sulfato de aluminio a comprar ya que esto tiene relación directa con la inversión de la materia prima. Habiendo explicado esta entrada del PID, el sistema empezara a simular el comportamiento de la señal retroalimentada de la velocidad de flujo y la velocidad del motor.

Ahora, dado que se tiene la retroalimentación del flujo, se procede a ver el comportamiento de las señales en cuestión:

**Figura 24**

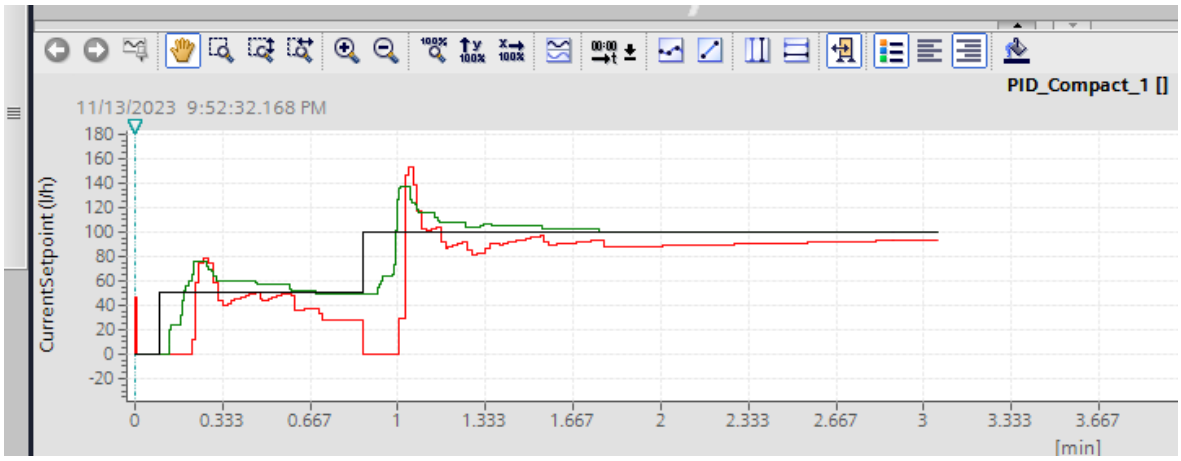
*Gráfica del comportamiento de la retroalimentación del flujo y velocidad del motor*




Una vez que se calculó el valor del SetpPoint, y su valor se vea reflejado en la gráfica del PID, el valor del input, que en este caso es el flujo, ira aumentando de manera progresiva a al valor de 50 l/h. además, mientras que este valer se esté incrementando, se aprecia que el valor Output, el cual representa la velocidad del motor, también va aumentando acorde al input requerido. A modo de ejemplo, se aumentó el valor de $Q_{floculante}$ para ver el comportamiento de las señales Input y Output, el cual mostro el siguiente resultado:

**Figura 25**

*Gráfico del comportamiento de las entradas y salidas ante cambios del setpoint*




Una vez más se puede observar que ante los cambios del setpoint las variables de retroalimentación de flujo y velocidad del motor se comportan acorde a la lógica establecida;

cuando aumente el valor del setpoint (mg/s), la velocidad del motor aumenta dando como resultado un mayor flujo para cumplir con la dosificación solicitada.

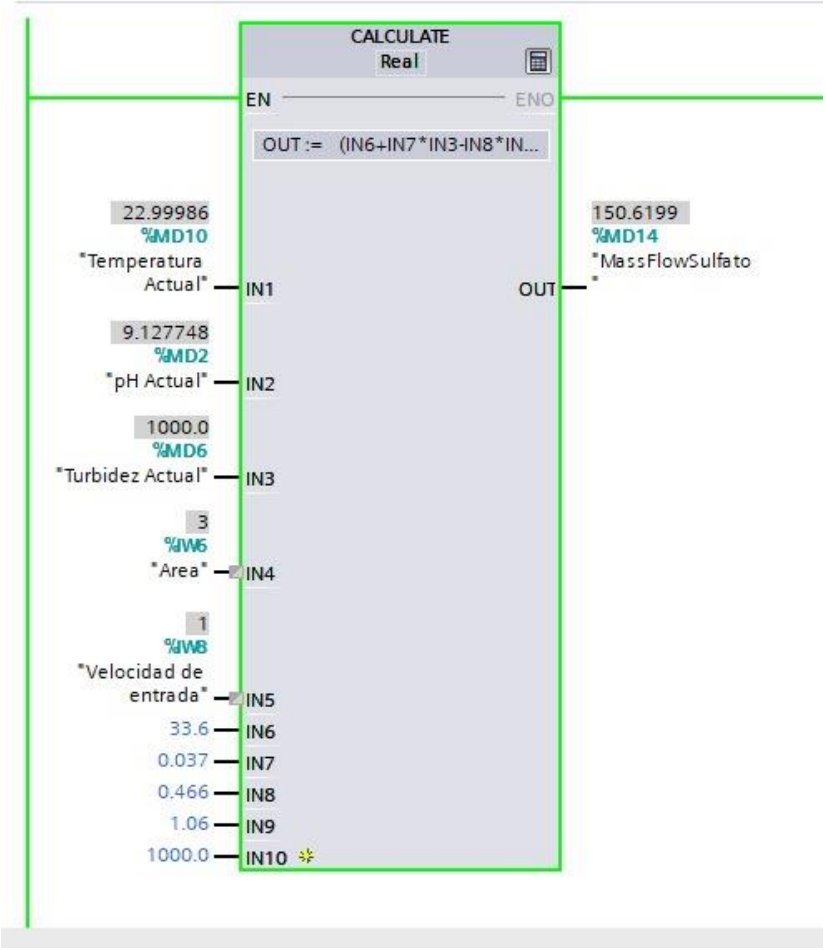
## 4.4 Interpretación de los Resultados

Para dicha interpretación se están poniendo dos situaciones: una donde se tenga un valor de turbidez alto y otra con un valor bajo. A continuación, se procederá a verificar los resultados con la turbidez alta.

Para el escenario donde la turbidez presenta un gran valor, siendo este de 1000 NTU se obtiene un valor de dosificación de 150 mg/s. Este resultado es acorde a la ecuación 4.

**Figura 26**

*Cálculo de flujo de sulfato ante turbidez elevada*

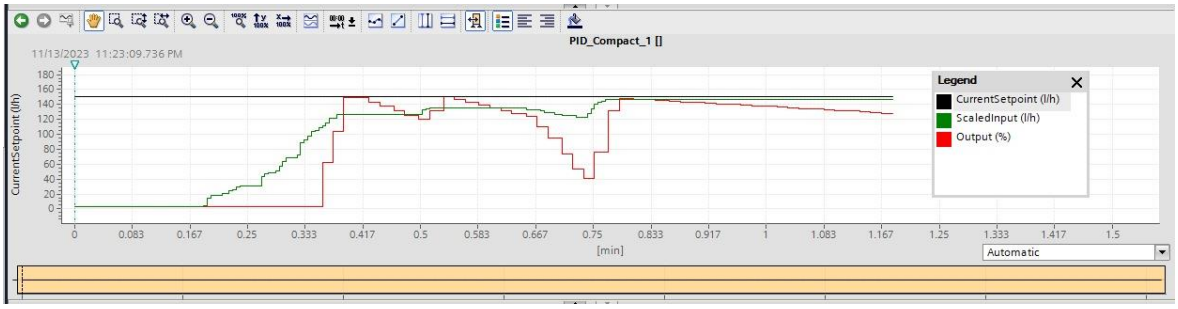



Como se explico anteriormente en el apartado 4.3 este valor será el setpoint del PID. Ante el aumento de esta variable se espera que el flujo crezca, debido a que se necesitará una

mayor cantidad de sulfato de aluminio para la dosificación del agua turbia, a su vez el valor de la velocidad del motor se verá incrementado con el flujo, ya que cualquier cambio en el flujo será directamente proporcional con la velocidad de la bomba.

**Figura 27**

*Comportamiento del PID con alta turbidez*

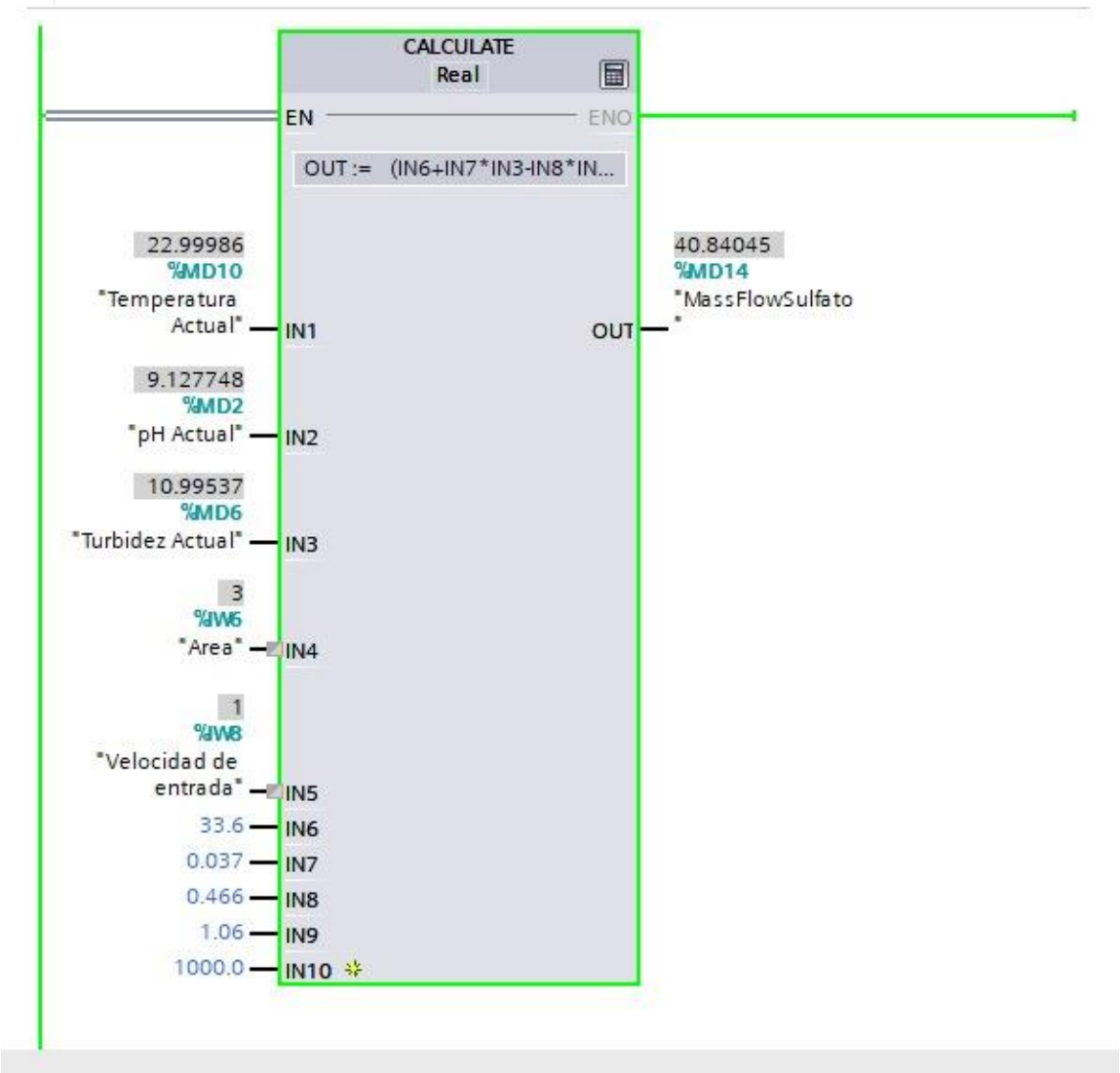



El comportamiento antes mencionado se puede observar en la figura 27, donde el sistema buscas llegar a la dosificación (setpoint) que se obtienen en el bloque de cálculo de cantidad de sulfato necesario.

Ahora, para el caso en donde la variable de turbidez es un valor mínimo de 11 NTU, se puede observar que el resultado de mg/s disminuye considerablemente a un valor de 40, por lo que una vez más se ve refleja el correcto comportamiento de las variables involucradas en la ecuación 4, tal cual se aprecia en la figura 28.

**Figura 28**

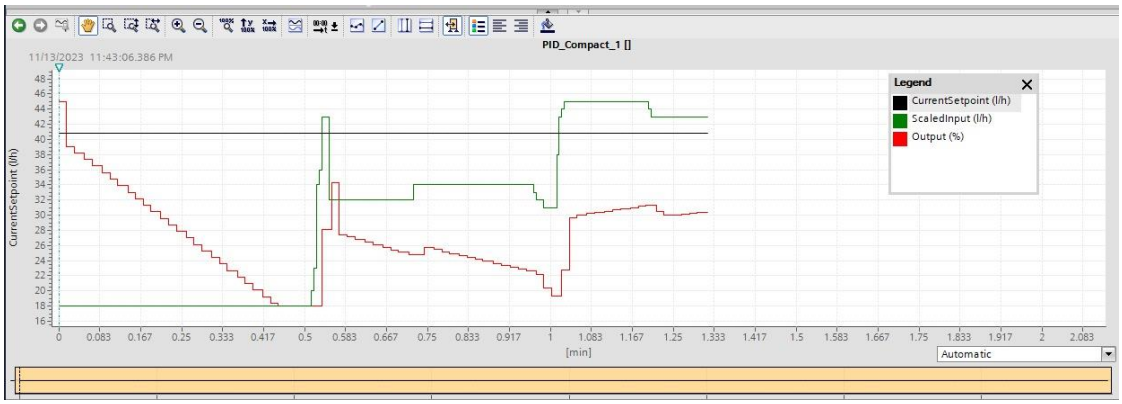
*Cálculo de flujo de sulfato ante turbidez baja*




Dado que el valor del nuevo setpoint ha disminuido, se aprecia en la figura 29 como es que la retroalimentación del flujo sube a valores cercanos de los 40 mg/s. A su vez, la velocidad del motor tiene un patrón similar a la retroalimentación tal y como se esperaba según la lógica del sistema al tener una proporcionan directa entre flujo y velocidad.

**Figura 29**

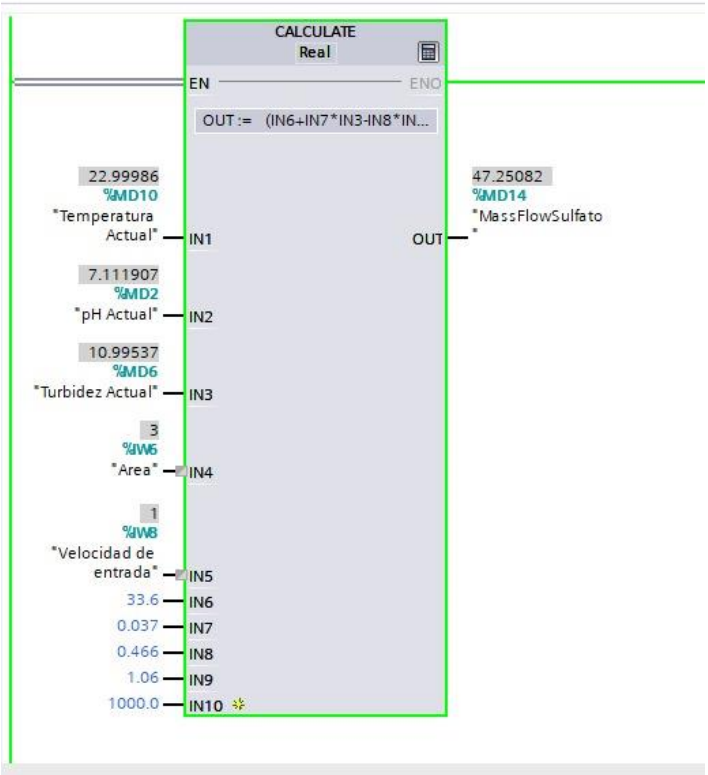
*Comportamiento del PID con baja turbidez*




En este otro ejemplo se ha decido cambiar el valor de pH, ya que como se expresa en la fórmula 1 esta tambien se encuentra relacionada para la cantidad de dosificación, siendo para este ejemplo un valor de 7.

**Figura 30**

*Cálculo de flujo de sulfato ante 7 de pH*




Asi, como en los casos anteriores los valores mostrados en el PID siguen siendo acordes a la proporcionalidad entre flujo y velocidad previamente explicados, esto se puede apreciar en la figura 31.

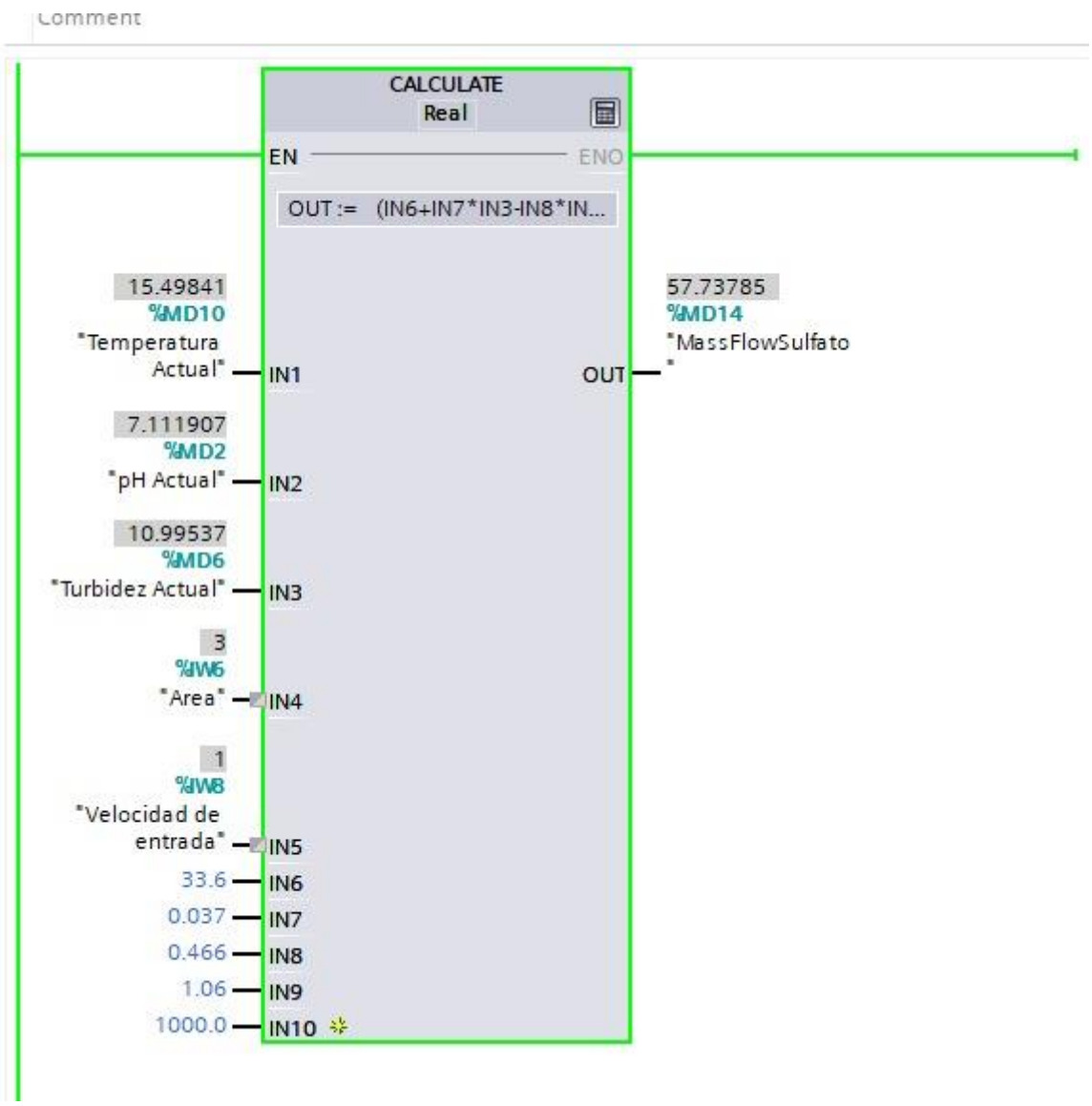
**Figura 31**

*Comportamiento del PID con alta turbidez*

Por último, se decidió cambiar el valor de temperatura a 15°C, dado que el aporte de temperatura es mayor al que de turbidez a la salida del bloque calculate se puede ver un aumento en 10 unidades

**Figura 32**

*Cálculo de flujo de sulfato ante una temperatura de 15°C*




Para este último caso, se ve la tendencia de la retroalimentación a hacia un valor cercano al setpoint. Por otro lado, para probar la fiabilidad de la simulación se decidió insertar dos pequeñas perturbaciones cerca al minuto 1,08 y 1,4, la razón de este cambio en la señal de la retroalimentación para el testeo que su tendencia llegue a ser similar a la del setpoint y como se mencionó con anterioridad a la proporcionalidad el valor de la velocidad tambien es similar a los cambios vistos en la retroalimentación del flujo, todo esto se puede apreciar en la figura 33.

**Figura 33**

*Comportamiento del PID con una temperatura de 15°C*

# 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 Conclusiones

- Se logró el diseño de un sistema capaz de monitorear y registrar el flujo del agente dosificador, lo cual conlleva a que el usuario tenga un mayor control en el inventariado y reduzca un mal uso de este.

- Se logró eliminar la intervención humana en el control de la dosificación, puesto que las tres variables de entrada (temperatura, turbidez y pH) proporcionan la información necesaria para que el controlador calcule la cantidad adecuada del sulfato de aluminio a dosificar.

- Gracias a que se tiene un control de la salida del químico se puede optimizar la cantidad de materia prima que ingresa al sistema, ya que la data es capaz de actualizarse en tiempo real, acorde a los cambios de flujo del agua turbia a tratar.

- Como se mencionó en el punto anterior, se tiene un control del químico a utilizar, por lo cual si el agua que ingresa para ser dosificada es turbia se ingresará una mayor cantidad de sulfato de aluminio y por el contrario si el agua que ingresa para ser dosificada no es tan sucia el químico a utilizar será menor.

- El skid fue diseñado de tal manera para que cada componente sea de fácil al operador cuando este se requiera hacer cambiado, además su construcción permite la adecuación o añadido de otros skid para cubrir un mayor volumen de agua turbia a tratar.

- El sistema cumple con todas las normas técnica y estándares peruanos reguladas por el ministerio de salud y la autoridad nacional del agua para el tratamiento de aguas residuales.

## 5.2 Recomendaciones

- Para cálculos de selección tanto para la bomba como para el flujómetro es necesario tener claro la presión y el flujo, ya que estos datos nos permiten dimensionar correctamente los instrumentos.
- Dado que este sistema únicamente se centrará en la dosificación de la solución planteada, es imperativo tener como dato proporcionado por el usuario la cantidad del soluto y solvente previa a la entrada del skid.
- Es recomendable realizar análisis al sulfato de aluminio, ya que en muchos casos al estar mal almacenado puede estar contaminado y afectar al skid al momento de la dosificación trayendo malos resultados.
- Se recomienda tener en cuenta los mantenimientos y las calibraciones de los instrumentos, debido a que, si estos miden erróneamente, la dosificación no será correcta perdiendo materia prima.
- Se debe dar capacitación constante al personal que se encargará de monitorear el sistema de dosificación para asegurar el correcto mantenimiento y/o uso de los instrumentos.

# 6 REFERENCIAS

Diseño y Construcciones Industriales S.A. (2019). *Importancia de una planta de tratamiento de aguas residuales para el medio ambiente*. Recuperado el 13 de setiembre del 2023, de https://www.disin.com/importancia-de-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-el-medio-ambiente/.

Eco – Intellutions (2019, 19 febrero). *4 Beneficios de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual que nadie te ha contado*. Recuperado el 13 de setiembre del 2023, de https://ecointell.com.mx/plantas-de-tratamiento-de-agua/4-beneficios-de-las-plantas-de-tratamiento-de-agua-residual-que-nadie-te-ha-contado.

Endress+Hauser (2023). *Product portfolio for water & waste water 2022*. Endress+Hauser.

Endress+Hauser (2022, 24 de octubre). *Technical information Turbimax CUS51D.* Recuperado el 8 de octubre de 2023, de https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EED9CA9447A282D2F00/TI00461CEN_1822-00.pdf

Endress+Hauser (2023, 20 de marzo). *Technical information iTHERM Moduline TM131*. Recuperado el 8 de octubre del 2023, de https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EEDBC86EE49FBC8780D/TI01373TEN_0523-00.pdf

Endress+Hauser (2021, 22 de enero). *Technical information iTEMP TMT142B.* Recuperado el 8 de octubre del 2023, de https://bdih-download.endress.com/files/DLA/005056A500261EDB9CB6CAC653B748F7/TI00107REN_1621.pdf

Freitas, J. H. E. S., De Santana, K. V., Nascimento, A. C. C. D., Paiva, P. M. G., Moura, M. D. C., Coelho, L. C. B. B., De Oliveira, M. B. M., Paiva, P. M. G., Nascimento, A. E. D., & Napoleão, T. H. (2016). *Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble Moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water*. Chemosphere, 163, 133–141. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.019.

Hydro Center Ingenieros SAC (2023). *Lista de precios y detalles de electrobombas.* Soluciones Integrales de bombeo Hydro Center Ingenieros SAC.

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (2021). *Norma técnica peruana NTP 214.003:1987.* Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. Recuperado el 15 de octubre del 2023, de https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas.

International Organisation for Standardisation. (2007). *Activities relating to drinking water and wastewater services - Requirements with guidance for use (ISO*

*Standard No. 24510:2007).* https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:24510:ed-1:v1:es

Jasim, N. A. (2020). The design for wastewater treatment plant (WWTP) with GPS X modelling. Cogent Engineering, 7(1). https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1723782.

Milton Roy (s.f.). *DOSAKID Sistema de dosificación de químicos.* [Figura], de: https://www.miltonroy.com/es-pe/packaged-systems/dosaskid/dosaskid-standard-chemical-dosing-system.

Presidencia de la República del Perú (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.* Recuperado el 12 de setiembre de 2023, de: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf.

Presidencia de la República del Perú (2010). *Decreto Supremo 031-2010-SA. Por lo cual se expide el reglamento de la calidad del agua para consumo humano.* Recuperado el 12 de setiembre de 2023, de: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/273650/reglamento-de-la-calidad-del-agua-para-consumo-humano.pdf?v=1561937448.

Omran, H. A., & Kadhim, M. A. (2018). *A mathematical model to determination of alum amount added for the purpose of coagulation in water purification plants*. Mağallaẗ Al-handasaẗ Wa-al-tiknūlūğiyā, 36(4A), 456–460. https://doi.org/10.30684/etj.36.4a.13.

Ordinola, E. (2019). *Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero* [Tesis de titulación, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional de la UP. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4337/ICI_295.pdf?isAllowed=y&sequence=1.

Pure Aqua (s.f.) *Sistema de dosificación de químicos.* Recuperado el 19 de octubre de 2023, de: https://es.pureaqua.com/sistema-de-dosificacion-de-quimicos/

SERA (2020). *CVD Sistema de dosificación compacto, vertical.* SERA. Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de: https://www.sera-web.com

SERA (2021). *Dosificador CTD*. Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de: https://www.sera-web.com/pdf/dosieranlagen/ctd/betriebsanleitungen/tm21_00_es_dosificadora-ctd.pdf

Siemens (s.f/a). *Inyector hydraulic operating requirements for sonic operation – 1" fixed throat injector. [Figura]*. Siemens. https://www.siemens.com/pe/es.html

Siemens (s.f/b). *Inyector hydraulic operating requirements 1" asnd ¾" fixed throat injector. [Figura]*. Siemens. https://www.siemens.com/pe/es.html

Tecnofluid (2023). *Skids de dosificación: ¿Qué son y cuáles son sus ventajas?*. Recuperado el 17 de octubre de 2023, de: https://tecno-fluid.com/2022/05/02/skids-de-dosificacion-que-son-y-cuales-son-sus-ventajas/

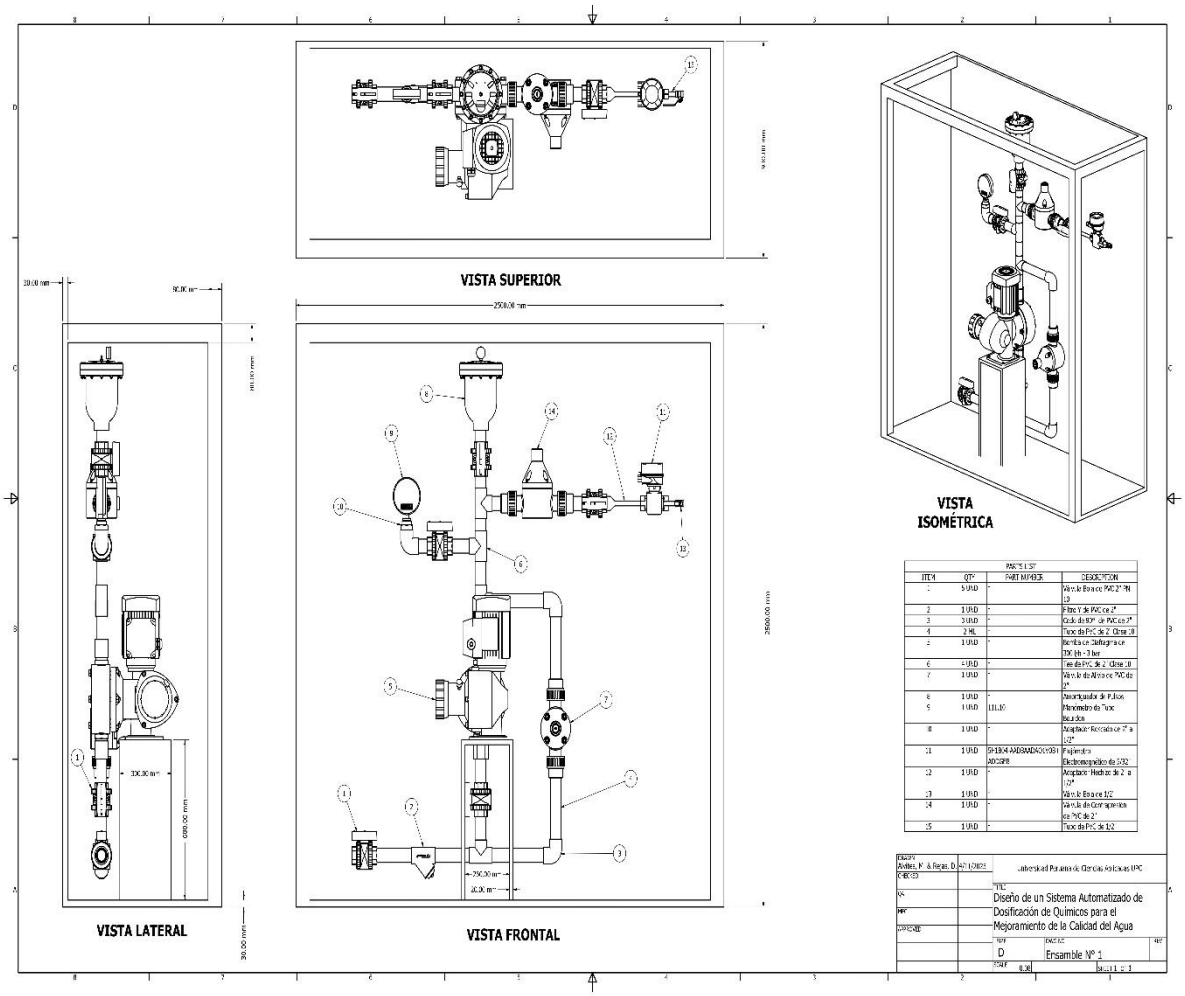
Wang, K., Wang, P., & Nguyen, H. (2021). *A data-driven optimization model for coagulant dosage decision in industrial wastewater treatment*. Computers & Chemical Engineering, 152. https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107383

Weiner, R. & Matthews, R. (2003). *Environmental Engineering.* 4ª edición Butterworth Heinemann. https://ia902309.us.archive.org/6/items/eco-8/ECO8.pdf

Xu, Y., Zeng, X., Bernard, S., & He, Z. (2022). *Data-driven prediction of neutralizer pH and valve position towards precise control of chemical dosage in a wastewater treatment plant*. Journal of Cleaner Production, 348. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131360

# 7 ANEXOS

## 7.1 ANEXO 1:



## 7.2 ANEXO 2:

### Applicator Sizing - Flow

Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

TAG : ---

| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

### Corrosion Information

#### General Parameters

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fluid | Aluminum sulfate 10% | Abrasiveness | Not abrasive |
| State | Liquid | | |
| Character | Clean | Flow Principle | Electromagnetic |

#### Interpretation of Data, (M) Material:

| | | |
|---|---|---|
| A: | resistant, | 0.05 mm/y (0.002 inches/y) |
| B: | insufficient resistant, | 0.5 mm/y (0.02 inches/y) |
| C: | not resistant, | 1.3 mm/y (0.05 inches/y) |
| NR: | not recommended | |
| U: | unknown | |

#### Interpretation of Data, (P) Plastics:

| | | | |
|---|---|---|---|
| A: | resistant, | 15% vol. Swelling/y; | 15% Loss of Tensile Strength/y |
| B: | insufficient resistant, | 30% vol. Swelling/y; | 30% Loss of Tensile Strength/y |
| C: | not resistant, | 50% vol. Swelling/y; | 60% Loss of Tensile Strength/y |
| NR: | not recommended | | |
| U: | unknown | | |

| | Temperature | | |
|---|---|---|---|
| Material (sensor) * | minimum : 25°C | nominal : 25°C | maximum : 25°C |
| (P) EPDM | A | A | A |
| (P) Hard Rubber | A | A | A |
| (M) Alloy C22/2.4602 | A | A | A |
| (P) Kalrez | B | B | B |
| (P) Natural Rubber | B | B | B |
| (P) PEEK, FKM | U | U | U |
| (P) PFA | A | A | A |
| (P) PTFE | A | A | A |
| (P) PU | NR | NR | NR |
| (P) PVC | B | B | B |
| (P) PVDF | A | A | A |
| (M) Platinum | A | A | A |
| (P) Polyamid | NR | NR | NR |
| (P) Silicon | B | B | B |
| (M) Stainless steel 304/1.4301 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/1.4404 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/1.4435 | A | A | A |
| (M) Stainless steel 316L/316/1.4404 | A | A | A |
| (M)Tantalum | A | A | A |
| (P) Viton | A | A | A |
| (P) PEEK, EPDM | A | A | A |
| (M) Titanium Grade 2 | A | A | A |

*The user is responsible for the selection of process-wetted materials in view of their corrosion resistance. Endress+Hauser makes no guarantees and assumes no liability for the corrosion resistance of the materials selected here for the application described above.

Print date: 04.11.2023 12:47 PM - 8 / 9 -
Applicator®: 11.17.02 / 26.09.31

Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

## TAG : ---

| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

## Compare sensors sheet

### General Parameters

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fluid | Aluminum sulfate 10% | | |
| State | Liquid | | |
| Character | Clean | Atmospheric Pressure | 1.0133 bar_a |
| Abrasiveness | Not abrasive | Standard | EN/DIN/ISO |
| Fluid Group (PED) | Dangerous Fluid (Fluid group 1) | | |
| Fluid type | Newtonian | | |

### Sizing and Calculated Results

| | Alternative 1 | Current | Alternative 2 | |
|---|---|---|---|---|
| Flowmeter | | Promag H 100 | | |
| Generation/Device model | | 3/0 | | |
| Flow Principle | | Electromagnetic | | |
| Meter Size | | DN 4 | | |
| Operating range min. | | 3 | | l/h |
| Operating range max. | | 420 | | l/h |
| Velocity at req. Flow min. | | 0.873 | | m/s |
| Velocity at req. Flow nom. | | 2.62 | | m/s |
| Velocity at req. Flow max. | | 5.24 | | m/s |
| Meas. error vol. at req. flow min.*** | | 0.61 | | % |
| Meas. error vol. at req. flow nom.*** | | 0.54 | | % |
| Meas. error vol. at req. flow max.*** | | 0.52 | | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow min.*** | | 0.43 | | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow nom.*** | | 0.28 | | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow max.*** | | 0.24 | | % |
| Warning(s) | | | | |

*The user is responsible for the selection of process-wetted materials in view of their corrosion resistance. Endress+Hauser makes no guarantees and assumes no liability for the corrosion resistance of the materials selected here for the application described above.

***For error calculation, the specified reference conditions for the calibration of the flowmeter according to ISO/IEC 17025 apply. Further information in technical documentation.



Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

## TAG : ---

| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

## Compare sizes Sheet

### General Parameters

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fluid | Aluminum sulfate 10% | | |
| State | Liquid | | |
| Character | Clean | Atmospheric Pressure | 1.0133 bar_a |
| Abrasiveness | Not abrasive | Standard | EN/DIN/ISO |
| Fluid Group (PED) | Dangerous Fluid (Fluid group 1) | | |
| Fluid type | Newtonian | | |

### Sizing and Calculated Results

| | Next Smaller Size | Current Size | Next Bigger Size | |
|---|---|---|---|---|
| Flowmeter | Promag H 100 | Promag H 100 | Promag H 100 | |
| Generation/Device model | 3/0 | 3/0 | 3/0 | |
| Flow Principle | Electromagnetic | Electromagnetic | Electromagnetic | |
| Meter Size | DN 2 | DN 4 | DN 8 | |
| Process connection* | PN 16 PVC | PN 16 PVC | PN 16 PVC | |
| Operating range min. | 0.6 | 3 | 6 | l/h |
| Operating range max. | 108 | 420 | 1 800 | l/h |
| Velocity at req. Flow min. | 3.493 | 0.873 | 0.218 | m/s |
| Velocity at req. Flow nom. | 10.48 | 2.62 | 0.655 | m/s |
| Velocity at req. Flow max. | 20.96 | 5.24 | 1.31 | m/s |
| Pressure loss at req. Flow min. | | | | mbar |
| Pressure loss at req. Flow nom. | | | | mbar |
| Pressure loss at req. Flow max. | | | | mbar |
| Meas. error vol. at req. flow min.*** | 0.53 | 0.61 | 0.96 | % |
| Meas. error vol. at req. flow nom.*** | n.a. | 0.54 | 0.65 | % |
| Meas. error vol. at req. flow max.*** | n.a. | 0.52 | 0.58 | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow min.*** | 0.26 | 0.43 | 1.12 | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow nom.*** | n.a. | 0.28 | 0.51 | % |
| Meas. error vol. higher accuracy at req. flow max.*** | n.a. | 0.24 | 0.35 | % |
| Reynolds No. | 6 456 | 3 228 | 1 614 | |
| Warning(s) | 1. Requested max. flow too big for flowmeter range. Please adapt the max. flow or select a bigger size (if available) or select another flowmeter. 2. Requested nom. Flow too big for flowmeter range. Please select bigger size (if available) select another flowmeter. | | | |

*The user is responsible for the selection of process-wetted materials in view of their corrosion resistance. Endress+Hauser makes no guarantees and assumes no liability for the corrosion resistance of the materials selected here for the application described above.
***For error calculation, the specified reference conditions for the calibration of the flowmeter according to ISO/IEC 17025 apply. Further information in technical documentation.

Print date: 04.11.2023 12:47 PM
Applicator®: 11.17.02 / 26.09.31



Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

## TAG : ---

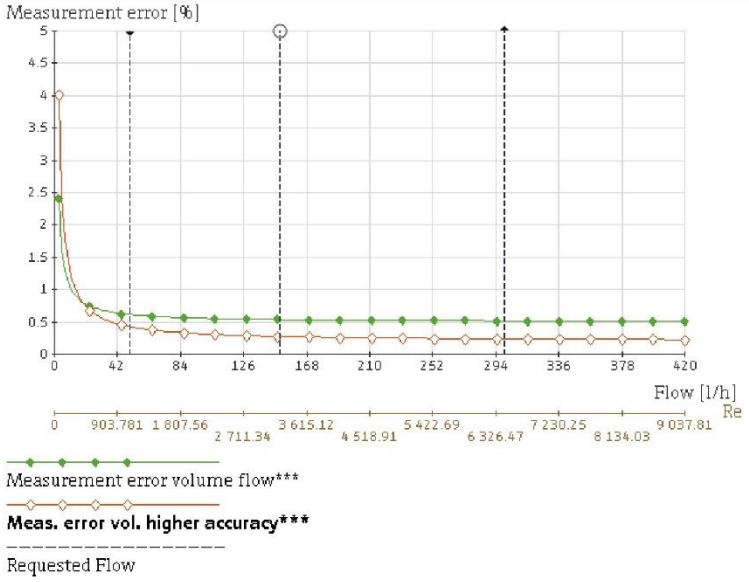
| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

## Chart sheet

### Flowmeter: Promag H 100 Generation: 3 Device model: 0

| | | | |
|---|---|---|---|
| Flow Principle | Electromagnetic | Fluid | Aluminum sulfate 10% |
| Meter Size | DN 4 | Pressure | 2 / 2 / 2 bar_g |
| Temperature | 25 / 25 / 25 °C | Density | 1 167.9 / 1 167.9 / 1 167.9 kg/m3 |
| Viscosity | 4.26557 / 4.26557 / 4.26557 cP | | |
| Operating range min. | 3 l/h | 3 l/h | 3 l/h |
| Operating range max. | 420 l/h | 420 l/h | 420 l/h |

### Chart (based on nominal process conditions)




| Flow rate (%) | Flow rate (l/h) | Measurement error volume flow(%)*** | Meas. error vol. higher accuracy(%)*** |
|---|---|---|---|
| 10 | 42 | 0.636323 | 0.472645 |
| 20 | 84 | 0.568161 | 0.336323 |
| 30 | 126 | 0.545441 | 0.290882 |
| 40 | 168 | 0.534081 | 0.268161 |
| 50 | 210 | 0.527265 | 0.254529 |
| 60 | 252 | 0.52272 | 0.245441 |
| 70 | 294 | 0.519475 | 0.238949 |
| 80 | 336 | 0.51704 | 0.234081 |
| 90 | 378 | 0.515147 | 0.230294 |
| 100 | 420 | 0.513632 | 0.227265 |

Print date: 04.11.2023 12:47 PM

Applicator®: 11.17.02 / 26.09.31



Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

## TAG : ---

| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

# Sizing Sheet

## General Parameters

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fluid | Aluminum sulfate 10% | | |
| State | Liquid | | |
| Character | Clean | Atmospheric Pressure | 1.0133 bar_a |
| Abrasiveness | Not abrasive | Standard | EN/DIN/ISO |
| Fluid Group (PED) | Dangerous Fluid (Fluid group 1) | | |
| Fluid type | Newtonian | | |

## Operating Conditions

| | minimum | nominal | maximum | |
|---|---|---|---|---|
| Requested Flow | 50 | 150 | 300 | l/h |
| | 58.3938 | 175.181 | 350.363 | kg/h |
| Pressure | 2 | 2 | 2 | bar_g |
| Temperature | 25 | 25 | 25 | °C |
| Density | 1 167.9 | 1 167.9 | 1 167.9 | kg/m3 |
| Viscosity | 4.26557 | 4.26557 | 4.26557 | cP |
| Vapor Pressure | 0.0277 | 0.0277 | 0.0277 | bar_a |
| Design pressure (min/max) | 2 | | 2 | bar_g |
| Design temp. (min/max) | 25 | | 25 | °C |

## Flowmeter : Promag H 100 Generation: 3 Device model: 0

| | | | |
|---|---|---|---|
| Flow Principle | Electromagnetic | | |
| Meter Size | DN 4 | | |
| Operating range min. | 3 l/h | 3 l/h | 3 l/h |
| Operating range max. | 420 l/h | 420 l/h | 420 l/h |
| Material (sensor) * | PFA-Liner (-20...+150°C) | | |
| Process connection* | PN 16 PVC Adhesive fitting tube | | |
| PED category ** : | In observance of the selected process conditions and medium, Applicator categorizes this application as PED Art.4.3. Applicator suggests an instrument without PED option. | | |

## Extended Order Code

| Qty | Item | Description | Extended Order Code |
|---|---|---|---|
| 1 | Flowmeter | Promag H 100 | 5H1B04-********O1V*B |

*The user is responsible for the selection of process-wetted materials in view of their corrosion resistance. Endress+Hauser makes no guarantees and assumes no liability for the corrosion resistance of the materials selected here for the application described above.

** The PED category is an Endress+Hauser recommendation and depends on the fluid category, process data as well from the max. permissible pressure of the selected pressure rating. The fluids of the Applicator data base are classified to 67/548/EWG.

Print date: 04.11.2023 12:47 PM - 1 / 9 -
Applicator®: 11.17.02 / 26.09.31

Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

Customer:
Contact person:
Phone:
eMail:
C.Project No.: 1
Fax:

## TAG : ---

Timestamp: 04.11.2023 12:45 PM
Review number: 0
Sales order number:

## Sizing Sheet

### Sizing and Calculated Results

| | minimum | nominal | maximum | |
|---|---|---|---|---|
| Requested Flow | 50 | 150 | 300 | l/h |
| Velocity | 0.873 | 2.62 | 5.24 | m/s |
| Pressure loss | n.a. | n.a. | n.a. | mbar |
| Measurement error volume flow*** | 0.61 | 0.54 | 0.52 | % |
| Meas. error vol. higher accuracy*** | 0.43 | 0.28 | 0.24 | % |
| Reynolds No. | 1 076 | 3 228 | 6 456 | |

***For error calculation, the specified reference conditions for the calibration of the flowmeter according to ISO/IEC 17025 apply. Further information in technical documentation.

### Warning(s)

### Notice(s)

### Message(s)



Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

Endress+Hauser
People for Process Automation

# Applicator Sizing - Flow

## Project : Diseño de un Sistema Automatizado de Dosificación de Químicos para el Mejoramiento de la Calidad del Agua

| | | | |
|---|---|---|---|
| Customer: | | C.Project No.: | 1 |
| Contact person: | Phone: | Fax: | |
| | eMail: | | |

## TAG : ---

| | | | |
|---|---|---|---|
| Timestamp: | 04.11.2023 12:45 PM | Review number: | 0 |
| Sales order number: | | | |

## Fluid properties sheet

### Fluid

| | | | |
|---|---|---|---|
| Fluid name | Aluminum sulfate 10% | State | Liquid |
| Chemical formula | Al2(SO4)3 | Calculation standard | Supporting Points |

### Fluid description

| | |
|---|---|
| Solid content | 0 Vol% |
| Medium character | Clean |
| Abrasiveness | Not abrasive |
| Conductivity | more than 50 µS/cm |
| Fluid group (PED) | Dangerous Fluid (Fluid group 1) |
| Fluid type | Newtonian |

### Basic fluid parameters

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tc (Critical temperature) | 373.8 °C | Tm (Melting point) | -0.16 °C |
| Pc (Critical pressure) | 221 bar | Tb (Boiling point) | 99.84 °C |
| Heating value | 0 kWh/Nm3 | | |

Temperature / Viscosity

| Temperature | | Viscosity | |
|---|---|---|---|
| 1 20 | °C | 5 | cP |
| 2 80 | °C | 1 | cP |

Temperature / Density

| Temperature | | Density | |
|---|---|---|---|
| 1 20 | °C | 1 170 | kg/m3 |
| 2 80 | °C | 1 145 | kg/m3 |

Temperature / Heat capacity

| Temperature | | Thermal capacity | |
|---|---|---|---|
| 1 10 | °C | 0 | kJ/(kg*K) |
| 2 100 | °C | 0 | kJ/(kg*K) |

### Calculated results

| | | | |
|---|---|---|---|
| Density nom. | 1 167.9 kg/m3 | Pressure nom. | 2 bar_g |
| Viscosity nom. | 4.26557 cP | Temperature nom. | 25 °C |
| Sound velocity nom. | n.a. m/s | | |
| Vapor pressure nom. | 0.0277 bar_a | | |
| Thermal expansion coeff. Beta P | 0.0004 | | |
| Viscosity coefficient AL | -7.86371 | | |
| Viscosity coefficient BL | 2 777.15 | | |

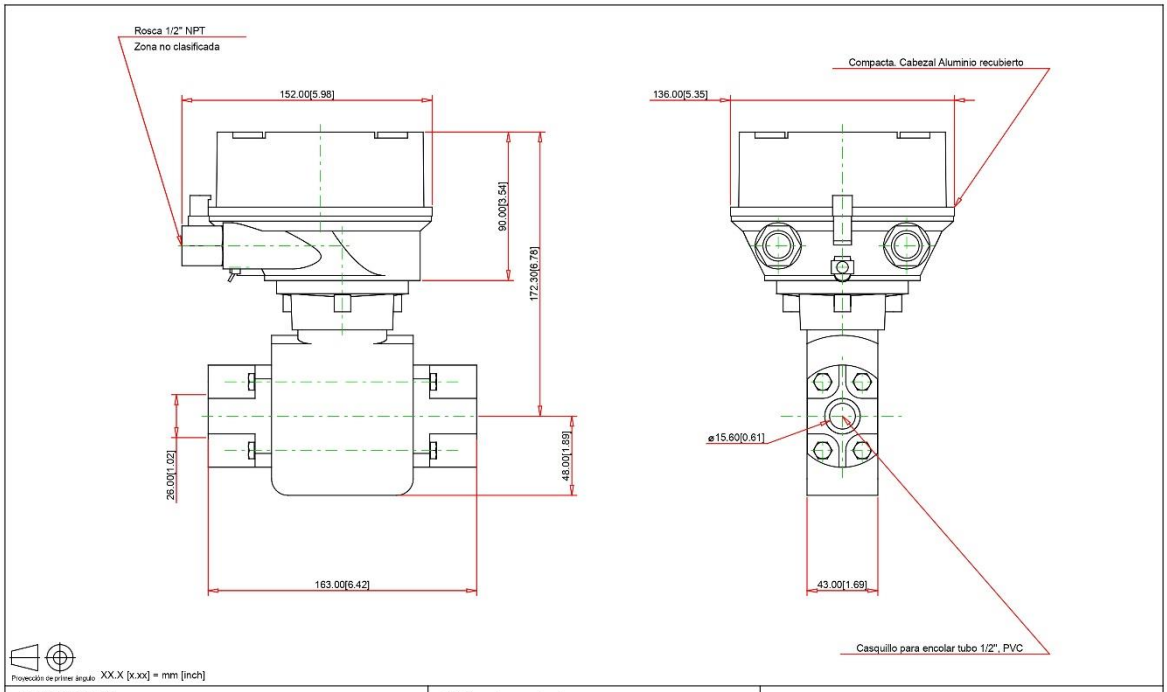
| Reference values: Normal conditions (SI): | | Standard conditions (US): | |
|---|---|---|---|
| Atmospheric pressure | 1.0133 bar_a | Atmospheric pressure | 1.0133 bar_a |



Under no circumstances is Endress+Hauser liable for errors, neither in the Software and in its documentation, nor for any errors and consequential damage which may arise out of their use. The results in Applicator apply to parameters entered by the user. A change in these parameters could lead to different results. Mandatory data can be found in the corresponding Operating Instruction (BA) and Technical Information (TI).

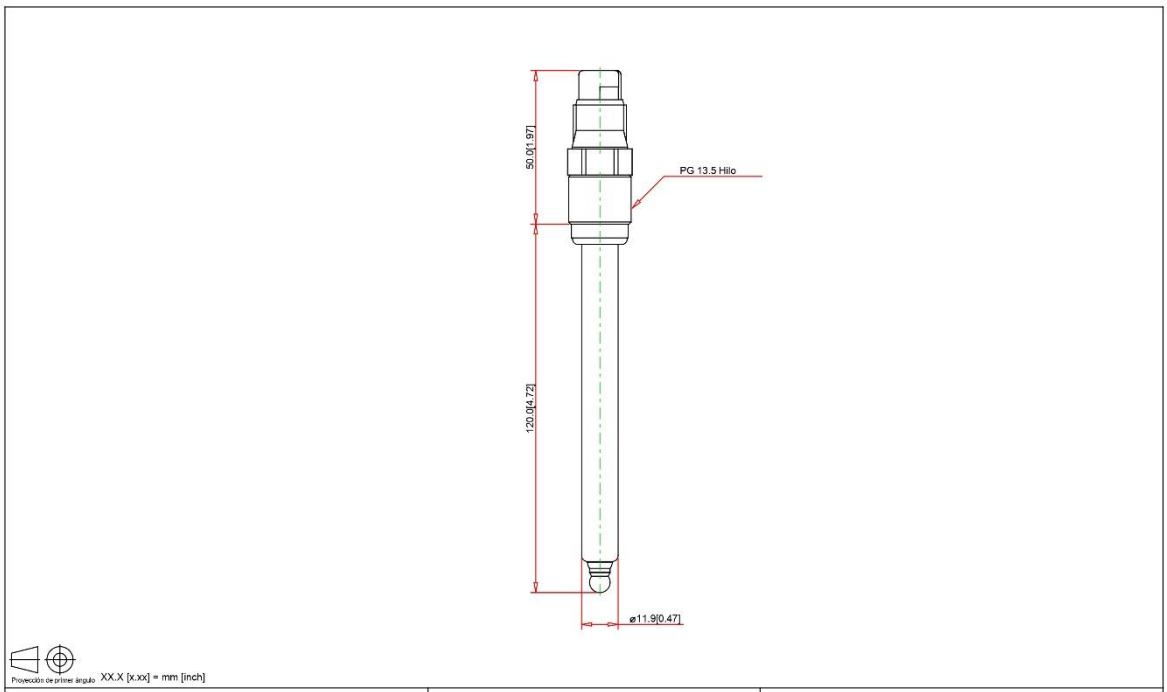
Endress+Hauser
People for Process Automation

## 7.3 ANEXO 3:



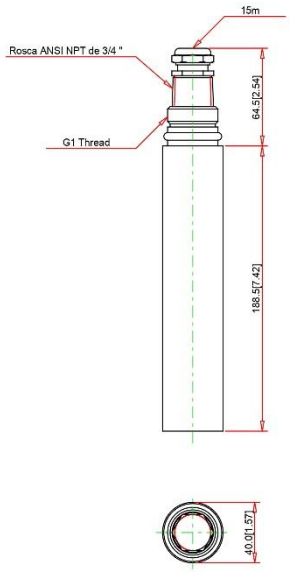

| | | |
|---|---|---|
| Aviso legal:<br>Se ha puesto todo el empeño en garantizar la precisión de la información contenida en este documento. Endress+Hauser no se responsabiliza en ningún caso, explícita ni implícitamente, de la exactitud, exhaustividad o utilidad técnica o comercial del documento. Endress+Hauser puede modificar o remplazar este documento en cualquier momento.<br>©13.11.2023 Endress+Hauser | Código de producto :<br>5H1B04-AADBAADAO1V0B+ADDGEB<br>Descripción del producto :<br>Promag H 100, 5H1B04, DN04 5/32" | www.addresses.endress.com<br>Endress+Hauser<br>People for Process Automation |

## 7.4 ANEXO 4:




| | | |
|---|---|---|
| Aviso legal:<br>Se ha puesto todo el empeño en garantizar la precisión de la información contenida en este documento. Endress+Hauser no se responsabiliza en ningún caso, explícita ni implícitamente, de la exactitud, exhaustividad o utilidad técnica o comercial del documento. Endress+Hauser puede modificar o remplazar este documento en cualquier momento.<br>©13.11.2023 Endress+Hauser | Código de producto :<br>CPS11E-AA7AAS2<br>Descripción del producto :<br>Memosens CPS11E | www.addresses.endress.com<br>Endress+Hauser<br>People for Process Automation |

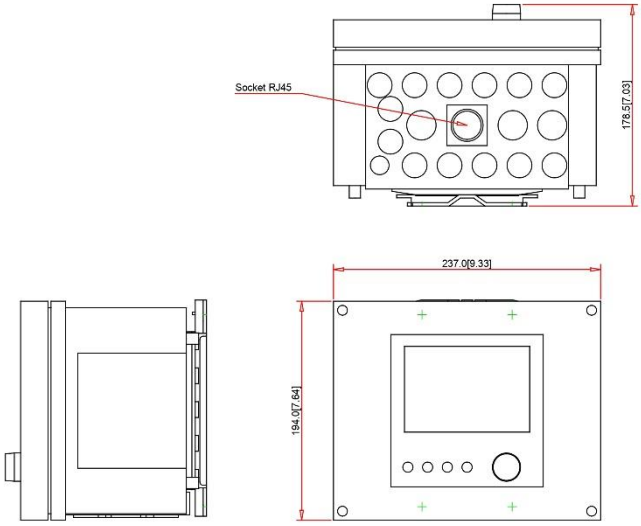
## 7.5 ANEXO 5:




Proyección de primer ángulo XX.X [x.xx] = mm [inch]

| | | |
|---|---|---|
| Aviso legal:<br>Se ha puesto todo el empeño en garantizar la precisión de la información contenida en este documento. Endress+Hauser no se responsabiliza en ningún caso, explícita ni implícitamente, de la exactitud, exhaustividad o utilidad técnica o comercial del documento. Endress+Hauser puede modificar o remplazar este documento en cualquier momento.<br>©13.11.2023 Endress+Hauser | Código de producto :<br>CUS51D-AAD1A4<br>Descripción del producto :<br>Turbimax CUS51D | www.addresses.endress.com<br>Endress+Hauser<br>People for Process Automation |

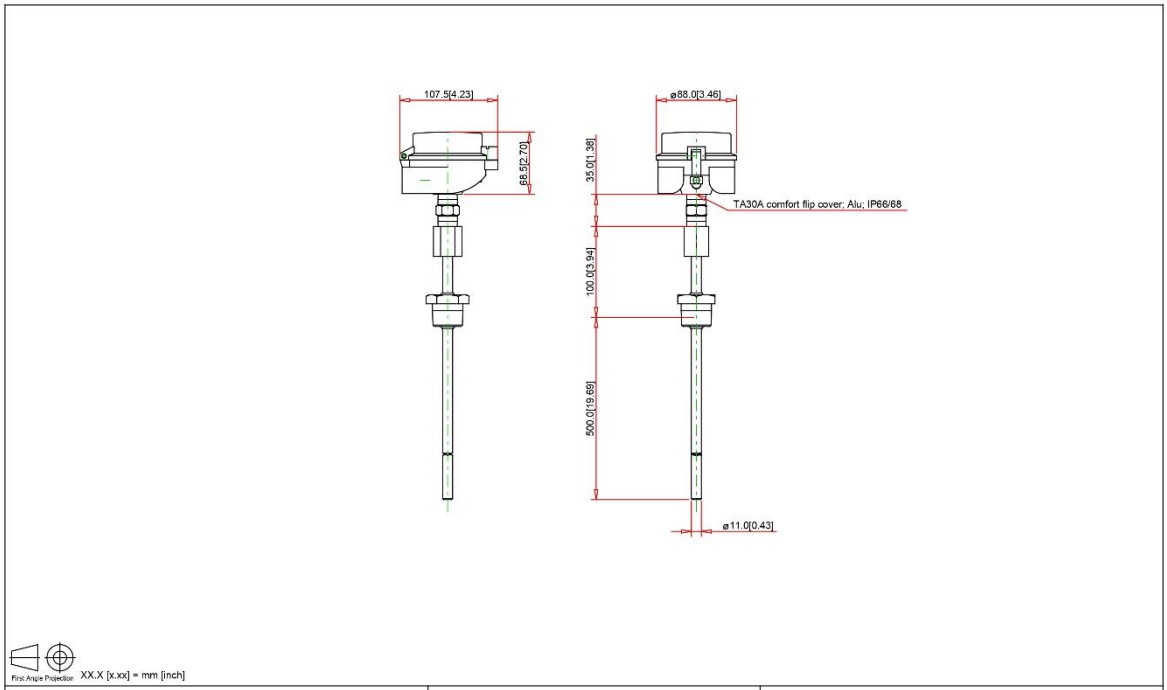
## 7.6 ANEXO 6:




Proyección de primer ángulo XX.X [x.xx] = mm [inch]

| | | |
|---|---|---|
| Aviso legal:<br>Se ha puesto todo el empeño en garantizar la precisión de la información contenida en este documento. Endress+Hauser no se responsabiliza en ningún caso, explícita ni implícitamente, de la exactitud, exhaustividad o utilidad técnica o comercial del documento. Endress+Hauser puede modificar o remplazar este documento en cualquier momento.<br>©13.11.2023 Endress+Hauser | Código de producto :<br>CM444-AAM4CA3FE11BAA+AD<br>Descripción del producto :<br>Liquiline CM444 | www.addresses.endress.com<br>Endress+Hauser<br>People for Process Automation |

## 7.7 ANEXO 7:




Disclaimer:
Every reasonable effort has been made to ensure the accuracy of the information contained in this document. Endress+Hauser does not give any guarantee, express or implied, with respect to the accuracy, the completeness or the technical or commercial usefulness of this document. Endress+Hauser may modify or replace this document at any time.
©15.10.2023 Endress+Hauser

Order Code :
TM131-AABLBCB2HX1IIEE0AA1EA1

Product Description :
Thermometer TM131

www.addresses.endress.com
Endress+Hauser
People for Process Automation

## 7.8 ANEXO 8:

Si bien es cierto que se mencionó que la ecuación que engloba las variables de pH, temperatura y turbidez, fueron obtenidas de muestras de un rio. Se hizo un segundo muestreo dentro del proceso de purificación una planta de tratamiento, puesto que se buscaba la comparativa del estado del fluido entre un entorno natural y uno controlado.

Como bien se menciona en la introducción del paper titulado "A Mathematical Model to Determination of Alum Amount Added for the Purpose of Coagulation in Water Purification Plants", a dichas muestras de agua turbia se le evaluaron las condiciones de pH, turbidez y temperatura. Dependiendo de la cantidad de sulfato de aluminio que los investigadores iban proporcionando al fluido, se tenían diferentes comportamientos de las variables previamente expuestas.

Para nuestro trabajo, la ecuación de la dosificación puede ser aplicada ya que el escenario es similar, una planta de tratamiento/purificación. Dado que los investigadores del paper llegaron a la conclusión de que la cantidad de sulfato es directamente proporcional a las 3 variables del fluido (turbidez, temperatura y pH), se decidió aplicar la fórmula matemática a nuestro sistema, con añadidos por nuestro lado, para que sea acorde a nuestro sistema de dosificación.

Por otro lado, una de las principales justificaciones para tomar como base de nuestro trabajo la información expuesta en el paper, es que los valores de turbidez, en NTU, después de aplicar la cantidad de coagulante calculado por la ecuación, es acorde a lo estipulado en la norma peruana (rangos que oscilan entre 7 a 4 NTU).