



# UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Química

**Instauración de los aforos volumétricos y másicos para los procesos de oxidación, coagulación, floculación y cloración en la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II**

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

Autoras:

Dania Mireya Jaramillo Toro

CI: 0707191904

daniajaramillo\_95@hotmail.com

Johanna Priscila Matute Argudo

CI: 0105133318

johanna.matutea03@gmail.com

Directora:

Ing. Sonia Margoth Astudillo Ochoa. Mgt

CI: 0104044474

**Cuenca, Ecuador**

15-julio-2021



## Resumen:

Siendo el agua el elemento vital para la vida. El ser humano debe buscar la necesidad de optimizarla en su calidad. El proceso de potabilización de agua beneficia a la calidad de este líquido y al ser humano que no se produzca daños en su salud por consumo de la misma. Por consiguiente, gracias a los tratamientos apropiados y con el cumplimiento de la principal normativa vigente en el Ecuador: la norma INEN 1108, que rige los indicadores de la calidad del agua potable que se suministra en nuestro país.

La planta de tratamiento de agua potable "Tixán" es una planta de tipo convencional, donde se desarrollan los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Además la planta dispone de un proceso adicional denominado pre-tratamiento de oxidación y aireación, el cual contribuye en la eliminación de hierro y manganeso presente en el agua. Debido a la demanda del consumo de agua potable, la planta se vio en la necesidad de ampliar y repotenciar un segundo módulo, para ello se adquirieron nuevos equipos dosificadores de productos químicos, los cuales son la base de este proyecto.

Los datos cuantitativos obtenidos al operar los equipos se ajustaron a un modelo de regresión lineal que representa la dosificación de cada producto químico usado en el proceso de potabilización de agua como son: permanganato de potasio, sulfato de aluminio, polímero y cloro gas. Los modelos lineales obtenidos para cada equipo resultaron fiables debido a que sus respectivos  $R^2$  se sitúan mayores a 0.99.

Es así, que el desarrollo de esta tesis logró aportar a los operadores una herramienta informática de fácil uso para realizar la dosificación de dichos químicos, siendo de gran beneficio cuando exista una falla en el modo de operación automático, adicional a esto, la elaboración de un manual de operación y mantenimiento para la planta, garantizando un proceso de potabilización eficaz, satisfaciendo todas las normas de calidad.

**Palabras claves:** Dosificación. Índice. Químicos. Modelo lineal. RPM.



**Abstract:**

Because water is the vital element of life. The need to optimize its quality should be sought. The water purification process benefits the quality of this liquid and the human being that it does not harm their health by consuming it. Therefore, thanks to the appropriate treatments and compliance with the main regulations in force in Ecuador: the INEN 1108 standard, which governs the indicators of the quality of drinking water supplied in our country.

The "Tixán" drinking water treatment plant is a conventional plant, where coagulation, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection processes are carried out. In addition, the plant has an additional process called oxidation and aeration pre-treatment, which contributes to the elimination of iron and manganese present in the water

Due to the demand for drinking water consumption, the plant had to expand and repower a second module, for this, new chemical dosing equipment was acquired, which are the basis of this project. The quantitative data obtained when operating the equipment was adjusted to a linear regression model that represents the dosage of each chemical used in the water purification process, such as potassium permanganate, aluminum sulfate, and polymer and chlorine gas. The linear models obtained for each team were reliable because their respective R2 is greater than 0.99.

Thus, the development of this thesis managed to provide the operators with an easy-to-use computer tool to perform the dosage of said chemicals, being of great benefit when there is a failure in the automatic mode of operation and the development of an operation manual and maintenance for the plant, guaranteeing an efficient purification process, satisfying all quality standards.

**Keywords:** Dosage. Index. Chemicals. Linear model. RPM.



## Índice del Trabajo

Agradecimiento.....	10
Dedicatoria .....	11
Identificación del problema y justificación.....	12
Introducción .....	14
Objetivos.....	15
Objetivo general .....	15
Objetivos específicos.....	15
Capítulo I .....	16
1. Fundamento teórico .....	16
1.1. Características del agua .....	16
1.1.1. <i>Características físicas</i> .....	16
1.1.2. <i>Características Químicas</i> .....	17
1.2. Agua potable .....	18
1.2.1. <i>Potabilización del agua</i> .....	18
1.2.2. <i>Operaciones de la potabilización del agua</i> .....	19
1.2.3. <i>Productos químicos usados para el tratamiento de agua potable</i> .....	25
1.2.4. <i>Dosificadores de sustancias químicas</i> .....	30
Capítulo II .....	31
2. Descripción proceso de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "Tixán" - Modulo II	31
2.1 Calidad del agua cruda del río Machángara .....	34
2.2 Conducción y Captación del agua cruda .....	36
2.3 Oxidación y Aireación.....	37
2.4 Mezcla rápida.....	39
2.5 Floculación.....	40
2.6 Sedimentación .....	41
2.7 Filtración rápida.....	42
2.8 Desinfección .....	43
2.9 Almacenamiento y Distribución .....	44
2.10 Equipos dosificadores de la PTAP "TIXÁN" .....	45
Capítulo III .....	52
3. Metodología experimental .....	52



3.1	Determinación de datos cuantitativos para los diferentes químicos usados en el tratamiento de potabilización de agua en PTAP Tixán en base a los nuevos equipos dosificadores .....	53
3.1.1	<i>Permanganato de potasio</i> .....	53
3.1.2	<i>Sulfato de aluminio</i> .....	55
3.1.3	<i>Polímero o polielectrolito PRAESTOL 650 TR</i> .....	58
3.1.4	<i>Cloro gas</i> .....	63
3.2	Evaluación del proceso .....	64
Capítulo IV	.....	65
4.	Análisis de resultados .....	65
4.1	Datos cuantitativos para los diferentes químicos usados en el tratamiento de potabilización de agua en PTAP Tixán en base a los nuevos equipos dosificadores ....	65
4.1.1	<i>Equipo dosificador de permanganato de potasio</i> .....	65
4.1.2	<i>Equipos dosificadores de sulfato de aluminio</i> .....	68
4.1.3	<i>Equipo dosificador de poli electrolito</i> .....	81
4.1.4	<i>Equipo dosificador de cloro</i> .....	88
4.1	Evaluación del proceso .....	89
4.1.1	<i>Calidad del producto final</i> .....	90
Capítulo V	.....	98
5.	Conclusiones .....	98
6.	Bibliografía .....	100
ANEXOS	.....	103
ANEXO 1.	<i>Tabla Manual para la dosificación de <math>KMnO_4</math></i> .....	103
ANEXO 2.	<i>Tabla Manual para la dosificación de <math>Al_2(SO_4)_3</math> con el equipo # 1</i> .....	104
ANEXO 3.	<i>Tabla Manual para la dosificación de <math>Al_2(SO_4)_3</math> con el equipo # 2</i> .....	105
ANEXO 4.	<i>Tabla Manual para la dosificación de <math>Al_2(SO_4)_3</math> con el equipo # 3</i> .....	106
ANEXO 5.	<i>Tabla Manual para la dosificación de <math>Al_2(SO_4)_3</math> con el equipo # 4</i> .....	107
ANEXO 6.	<i>Tabla Manual para la dosificación de polímero con el equipo # 1</i> .....	108
ANEXO 7.	<i>Tabla Manual para la dosificación de polímero con el equipo # 2</i> .....	108
ANEXO 8.	<i>Gráfico Caudal vs Cloro Gas para diferentes dosis en ppm</i> .....	109



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Johanna Priscila Matute Argudo en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Instauración de los aforos volumétricos y másicos para los procesos de oxidación, coagulación, floculación y cloración en la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de Julio de 2021

Johanna Priscila Matute Argudo

C.I: 0105133318



### Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

---

Dania Mireya Jaramillo Toro en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Instauración de los aforos volumétricos y másicos para los procesos de oxidación, coagulación, floculación y cloración en la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II ", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley .Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de Julio de 2021

Dania Mireya Jaramillo Toro

C.I: 0707191904



### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Johanna Priscila Matute Argudo, autora del trabajo de titulación "Instauración de los aforos volumétricos y másicos para los procesos de oxidación, coagulación, floculación y cloración en la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 15 de Julio de 2021

Johanna Priscila Matute Argudo

C.I: 0105133318





### Cláusula de Propiedad Intelectual

---

Dania Mireya Jaramillo Toro, autora del trabajo de titulación "Instauración de los aforos volumétricos y másicos para los procesos de oxidación, coagulación, floculación y cloración en la Planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 15 de Julio de 2021

---

Dania Mireya Jaramillo Toro

C.I: 0707191904



## Agradecimiento

Primeramente damos gracias a Dios por ser nuestro luz y guía en cada paso que damos, por brindarnos sabiduría, paciencia, fortaleza y perseverancia para culminar nuestra carrera universitaria, de igual manera, queremos agradecer a nuestros padres y familia por ser el pilar fundamental para este logro, por su confianza y apoyo incondicional a lo largo de nuestra vida. También agradecemos a todos nuestros docentes por todos los conocimientos impartidos en su gran labor que nos han formado profesionalmente.

De la misma manera queremos agradecer a nuestro asesor de tesis Mgt Juan Diego Espinoza, Supervisor de la Planta de tratamiento de agua potable Tixán por permitirnos realizar nuestro trabajo dentro de sus instalaciones y en general a todo el personal que conforma esta planta por siempre estar predispuestos para ayudar en cualquier cosa que necesitáramos, por aportar con sus conocimientos y experiencias laborales para que así el trabajo se desarrolle con éxito.

De forma muy especial agradecemos a nuestra tutora de tesis, Mgt Sonia Astudillo Ochoa, por vernos brindado su tiempo, conocimientos y orientaciones para llevar a cabo este trabajo de titulación.

Por último, a todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo con sus consejos, motivaciones, así como con conocimientos, muchas gracias por estar presentes en esta etapa tan importante de nuestras vidas.



## Dedicatoria

*"Pon en manos del Señor todas tus obras, y tus proyectos se cumplirán."*

*Proverbio 16:3*

Con amor y gratitud dedico este proyecto a mis padres por ser el soporte insustituible para lograr esta meta, por su deseo de superación, por apoyarme y confiar en mí pues hoy les digo lo logramos este es el fruto de todo nuestro esfuerzo y sacrificio, son mi mayor motivación para cumplir mis anhelos, ya que con su amor, cariño y enseñanzas han contribuido para ser la persona que soy hoy.

A toda mi familia, hermano, abuelitos, tíos y primos por su cariño y apoyo siempre, gracias por confiar en mí y ser su orgullo. Y por supuesto a mi mascota Nina por acompañarme en mis noches de desvelo.

A mi compañera de tesis y mejor amiga Johanna Matute por el desarrollo de este trabajo investigativo de manera exitosa deseándole éxitos en su vida personal y profesional.

A mis amigos que han formado parte de una de las etapas más importantes de mi vida que sin ellos esto no hubiera sido igual, y a mi otra mejor amiga Violeta Molleturo por tu amistad incondicional.

**DANIA JARAMILLO TORO.**

A mi madre y hermanos que siempre me apoyan en mis metas y proyectos. A mi padre, aunque ya no está conmigo sé que siempre me bendice.

**JOHANNA MATUTE ARGUDO.**



## Identificación del problema y justificación

Según TULSMA libro VI anexo 1 indica que se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como: a) Bebida y preparación de alimentos para consumo, b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios, c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general (Tulsma, 2003), y teniendo en cuenta el análisis de la segunda fase de los planes maestros de agua potable y saneamiento para la ciudad de Cuenca donde nos recalca el aumento de nuevas áreas ya sea por construcciones de urbanizaciones o el cambio del uso del suelo que deberán ser abastecidas del servicio de agua potable desde el sistema urbano de la ciudad (Palacios, 2016), por tal motivo el eminente crecimiento de la demanda del servicio la planta de tratamiento de agua potable de TIXAN perteneciente a la ciudad de Cuenca tuvo la necesidad de ampliar un nuevo módulo de operación nombrado como "Modulo II" junto al módulo existente en el terreno propiedad de la empresa pública ETAPA (Saénz, 2015).

Además, se conoce que en el año 2014, la demanda máxima diaria de agua potable existente en el sistema Tomebamaba – Machangara alcanzó los 1700 litros por segundo; este sistema cuenta con dos plantas de abastecimiento que son Cebollar y Tixan con un caudal hidraulico nominal de 1000 L/s y 840 L/s respectivamente, debido a diferentes aspectos tanto ambientales como operativos no se puede contar con la capacidad esperada (Palacios, 2016). La zona de servicio Tomebamba – Machangara considerando el segundo módulo de la planta Tixan con un caudal 1100 L/s abastecerá al 95% del área urbana y a varios sectores de la parroquia Ricaurte de la ciudad de Cuenca (Saénz, 2015).

El primer módulo de la PTAP concierne a una tecnología de tratamiento convencional de ciclo completo, es decir, incorporando procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración rápida y desinfección, el cual también se aplicará al módulo II siendo la más adecuada de acuerdo a los niveles de turbiedad y contaminación microbiológica de la zona de captación del agua a tratar y contando con una amplia experiencia en el manejo de este tipo de sistema (ETAPA, 2016).

Por ello, es importante participar en el ajuste de los nuevos equipos dosificadores de cada uno de los productos químicos usados para el tratamiento, considerando los datos proporcionados y establecidos por la empresa así como en la fase de experimentación para obtener los datos faltantes para el correcto funcionamiento de dichos equipos. Además, con



el desarrollo de hojas de cálculo se pretende facilitar a los obreros, las operaciones de dosificación, conjuntamente con la implementación de un manual de operaciones de la Planta de tratamiento de agua potable TIXAN – Módulo II, con la finalidad de asegurar que este módulo proporcione el caudal hidráulico para el cual fue diseñado manteniendo los parámetros de calidad de agua siendo así considerada como la mejor agua del país.



## Introducción

Para la subsistencia de la vida del hombre es indispensable el requerimiento de agua potable, dado que es de vital importancia para el sostenimiento de la vida humana y el avance social y cultural de una sociedad, por esta razón depende primordialmente de un abastecimiento de agua dulce apropiado y de calidad; no obstante este recurso hídrico tan fundamental ha sido afectado por las condiciones climáticas y falta de cuidado por parte del ser humano (Ruiz, 2013).

Se denomina agua potable o agua para consumo humano, al agua que puede ser consumida sin restricción, el término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales. Este proceso es de conversión de agua cruda en agua potable se le denomina potabilización existiendo diversas tecnologías con tratamientos convencionales o no convencionales (Cordero, 2011).

Esta investigación tiene como objetivo principal realizar los estudios pertinentes para la obtención de modelos lineales de los equipos dosificadores de químicos para que a través de esto se generen herramientas tecnológicas eficaces y serviciales para los operadores de la planta de tratamiento de agua potable "Tixán". El presente documento contiene información de forma metódica y detallada obtenida durante el desarrollo de este trabajo.

Los dosificadores usados para recolectar la información son de un proceso de tipo convencional con tratamiento químico, es decir, los equipos utilizados en este estudio son dosificadores de permanganato de potasio, sulfato de aluminio, polímero y cloro gas. Esto se realiza con la finalidad de poseer un método alternativo u medio opcional para realizar la dosificación de dichos químicos ante la presencia de alguna falla en modo de operación automático de los dosificadores.



## Objetivos

### Objetivo general

Establecer los aforos volumétricos y másicos de los nuevos equipos dosificadores en función de los caudales de operación y dosis óptimas definidas para proporcionar una alternativa de dosificación de los diferentes productos químicos utilizados en la planta potabilizadora de Tixán.

### Objetivos específicos

- Elaborar las gráficas de los índices en función de los caudales para los nuevos equipos dosificadores del módulo II con los datos cuantitativos obtenidos para realizar el ajuste a un modelo estadístico.
- Elaborar simuladores para la dosificación de sulfato de aluminio, permanganato de potasio, polímero y cloro gas para tratamiento de agua potable mediante el aforo de los dosificadores empleados en la planta de TIXAN - Módulo II.
- Elaborar un manual de operaciones de la Planta de tratamiento de agua potable TIXAN – Módulo II con la finalidad de implantar el correcto funcionamiento, mantenimiento y manejo de las instalaciones y equipos.

## Capítulo I

### 1. Fundamento teórico

#### 1.1. Características del agua

El agua es un compuesto con características únicas, de suma importancia en los procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural. Es el recurso más abundante en la naturaleza debido a que cubre más del 70% de la superficie del planeta (Fernández Cirelli, 2012) compuesto por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes (Carbajal Azcona, 2012).

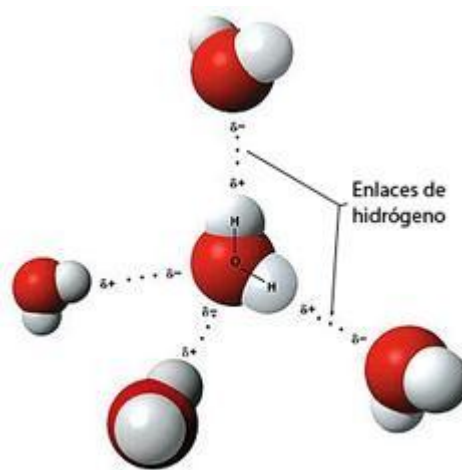


Figura 1. Moléculas de agua

Fuente: <https://www.iagua.es/blogs/maialen-ruiz/h2o-pequena-gran-molecula>

El agua se presenta principalmente en estado líquido, formada por asociaciones de moléculas de 2, 3 y hasta 12 unidades de  $H_2O$ , estando dotada de una estructura tridimensional fluctuante, mientras en estado sólido es una mezcla de cuatro isómeros distintos, compuestos a su vez de diferente número de moléculas y/o con diferente estructura (Marín Galvín, s.f.).

##### 1.1.1. Características físicas

- **Densidad**

La densidad máxima del agua es de  $100 \text{ kg/m}^3$  a los  $4^\circ\text{C}$ , mientras que del agua pura a  $15^\circ\text{C}$  y a presión atmosférica es de  $0.9999 \text{ kg/L}$ . Su valor varía de acuerdo al contenido de sustancias disueltas (Arízaga Mondragón, 2016).





- **Color**

El agua es incolora, pero en grandes volúmenes presenta un color azul verdoso. Las aguas subterráneas no suelen sobrepasar de 5 unidades Pt-Co, mientras que las aguas superficiales puede ser su valor elevado (Arízaga Mondragón, 2016). Esta característica se debe comúnmente por la presencia de diferentes sustancias coloreadas existentes en suspensión o disueltas en ella. El valor aceptable por la OMS es 15 unidades de color (UC) para aguas de bebida. En aguas naturales el color proviene de la materia orgánica procedente de la descomposición de vegetales y de diversos productos y metabolitos orgánicos presentes en ella. Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn también provoca cierto color.

- **Turbiedad**

Es una de las características más importantes ya que más que estética, es un parámetro indicador de contaminación que servirá para medir que tan pura es el agua y si debe someterse o no a un tratamiento de purificación (Alvarado & Florencia, 2012).

La turbiedad es causada por la presencia de materia en suspensión o coloidal (arcillas, limo, tierra finamente dividida y otros organismos microscópicos). Mientras más alta sea la presencia de sólidos en suspensión más alta será la turbiedad, es decir que se encuentra en relación directamente proporcional entre los sólidos y la turbiedad. Es expresada en unidades nefelometrías de turbidez (NTU) (Julca Riojas, 2019).

- **Olor y sabor**

Las sustancias generadoras de olor y sabor en aguas crudas pueden ser compuestos orgánicos derivados de la actividad de microorganismos y algas o provenir de descargas de desechos industriales (Mejía Reinoso, 2010).

- **Temperatura**

Influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (Mejía Reinoso, 2010).

### **1.1.2. Características Químicas**

- **pH**



Se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos. Respecto a lo primero, la secuencia de equilibrios de disolución de  $\text{CO}_2$  en un agua, y la disolución de  $\text{CO}_3^{2-}$  e insolubilización de  $\text{HCO}_3^-$ , determinan el pH de un agua. Los ácidos naturales ( $\text{H}_2\text{S}$  o ácidos húmicos) acidifican el agua mientras que la disolución de rocas y minerales de metales alcalinos y alcalinotérreos del terreno la alcalinizan (Marín, s.f.).

- **Metales**

- *Hierro*

Proviene de disolución de rocas y minerales, así como de aguas residuales procedentes de la producción de acero y otros materiales. En general, el Fe se encuentra en forma trivalente en las aguas naturales superficiales, variando su concentración típicamente entre 0,01 mg/L y 0,30 mg/L (Marín Galvín, s.f.).

La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios y la ropa blanca. También puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua. La OMS permite 0,3 mg/L de hierro en las aguas destinadas al consumo humano (Arízaga Mondragón, 2016).

- *Manganeso*

Las rocas y minerales que contienen Mn son fácilmente solubles en aguas neutras o ligeramente ácidas en condiciones oxidantes moderadas, mediante la formación del ion manganoso. En condiciones ligeramente oxidantes puede producirse la oxidación del  $\text{Mn}^{2+}$  hacia  $\text{Mn}^{4+}$  con la generación de compuestos fácilmente precipitables por su escasa solubilidad (Marín Galvín, s.f.).

## **1.2. Agua potable**

Según la INEN 1108 (2011) sobre el agua potable define a la misma aquella agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

### **1.2.1. Potabilización del agua**

La potabilización es un conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda para modificar sus propiedades organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas con el propósito de hacerla apta para el consumo humano (Lozano, 2015).



Figura 2. Esquema del proceso de potabilización del agua

Fuente: Potabilización y Depuración del Agua - AreaCiencias

Existen sistemas convencionales y no convencionales para el abastecimiento de agua potable. En el caso de los sistemas convencionales estos toman el agua cruda de ríos y/o pozos subterráneos y entra a un proceso de tratamiento, se almacena y el agua potabilizada se distribuye mediante un sistema de red de tuberías a cada uno de los hogares. Por otro lado, los sistemas no convencionales no disponen de una red de distribución, es decir, el agua es conducida hacia los consumidores por medio de transporte, tanqueros o por medio de barriles. Debido a que es un sistema individual, la desinfección se da en los tanques de cada domicilio, por lo general, se visualiza esto en pueblos con pocos habitantes (Camacho & Peña, 2018).

### 1.2.2. Operaciones de la potabilización del agua

Las principales operaciones de potabilización en una planta de tratamiento se detallan a continuación:

#### 1.2.2.1. Captación

La captación se da a través de un conjunto de estructuras y dispositivos construidos o colocados junto a un medio hídrico, para luego de ello ser conducida a una estación de tratamiento de agua potable (Martínez Andrés, 2019). Existen dos tipos de captación del agua bruta:

- a) Aguas superficiales: Se realiza la captación del agua de: ríos, embalses, aguas de precipitación, agua de mar, humedales.

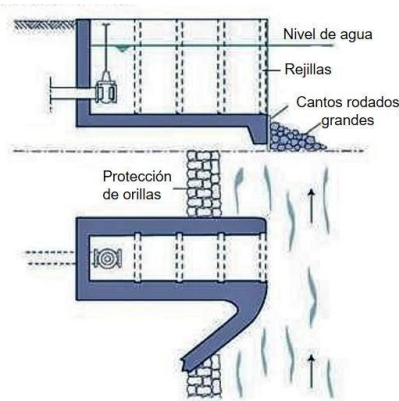


Figura 3. Captación protegida de ríos

Fuente: Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)

- b) Aguas subterráneas: éstas se concentran en acuíferos y desde ahí se realiza la mayoría de las extracciones de este tipo de agua.

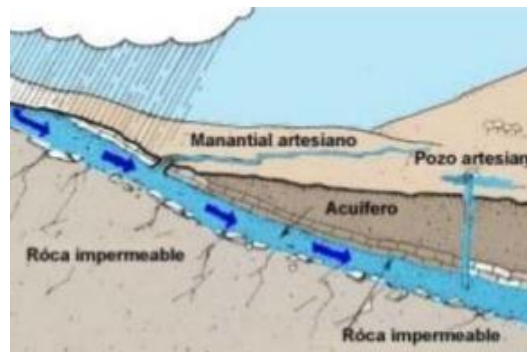


Figura 4. Captación de aguas subterráneas

Fuente: Reyes, 2017.

### 1.2.2.2. Conducción (línea de conducción)

La línea de conducción consiste en todas las estructuras civiles y electromecánicas, en donde su finalidad es llevar el agua desde la captación hasta un punto que puede ser un tanque de regularización, una planta de tratamiento de potabilización o el sitio de consumo (Camacho & Peña, 2018).

### 1.2.2.3. Desbaste - *tamización*

Tiene la finalidad de eliminar del agua la mayor cantidad de materiales que por su tamaño y naturaleza podrían crear problemas en los tratamientos posteriores. Por lo general, se lo realiza mediante rejillas, desarenadores, pre sedimentadores (Martínez Andrés, 2019).

Esta etapa es requerida en casos de que la conducción desde el sitio de toma en el río hasta la planta de potabilización se haya proyectado como canal abierto y no mediante tubería (Lozano, 2015).

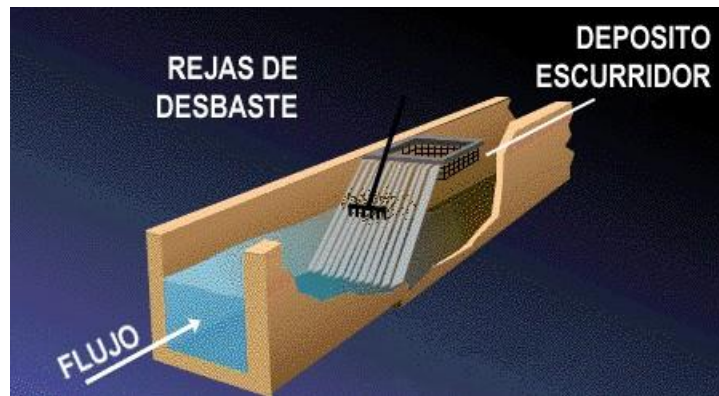


Figura 5. Rejas de desbaste

Fuente: Arévalo, 2018.

### 1.2.2.4. Aireación

Esta etapa se usa para transferir oxígeno al agua, disminuir  $\text{CO}_2$ , oxidar Fe y Mn y por último remover otros compuestos volátiles. Es empleada como pre tratamiento de aguas subterráneas que presentan niveles muy bajos de oxígeno y altas concentraciones de hierro, manganeso, anhídrido carbónico y otros compuestos orgánicos que causan olores y sabores (Martínez Andrés, 2019).

### 1.2.2.5. Coagulación

Se lleva a cabo generalmente con la adición de sales de aluminio y hierro al agua. Este proceso es resultado de dos fenómenos: El primero, esencialmente químico, consiste en las reacciones del coagulante con el agua y la formación de especies hidrolizadas con carga positiva. Depende de la concentración del coagulante y el pH final de la mezcla. El segundo, fundamentalmente físico, consiste en el transporte de especies hidrolizadas para que hagan contacto con las impurezas del agua (Camacho & Peña, 2018).

El proceso se denomina coagulación debido a la formación de coágulos (grumos) resultado de la mezcla entre la sal coagulante y las impurezas.

### 1.2.2.6. Floculación

Es el proceso en el cual las partículas que se desestabilizaron en la coagulación chocan unas con otras para formar partículas de mayor tamaño. Además, para que se logre el engrosamiento del floculo es necesario una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el objetivo de que las partículas descargadas eléctricamente se encuentren un floculo y así aumentar su peso y volumen (Camacho & Peña, 2018).

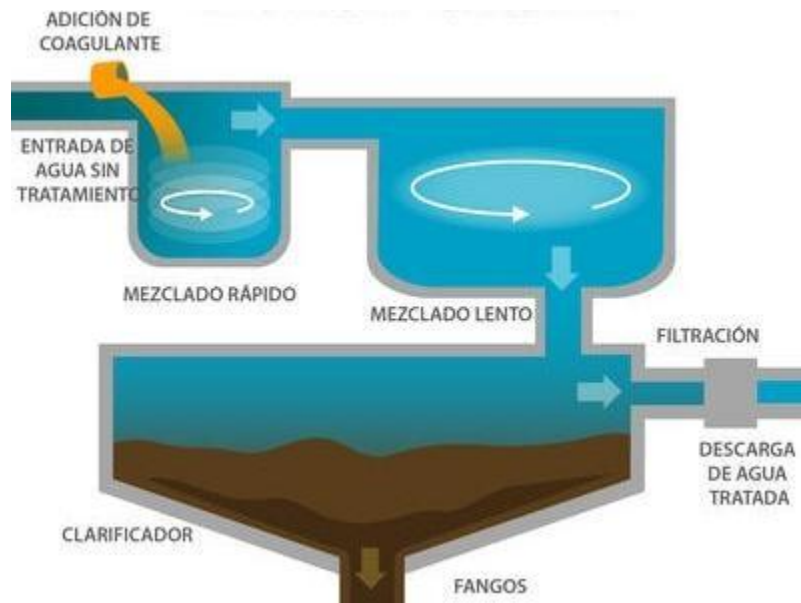


Figura 6. Esquema del proceso de coagulación y floculación

Fuente: Coagulacio-Floculacion (elaguapotable.com)

### 1.2.2.7. Sedimentación

Se entiende por sedimentación a la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua (flóculos), es decir, el agua luego de haber pasado las unidades de floculación es conducida a los estanques de decantación con la finalidad de permitir la precipitación de las partículas de impurezas transformadas en flóculos (Camacho & Peña, 2018).

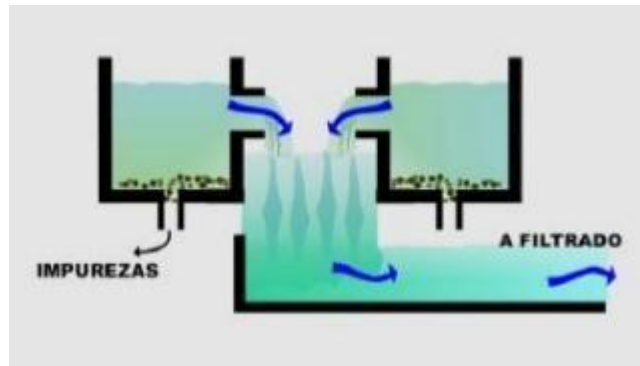


Figura 7. Esquema del proceso de Sedimentación

Fuente: proceso-de-potabilizacion-del-agua-10-638.jpg (slidesharecdn.com)

### 1.2.2.8. Filtración

Consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso (Camacho & Peña, 2018), es decir, el agua luego de pasar la etapa de sedimentación es transportada hacia las unidades de filtración, las mismas que están compuestas por capas de arena y piedra de diferentes tamaños. El agua pasa por el lecho filtrante en donde quedan retenidas la mayoría de partículas en suspensión que no fueron eliminadas en las etapas anteriores. Ésta es la etapa responsable de que se cumplan los estándares de calidad para el agua potable. Desde el punto bacteriológico, los filtros tienen una eficiencia de remoción superior a 99% (Camacho & Peña, 2018).

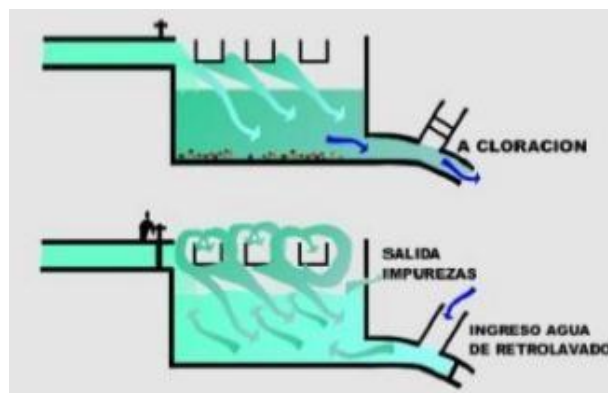


Figura 8. Esquema del proceso de Filtración

Fuente: proceso-de-potabilizacion-del-agua-11-638.jpg (638x479) (slidesharecdn.com)

### 1.2.2.9. Desinfección

Terminada la filtración, el agua es conducida mediante tuberías para la desinfección en donde se da la inyección de cloro con la finalidad de destruir los últimos microorganismos



presentes en el agua. Además, se previene contaminaciones en las redes de distribución y se cumple con los estándares de calidad impuestos en la normativa. El cloro se inyecta en una cantidad entre 0,6 – 0,8 mgCl/l para eliminar los microorganismos. Por otro lado se tiene el cloro residual, el cual previene las contaminaciones entre la salida desde la planta de tratamiento y el medidor de agua potable de los consumidores.

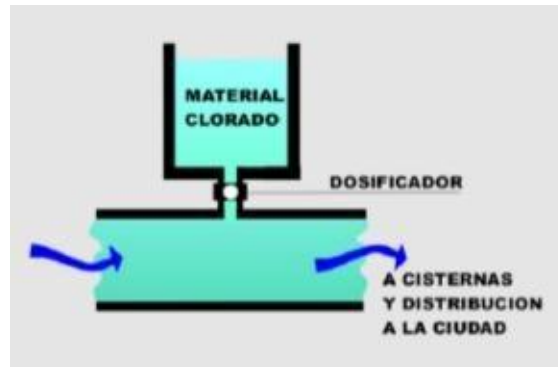


Figura 9. Esquema del proceso de Desinfección

Fuente: proceso-de-potabilizacion-del-agua-12-638.jpg (638×479) (slidesharecdn.com)

La desinfección es importante ya que las bacterias, virus y protozoarios son microorganismos capaces de producir infecciones, transmitir enfermedades y provocar efectos nocivos para la salud humana. La mayoría de los microorganismos se desactivan rápidamente con la cloración como: *Escherichia coli* y coliformes, otros son muy difíciles de remover, por ejemplo los protozoarios *Giardia* y *Cryptosporidium* son resistentes y no se eliminan cuando se agrega cloro al agua.

Respecto a los virus, estos mientras más complejos sean, más fácil es inactivarlos, afortunadamente su concentración en el agua es muy baja en relación a la de las bacterias coliformes (Pain & Spuhler, 2018).

#### 1.2.2.10. Red de distribución

Este sistema de tuberías es el encargado de entregar el agua a los usuarios en su domicilio, siendo un servicio constante durante las 24 horas del día, en cantidad adecuada y con la calidad requerida para todos. El sistema incluye válvulas, tuberías, tomas domiciliarias, medidores y en caso de ser necesario equipos de bombeo (Camacho & Peña, 2018).



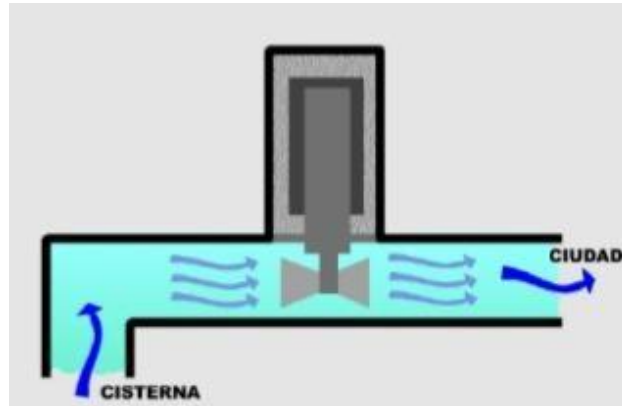


Figura 10. Esquema de la Red de distribución

Fuente: proceso-de-potabilizacion-del-agua-13-638.jpg (638x479) (slidesharecdn.com)

### 1.2.3. Productos químicos usados para el tratamiento de agua potable

#### 1.2.3.1. Permanganato de potasio

Es el oxidante más usado para hierro y manganeso, se encuentra comercialmente como cristales de color púrpura con una pureza de 95 – 99%. El permanganato de potasio reacciona enérgicamente con el material orgánico como el carbón activado, aceites o grasas. Su almacenamiento debe ser con cuidado y distante de otros reactivos con los que pueda reaccionar violentamente.

Para ser dosificado, éste debe ser diluido previamente dependiendo de las necesidades de la planta potabilizadora. Su velocidad de dilución está en función de la temperatura. El agua a emplear para la dilución debe ser limpia, no es recomendable usar agua sin tratamiento debido a que, al combinarse el permanganato de potasio con el hierro y manganeso, tenderían a precipitarse como hidróxidos lo que perjudicaría la bomba o las líneas de inyección. (Palavecino P. , 2009).



Figura 11. Permanganato de potasio

Fuente: Qué es y para qué sirve el Permanganato de Potasio (sanumvita.com)



Las partes requeridas de agente oxidante para la eliminación de metales son superiores a las establecidas a la estequiometría cuando se refiere a la oxidación de hierro y manganeso usando como agente oxidante el permanganato de potasio debido a que hay que tomar en cuenta la demanda de la materia orgánica en presencia del oxidante (Palavecino P. , 2009).

#### Cálculo del factor estequiométrico

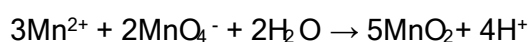
$$PM_{KMnO_4} = 158 \text{ g/mol}$$

$$PM_{Mn} = 55 \text{ g/mol}$$

$$PM_{Fe} = 56 \text{ g/mol}$$

$$PM_{CH_2O} = 30 \text{ g/mol}$$

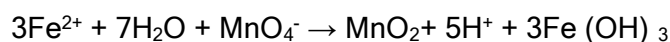
- *Oxidación de Manganeso*



$$Factor_{Mn} = \frac{\text{factor estequiométrico} * PM_{KMnO_4}}{\text{factor estequiométrico} * PM_{Mn}} = \frac{2 \text{ moles} * 158 \text{ g/mol}}{3 \text{ moles} * 55 \text{ g/mol}} = 1,92$$

$$1,92 \text{ mg oxidante} : 1 \text{ mg Mn}$$

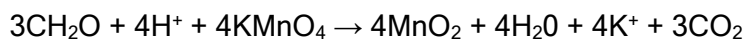
- *Oxidación de Hierro*



$$Factor_{Fe} = \frac{\text{factor estequiométrico} * PM_{KMnO_4}}{\text{factor estequiométrico} * PM_{Fe}} = \frac{1 \text{ mol} * 158 \text{ g/mol}}{3 \text{ moles} * 56 \text{ g/mol}} = 0,94$$

$$0,94 \text{ mg oxidante} : 1 \text{ mg Fe}$$

- *Oxidación de materia orgánica*



$$7,02 \text{ mg oxidante} : 1 \text{ mg } CH_2O$$

$$Factor_{CH_2O} = \frac{\text{factor estequiométrico} * PM_{KMnO_4}}{\text{factor estequiométrico} * PM_{CH_2O}} = \frac{4 \text{ moles} * 158 \text{ g/mol}}{3 \text{ moles} * 30 \text{ g/mol}} = 7,02$$

$$\Sigma \text{ Factores} = \text{factor}_{Mn} + \text{factor}_{Fe} + \text{factor}_{MO} = 1,92 + 0,94 + 7,02 = 9,88 \approx 10$$

$$\text{Factor de Corrección} = 10$$

La oxidación de estos metales solubles se da cuando pasan de su estado divalente positivo a formar parte de un compuesto insoluble con mayor valencia, es decir, que a partir del hierro divalente ( $\text{Fe}^{2+}$ ) se forma el hidróxido de hierro III ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y del manganeso divalente ( $\text{Mn}^{2+}$ ) pasa a formar el compuesto insoluble óxido de manganeso IV ( $\text{Mn}^{4+}$ ) y en algunos casos el óxido de manganeso III ( $\text{Mn}^{3+}$ ) (Medialdea, 2005).

### 1.2.3.2. Sulfato de aluminio

Es también conocido como Alumbre que forma un flóculo no muy pesado. Sin embargo, es la sustancia coagulante más usada en el mundo por ser fácil de manejar y tiene un bajo costo. Se consigue comercialmente en forma líquida y sólida (polvo, molido) pero su aplicación es en solución con una concentración entre 1% - 6%, por lo que las presentaciones granulares requieren ser diluidas en agua durante 5 minutos antes de su aplicación (Lozano, 2015).

Su rango de pH óptimo de actuación es entre 6 - 8 unidades. La dosis a emplear varía de acuerdo a la calidad de agua cruda y por lo general es entre 10 - 150mg/l.

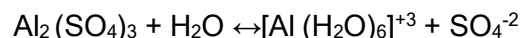


Figura 12. Sulfato de aluminio granulado

Fuente: Sulfato de aluminio - Sulfato

Las reacciones que se dan con el agente coagulante en el proceso de potabilización de agua son las siguientes (SIDESA, 2015):

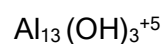
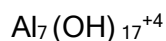
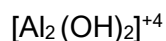
- Hidrólisis del ion metálico



- Reacción con la alcalinidad del agua



- Compuesto inestable, se hidroliza y forma complejos polinucleares:



Hidróxidos de aluminio insolubles que precipitan

### 1.2.3.3. Polímero

Se emplean polímeros de alto peso molecular, llamados poli electrolitos. Pueden ser naturales como los almidones y compuestos algínicos, o sintéticos con carga positiva (catiónicos) y con carga negativa (aniónicos). Su finalidad es mejorar la resistencia de los flóculos y aumentar su tamaño y peso (Lozano, 2015). Este coadyuvante se puede usar como coagulante primario en concentraciones entre 1 – 5 mg/l y como coadyuvante en floculación en una dosis de 0,1- 2 mg/l.



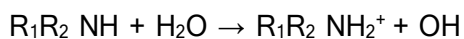
Figura 13. Poli electrolito

Fuente: Equipos de preparación y dosificación de poli electrolito (keiken-engineering.com)

Tiene como desventaja su alto costo y su estado de aplicación debe ser líquido debido a que en polvo son difíciles de disolver. También pueden usarse polímeros naturales como los almidones derivados de la papa, yuca, trigo y maíz, o compuestos algínicos derivados de las hojas de tuna o nopal, los cuales ha resultados mejores que los sintéticos por su baja o nula toxicidad (Lozano, 2015).

Se clasifican en: catiónicos: cargados positivamente, aniónicos: cargados negativamente y no iónicos.

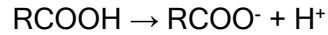
Los polielectrolitos catiónicos son poliaminas que se hidrolizan en agua como:





Puesto que la hidrólisis da  $\text{OH}^-$ , a pH alto se fuerza la reacción a la izquierda y el polímero se vuelve no iónico.

De forma semejante los polímeros aniónicos incorporan a su estructura un grupo carboxilo que en agua se ioniza así:



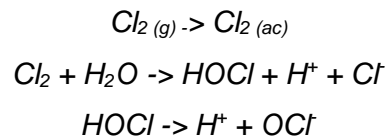
Un pH bajo, fuerza la reacción a la izquierda y transforma el polímero aniónico en no iónico. Por lo cual se usan polímeros catiónicos a bajos pH y los aniónicos a altos pH, caso contrario se transformarán en no iónicos, lo que hará variar su efectividad en el tratamiento empleado. (Mascarós, 2013).

#### 1.2.3.4. Cloro gas

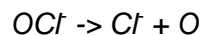
La desinfección es un proceso en que se usa un agente químico o no químico a fin de inactivar microorganismos patogénicos presentes en el agua, y generalmente es la etapa final del tratamiento de agua.

El cloro es eficaz en el proceso de desinfección del agua por tratarse de un oxidante capaz de reaccionar con diversas sustancias, sean orgánicas o inorgánicas. El ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) es el compuesto más utilizado y su disociación se vincula al pH del agua. Las aguas para abastecimiento público presentan, generalmente, valores de pH entre 5 y 10. En esta banda, la forma predominante del cloro es el ácido hipocloroso, definido como cloro residual libre (CRL), y el ión hipoclorito. La presencia del CRL es importante, pues garantiza la calidad bacteriológica del agua en todas las etapas siguientes del abastecimiento de la red de distribución.

El cloro en estado gaseoso reacciona con agua y se obtiene cloro acuoso disuelto en sus iones, que a su vez esta forma ácido hipocloroso (Vera, 2017):



Este se descompone en átomos de cloro y oxígeno:





#### **1.2.4. Dosificadores de sustancias químicas**

La dosificación de las sustancias químicas debe hacerse en forma líquida (en solución). Los dosificadores que manejan productos secos en polvo o granulares incluyen una cámara de mezcla en donde se realiza la preparación de la solución en forma instantánea (Lozano, 2015).

Todos los dosificadores permiten graduar su descarga de acuerdo a las cantidades necesarias de sustancias químicas a ser aplicadas.

## Capítulo II

### 2. Descripción proceso de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "Tixán" - Modulo II

La Planta de Tratamiento de Agua Potable -PTAP TIXÁN está ubicada en el sector rural que lleva el mismo nombre, perteneciente a la parroquia Chiquintad, a una altitud de 2690 m.s.n.m. Su acceso se realiza a través de la vía Parque industrial Cuenca – Chiquintad, hasta la altura de Ochoa león, en una distancia de 5,3 Km, en vía pavimentada y luego por la vía lastrada Ochoa león, en un tramo de 1 Km aproximadamente.

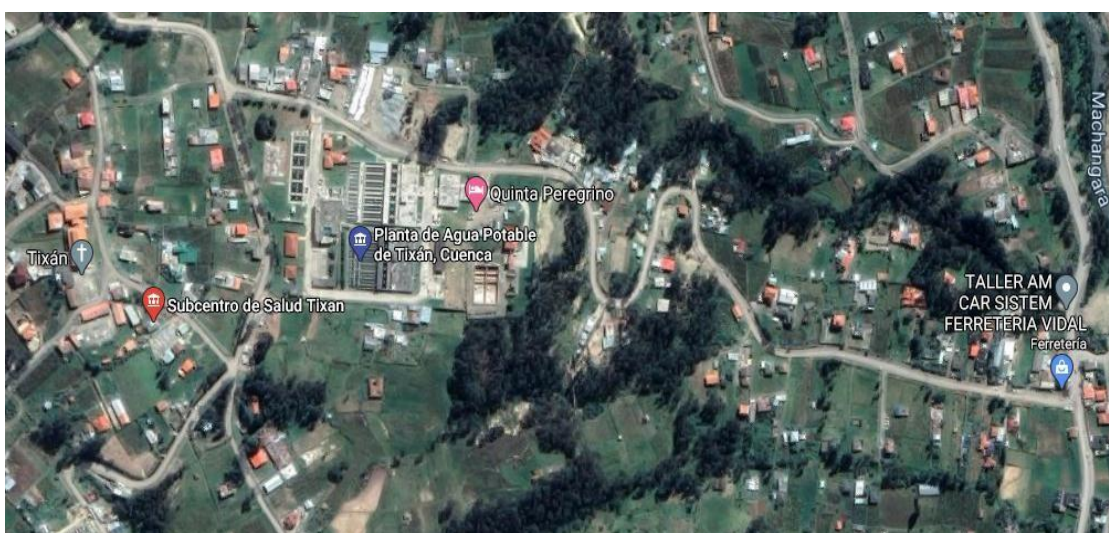


Figura 14. Ubicación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán

Fuente: Google maps

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán consta de dos módulos de operación los mismos que fueron construidos en el terreno perteneciente a ETAPA EP en dos etapas. La construcción del primer módulo concluyó en abril de 1996 y puesto en operación en el mismo año con una capacidad nominal de 840 l/s; su tecnología se basa en un tratamiento de ciclo completo o convencional, es decir comprende los procesos de coagulación, floculación, decantación, filtración rápida y desinfección (ETAPA, 2016).



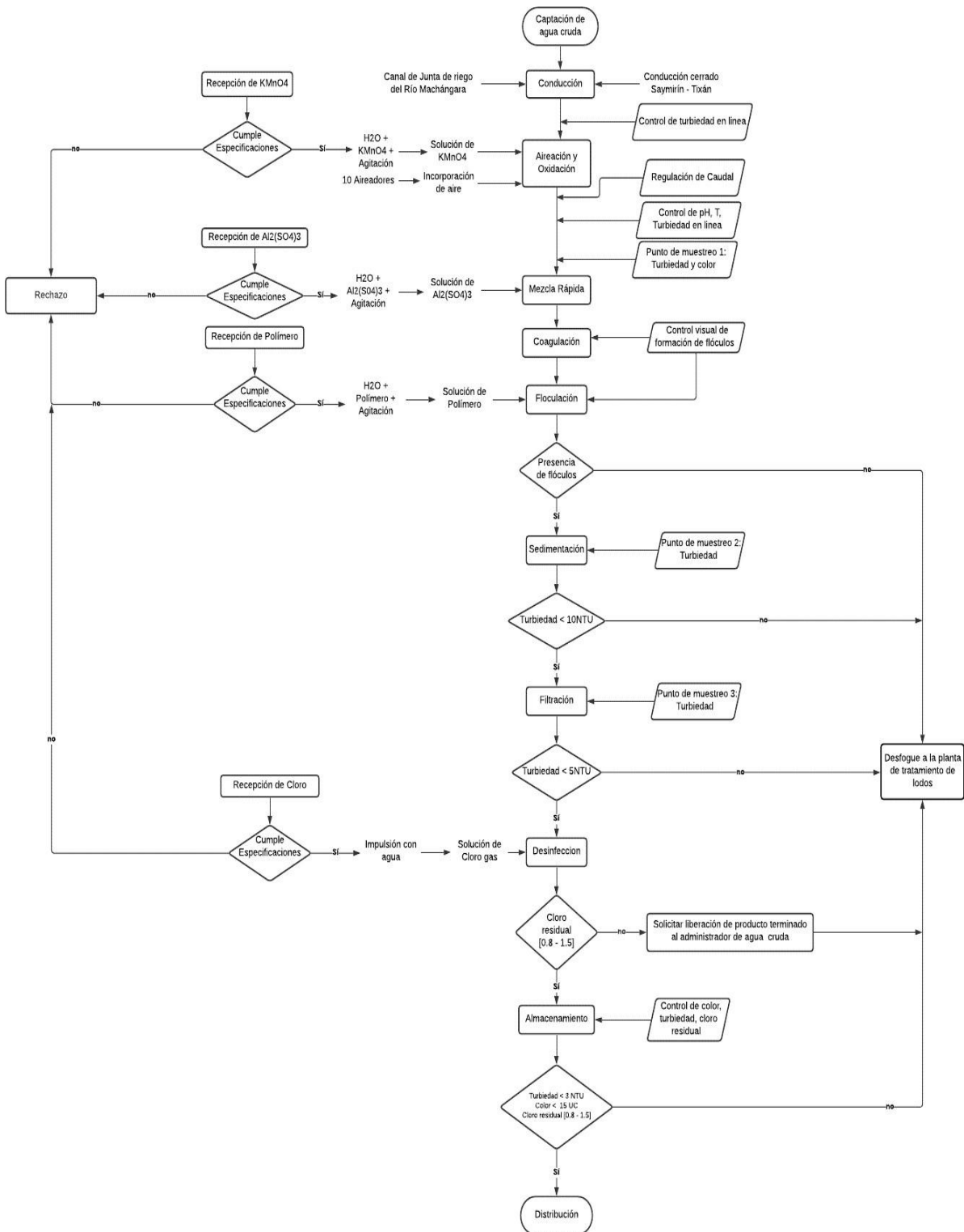


Figura 15. Diagrama de procesos de la PTAP Tixán

Fuente: Autor



Mientras que el espacio para la construcción del módulo II se reservó en el mismo predio junto al módulo existente, éste empezó su funcionamiento en el 2020 con un caudal nominal de 1100 l/s y en el cual se consideró un diseño actualizado debido a factores ambientales y operacionales donde se incorporó el proceso de remoción de manganeso por medio de técnicas de oxidación y aireación y además, un sistema de control de procesos con una actualización tecnológica en cuanto a la simplificación en las tareas de operación y mantenimiento de las unidades, a través de la reducción de equipos mecánicos, etapas de floculación y del sistema de lavado de filtros sustituyéndose por métodos hidráulicos (ETAPA, 2015).



*Figura 16. Planta de tratamiento de agua potable - Modulo II*

Fuente: Autor

La Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán también posee un laboratorio de Agua Potable, zonas para la preparación de las soluciones de productos químicos usados en el tratamiento, una bodega de recepción y almacenamiento de permanganato de potasio, polímero, sulfato de potasio y cloro, también un cuarto de operaciones donde se realizan controles del proceso por medio de un sistema propio de la planta llamado "SCADA". La planta se mantiene en funcionamiento las 24 horas del día para poder abastecer la demanda diaria de la población y sabiendo que ésta va en constante crecimiento se proyecta a la construcción de una tercera ampliación o módulo.



Figura 17. Edificio Principal de oficinas, bodegas de químicos y equipos dosificadores

Fuente: Autor

## 2.1 Calidad del agua cruda del río Machángara

Las condiciones climáticas debido al cambio de estaciones durante el año en la región azuaya producen grandes variaciones en cuanto al caudal y la calidad del agua del río Machángara. Estos cambios en la calidad del agua cruda se dan por los siguientes motivos:

- La captación que se realiza a las aguas turbinadas de la Central Hidroeléctrica en el canal abierto de riego atraviesa una zona bastante habitada, esto contribuye a la alteración de las características físicas y microbiológicas del agua cruda, mayormente en épocas lluviosas se incrementa concentración de sólidos depositados en el canal.
- Los deslizamientos de la quebrada del Soroche, ésta es un afluente del río Machángara ubicado en el margen izquierdo de la cuenca media – alta de este río, agua arriba de las centrales de Saucay y Saymirín. Por ello existe un mayor aporte de sólidos y metales en disolución, como manganeso y hierro, dependiendo directamente de la intensidad de precipitaciones que se den (ETAPA, 2015). Debido a la importancia incidencia del manganeso presente en el agua cruda en las actividades de operación y mantenimiento en la PTAP de Tixán, así como, en el sistema de distribución, se realiza un pre tratamiento al agua cruda antes de ingresar al proceso convencional.

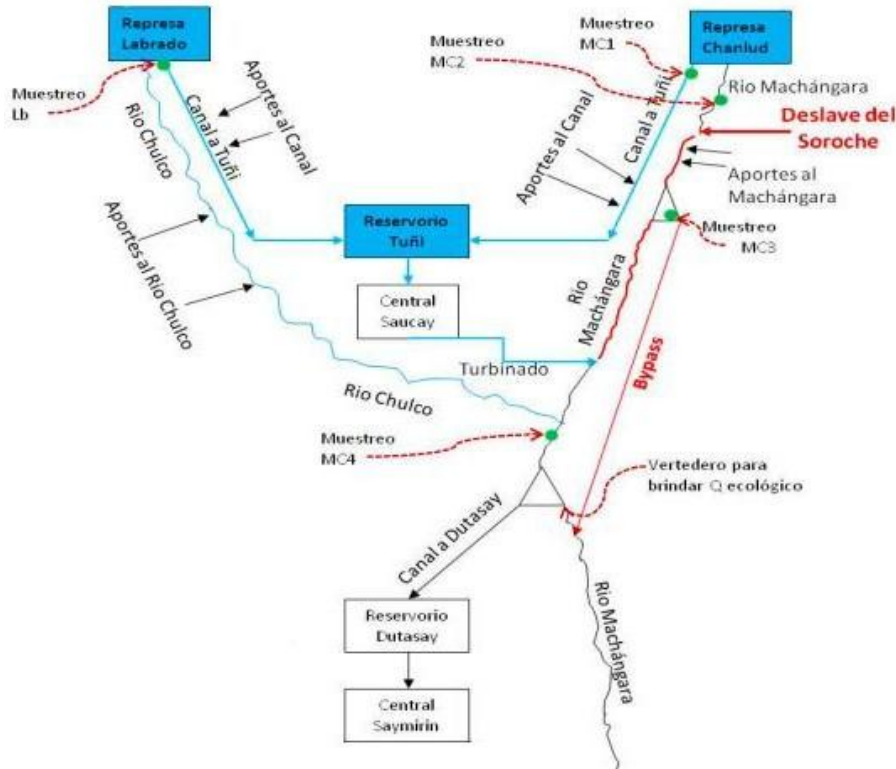


Figura 18. Origen del agua cruda - Reservorios

Fuente: Espinoza Garate

Los análisis realizados por el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta de Tratamiento de agua potable Tixán son:

- ✓ **Turbiedad**: Debido a las variaciones estacionales se observa un amplio rango desde 1,0 NTU a 4121 NTU, considerando eventos extremos presenciados durante la operación. Pero en general, el parámetro se mantiene por debajo de los 11,4 NTU más del 90% del tiempo.
- ✓ **Temperatura**: Este parámetro fluctúa entre el rango de 7,5 °C a 19,6 °C; aunque también depende de la estación del año dando un valor promedio de 15,82°C.
- ✓ **pH**: Presenta una variación de 6,39 a 8,09, siendo de carácter básico cerca del 95% del tiempo, con un valor promedio de 7,74.
- ✓ **Alcalinidad**: Presenta una variación entre 23,84 a 61,54 mg/l CO<sub>3</sub>Ca, indicando una baja capacidad de taponamiento o de neutralización a los ácidos. Este parámetro interviene en el proceso de coagulación con el uso de sulfato de aluminio.
- ✓ **Hierro y manganeso**: Tiene una amplia variación dentro del rango de 97,2 ug/L a 1507 ug/L con un valor promedio anual de 424,17 ug/L para el hierro y en cuanto al manganeso se encuentra dentro de un rango de 79,55 ug/L a 1142 ug/l y un

valor promedio anual de 169,7 ug/L. Tomando en cuenta que en periodo de lluvias hay un aumento de concentraciones comprobando la relación de tipo estacional.

- ✓ Coliformes totales y fecales: en los registros diarios del laboratorio de control de calidad de PTAP "Tixán" presenta coliformes totales entre un rango de  $[1,30E+01 - 2,4E+04]$  NMP/100ml y coliformes fecales entre  $[3,00E+00 - 2,40E+04]$  NMP/100ml (ETAPA, 2015).

## 2.2 Conducción y Captación del agua cruda

Las aguas del río Machángara sirven de fuente de abastecimiento para la PTAP y también para las Centrales Hidroeléctricas de Saucay y Saymirín, su cauce nace en el Parque Nacional El Cajas en la laguna Machangaracocha y desemboca en el río Cuenca con una extensión aproximada de 208 Km<sup>2</sup> regulada en la zona alta, está ubicado al noreste del área urbana de la ciudad de Cuenca y es uno de los cuatro ríos más importantes de la provincia azuaya (ETAPA, 2015).

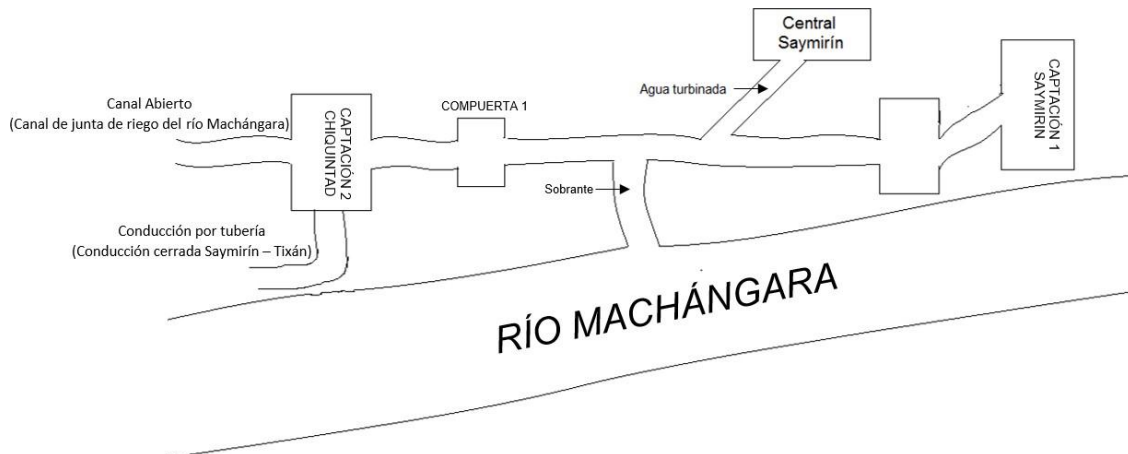


Figura 19. Captaciones de agua cruda para la PTAP Tixán

Fuente: Autor

La captación de agua cruda para la planta de Tixán se puede realizar de dos maneras: la primera, utilizando una estructura civil propia de la planta de Tixán para captar agua del río Machángara, la misma que será utilizada cuando la Hidroeléctrica de Saymirín se encuentre en mantenimiento o sufra algún desperfecto. La segunda se da por dotación de agua cruda luego de ser turbinada por la Central Hidroeléctrica de Saymirín. Cualquiera que fuese la manera de captación, se llega a una estructura civil denominada Captación Chiquintad. De esta estructura se tiene dos formas de conducir agua cruda hacia la planta de Tixán, siendo



una por canal abierto (Canal de junta de riego del río Machángara) y la otra por conducción por tubería (Conducción cerrada Saymirín - Tixán) (ETAPA, 2016).

### 2.3 Oxidación y Aireación

Se dispone de dos unidades de pre tratamiento en paralelo donde se efectúa el proceso de oxidación con la incorporación de aire y la dosificación de una solución de permanganato de potasio. Estas unidades tienen la capacidad para procesar el caudal a tratarse en los módulos I y módulo II incluyéndose el correspondiente al módulo III.



Figura 20. Unidades de proceso de oxidación y aireación

Fuente: Autor

El ingreso a las unidades de oxidación se realiza a través de vertederos de longitud equivalente al ancho de las mismas con una relación longitud respecto al ancho ( $L/b=10$ ). El perfil del flujo sobre el vertedero es de tipo hidrodinámico. El control de la admisión o cierre de paso de agua, se realiza mediante compuertas vertederos de pared delgada con descarga libre, tres por cada unidad de oxidación.

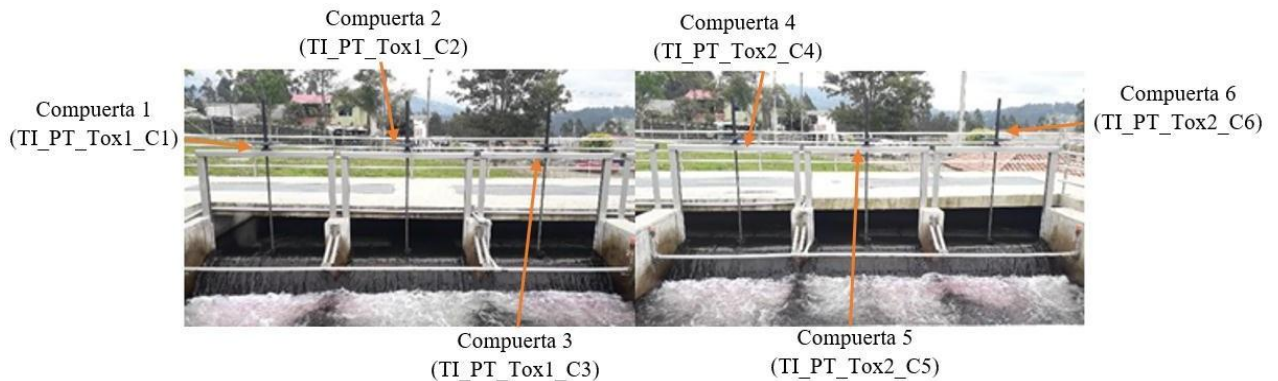


Figura 21. Compuertas de ingreso de agua cruda a proceso de oxidación y aireación

Fuente: Autor

Inmediatamente aguas debajo de los vertederos, se ha previsto losas planas horizontales, constituyendo en cada tanque un canal de solera plana, que permite la formación de un resalto hidráulico débil con un flujo rápidamente variado, ya que este forma remolinos en parte superior del salto y aguas abajo se mantiene lisa que facilita la dispersión de la solución del oxidante, la cual es dosificada por medio de flautas.



Figura 22. Dosificación de la solución de permanganato de potasio

Fuente: Autor

Las unidades de oxidación tienen una pendiente de 1% hacia el extremo de ingreso de agua cruda, con la finalidad de facilitar el arrastre de sólidos durante el vaciado que se realiza en su respectivo mantenimiento.

En la solera de las cámaras se dispone de 5 aireadores sumergibles por unidad, estos proporcionan oxígeno al agua y la agitación necesaria para mantener en suspensión y en contacto las partículas y precipitados formados durante la oxidación de hierro y manganeso. Los aireadores pueden ser extraídos o instalados fácilmente desde los puentes ubicados transversalmente sobre los muros de las unidades.

Las salidas del efluente de las unidades de aireación se hacen a través de vertederos instalados a todo lo ancho de las unidades, son de cresta delgada y descarga libre. El efluente será recogido en un canal de distribución con dos salidas mediante tuberías y transportadas hacia los módulos de tratamiento I y II. El mismo fue diseñado con los elementos de control respectivos para distribuir el caudal, tanto para continuar su procesamiento en el módulo I como para el módulo II – módulo III (ETAPA, 2015).

Aireador sumergible



Figura 23. Aireador sumergible en funcionamiento

Fuente: Autor

Los conductos de transporte de agua aireada a las unidades de mezcla rápida para el Módulo I y II, tienen un diámetro de 700 mm y 1000mm respectivamente. A las salidas de los canales de distribución tanto para el Módulo I y II, se dispone de una compuerta con actuador eléctrico, en el cual, el actuador 3 es para el Módulo I y el actuador 4 para el Módulo II que permiten el ingreso de agua al conducto que transporta el caudal a las unidades de mezcla rápida, siendo este caudal registrado por un medidor ultrasónico.

## 2.4 Mezcla rápida

Flauta dosificadora  
de solución de sulfato  
de aluminio

Figura 24. Unidad de mezcla rápida

Fuente: Autor

Esta unidad está conformada por un canal de sección constante que dispone de una solera de pendiente importante, pero al final tiene una pendiente nula con el objetivo de crear un salto hidráulico, en el cual la energía hidráulica disipada es empleada para dispersar inmediatamente y de forma homogénea el coagulante en la masa líquida. En este sitio se encuentra instalado el sistema de distribución de la solución de coagulante.

La solución de sulfato de aluminio produce desestabilización y la conglomeración de las partículas coloidales, microorganismos, entre otros (ETAPA, 2015).

## 2.5 Floculación



Figura 25. Compuerta de las unidades de floculación

Fuente: Autor

En este proceso se dispone de una unidad compuesta por floculadores, estos divididos en 4 grupos de flujo hidráulico vertical. El ingreso a cada floculador se hace mediante una compuerta manual de tipo canal obturador que dispone de volante. La unidad de repartición de caudal a procesarse en cada unidad de floculación está conformada por una cámara de vertederos frontales de descarga libre.



Figura 26. Sistema de distribución de solución de polímero

Fuente: Autor



En estas unidades, se incorpora la solución de polímero facilitando la formación de flóculos con mayor capacidad de sedimentación. Por ello, se dispone de un sistema de distribución de polímeros que se da mediante dosificadores de carga constante que se encuentran instalados al inicio de cada unidad de floculación (ETAPA, 2015).

## 2.6 Sedimentación



Figura 27. Compuerta de carga hacia unidades de sedimentación

Fuente: Autor

Para el ingreso de caudal a las unidades de sedimentación se tiene 8 compuertas con sus respectivos actuadores, es decir, hay ocho unidades de sedimentación que trabajan en paralelo, son unidades de alta tasa conformadas por placas inclinadas y flujo ascendente a través de las cuales fluye el agua, mientras circula se van depositando las partículas sedimentables y éstas por efecto de la gravedad se asientan al fondo del sedimentador. Cada unidad cuenta con dos zonas de sedimentación separadas por un canal central. Este canal está integrado por dos canales: el inferior que permite el ingreso a presión del agua floculada; mientras que el canal superior transporta el agua sedimentada que es recolectada por el sistema de tuberías perforadas que se encuentran ubicadas en la parte superior de los sedimentadores.



Figura 28. Unidad de sedimentación

Fuente: Autor

Los lodos sedimentados se deslizan por las paredes de tolvas longitudinales de paredes inclinadas con características geométricas con un ángulo de  $60^\circ$  y una altura de 1.80 m que facilitan su extracción mediante un canal múltiple recolector que se ubica a lo largo de las tolvas con un ancho de 0,45 m y altura variables. Este canal recolector está cubierto de losetas de hormigón en las cuales se han previsto los orificios que están separados uniformemente.

## 2.7 Filtración rápida



Figura 29. Filtración

Fuente: Autor

Los filtros construidos corresponden a un sistema de tasa declinada variable, permite el lavado de las unidades filtrantes mediante el caudal filtrado por las unidades en operación. Consta de ocho unidades cuyo medio filtrante está conformado por antracita y arena los mismos que descansan sobre un lecho de grava graduada y el denominado fondo falso, que lo integran bloques de polietileno de alta densidad tipo Leopold (ETAPA, 2016).



*Figura 30. Filtros tipo Leopold*

*Fuente: Autor*

El drenaje de los filtros permite recolectar el agua filtrada y a su vez distribuir el aire y agua de forma uniforme y secuencial durante el proceso de lavado. El sistema de lavado además de utilizar el agua generada por otras unidades en operación, requiere de un sistema auxiliar que emplea aire generado por sopladores. Estos sopladores están ubicados en una cabina especial que cuenta con los elementos de control ambiental necesarios y son de tipo de desplazamiento positivo de tipo lobular, y pueden generar un caudal de aire de 2,723.28 Nm<sub>3</sub>/h a una temperatura estimada de 48,27 °C debido a la compresión adiabática y una presión de 3,29 mca (ETAPA, 2016).

## **2.8 Desinfección**

Se cuentan con dos cámaras de contacto de cloro ubicadas a la salida de las baterías de filtro, están constituidas por un laberinto conformado por tabiques que garantizan un flujo tipo pistón y un mismo tiempo de retención hidráulica a la masa de agua. El distribuidor de inyección de la solución de cloro está localizado en la parte inferior del primer canal que integra la respectiva cámara. Estas dos cámaras de cloración son independientes, ya que esto facilita la limpieza de cualquiera de ellas sin suspender el proceso.

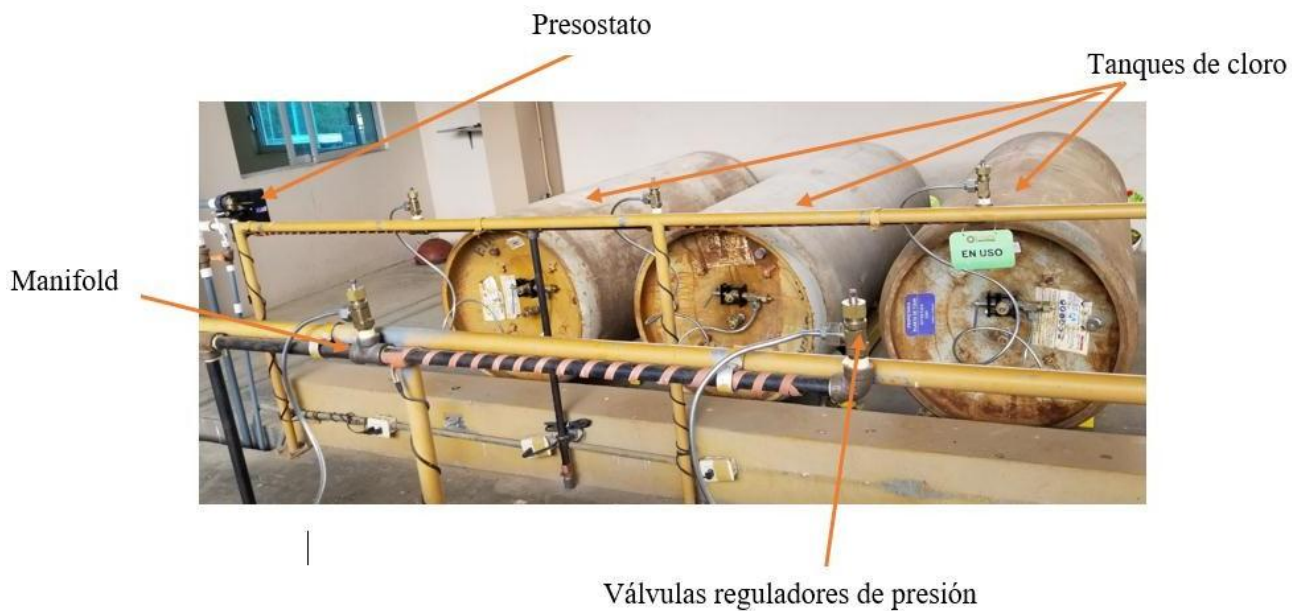


Figura 31. Sistema de dosificación de cloro gas

Fuente: Autor

La planta dispone de la sala de cloración donde está instalado el equipo de preparación de la solución de cloro y medición para ser inyectada en los sitios requeridos. El depósito de cloro almacena los cilindros de 1 tonelada de cloro gas y mediante el sistema de transporte son colocados en sus respectivos lugares. El sistema existente corresponde a la inyección de solución de Cl para lo que se emplea cloro gas, la extracción se la hará desde tres cilindros. El sistema dispone de dos Manifold de extracción y cada uno de ellos puede conectarse a tres cilindros de cloro de 1 Ton. Cada Manifold tiene instalado un regulador de vacío con un sistema de cambio automático e indicador de presión que permite conectarse al conjunto de cilindros llenos al momento en que uno de los conjuntos se agote (ETAPA, 2016).

## 2.9 Almacenamiento y Distribución



Figura 32. Tanque de almacenamiento #5

Fuente: Autor

Las reservas pertenecientes al módulo II llamadas R3, R4, R5; las primeras se encuentran ubicadas a continuación de las cámaras de cloración, éstas tienen dos salidas de la planta.

<b>Nombres del tanque</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Altura del agua (m)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Reserva 3	26,90	15,10	3,70	1502,90
Reserva 4	26,90	15,10	3,70	1502,90
Reserva 5	28,00	20,00	4,70	2632,00

### 2.10 Equipos dosificadores de la PTAP “TIXÁN”

- **Equipo para la preparación de la solución de Permanganato de potasio**

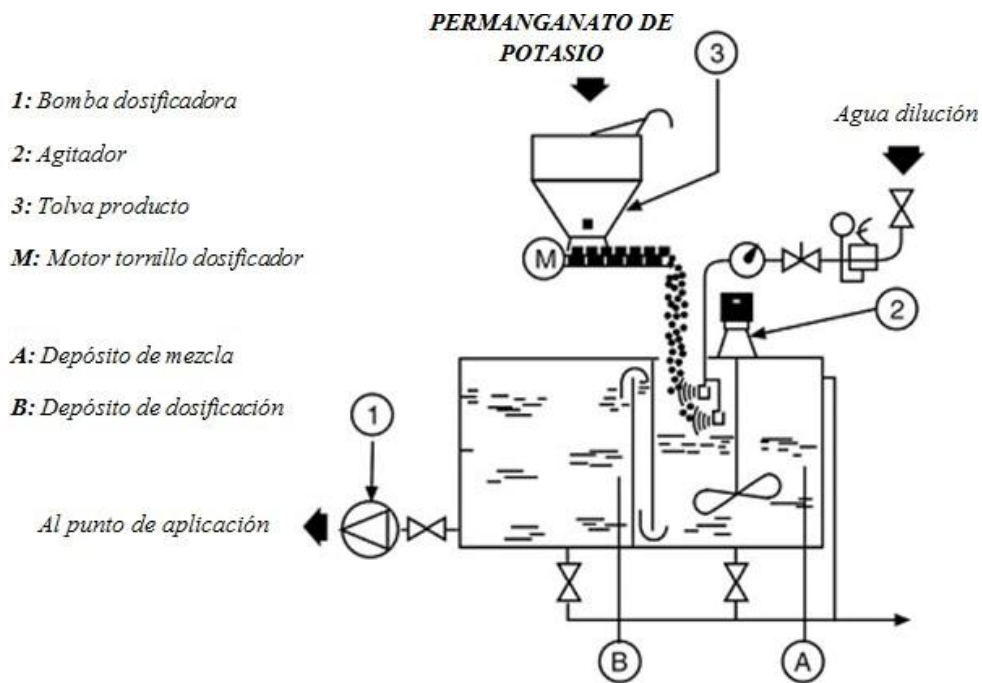


Figura 33. Equipo para la dosificación de Permanganato de potasio

Fuente: Permanganato potásico (elaguapotable.com)

- **Equipo de preparación de solución de  $KMnO_4$  en la PTAP Tixán**





Figura 34. Dosificador volumétrico para productos químicos secos- Modelo W105

Fuente: Autor



Figura 35. Tornillo Sin fin del dosificador de KMnO4

Fuente: Autor

El equipo dosificador de marca ACRISON se caracteriza por su tornillo doble concéntrico de velocidad variable diseñado para dosificar de forma fiable una gran variedad de químicos secos usados comúnmente en aplicaciones de tratamiento de aguas. El sistema consiste de un Tornillo Acondicionador (más grande) que se mueve en la misma dirección que el Tornillo Dosificador (más pequeño) pero con una velocidad mucho menor. Es de construcción de acero inoxidable 304SS, impulsado por un motor de velocidad variable y operado por un PLC Allen-Bradley con una pantalla táctil a color (ACRISON, 2021).

- **Equipo dosificador de Sulfato de Aluminio**

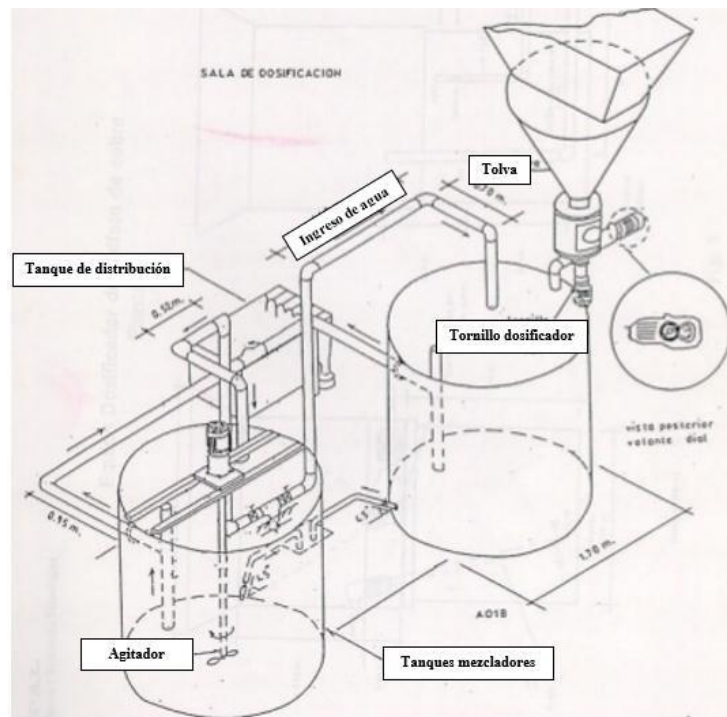


Figura 36. Equipo dosificador de Sulfato de aluminio

Fuente: Tratamiento de agua coagulación y floculación (slideshare.net)

- **Equipo para la preparación de solución de  $Al_2(SO_4)_3$**

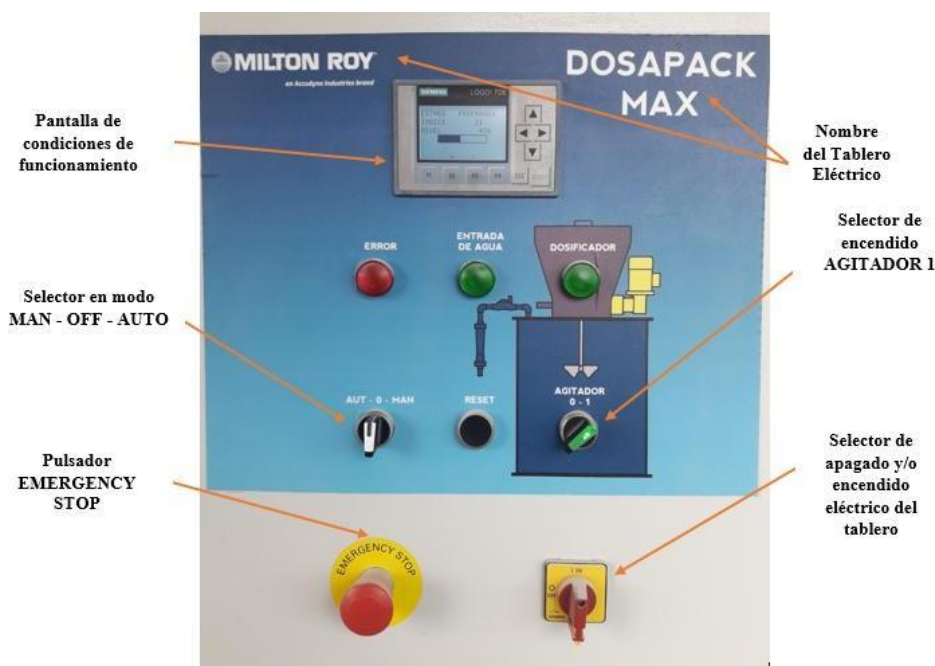


Figura 37. Sistema de preparación de reactivos - DOSAPACK MAX

Fuente: Autor

El dosificador Dosapack - Max de marca Milton Roy fabricado por el grupo SDM, se puede operar de modo automático o manual para la preparación de reactivos en polvo empleados en tratamientos de aguas. Su funcionamiento está dado de tal manera que cuando el sensor de nivel proporciona una señal de mínimo, se abre la electroválvula de entrada de agua y se pone en funcionamiento el dosificador de polvo. De igual manera, en el momento en el que el sensor de nivel proporciona una señal de máximo, se cierra la electroválvula de entrada de agua y se detiene el dosificador de polvo. El agitador siempre permanece en marcha.

Éste cuenta con un depósito con línea de entrada de agua, rebose y drenaje, dosificador de polvo (tolva en forma de pirámide truncada y tornillo sinfín) y agitador.



Fuente: Autor

#### ▪ **Equipo dosificador de poli electrolito**

Integra los poli electrolitos en polvo en la disolución para alcanzar una correcta dispersión y actuación de los mismos dentro del proceso de tratamiento de aguas.



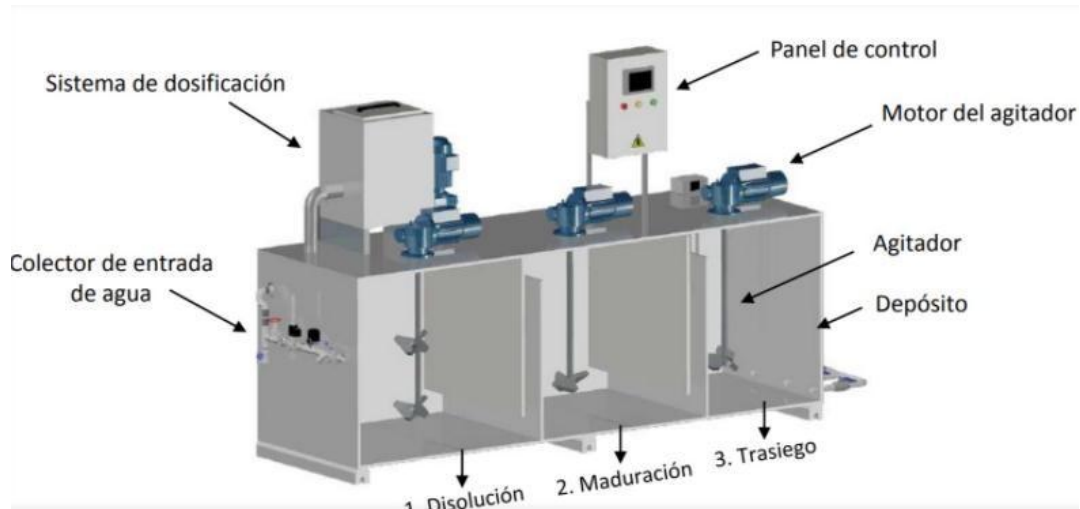


Figura 39. Equipo para dosificar poli electrolito

Fuente: [Equipos de preparación y dosificación de polielectrolito \(keiken-engineering.com\)](http://Equipos de preparación y dosificación de polielectrolito (keiken-engineering.com))

El proceso de preparación de la solución de Permanganato a dosificar para el tratamiento de agua, se basa en tres etapas: disolución, maduración y trasiego, en donde:

- *Disolución:* El polímero se humidifica y se disuelve mediante una agitación lenta, favoreciendo la homogeneización de la solución.
- *Maduración:* La solución se mantiene en agitación continua y lenta.
- *Trasiego:* Las sondas de nivel actúan para que la solución pueda ser dosificada automáticamente.
- **Equipo de preparación de solución de Polielectrolito**

El equipo dosificador POLIPACK de marca MILTON ROY fabricado por el grupo SDM es un sistema de preparación de floculantes en polvo de modo continuo y de modo automatizado o manual, el cual cuenta con un depósito de 3 compartimientos que son para la preparación, maduración y mantenimiento y dosificación de la solución, todos los compartimientos están interconectados. Además, el primer y segundo compartimento cuenta con un agitador. Sobre el equipo está una tolva donde se almacena el polímero en polvo, en la parte inferior de ésta se encuentra el tornillo sin fin accionado por un reductor de velocidad lo que permite controlar la cantidad de producto que es incorporado en el depósito. El sistema está provisto de un tablero eléctrico de control que permite automatización del proceso de preparación o en modo manual del mismo.

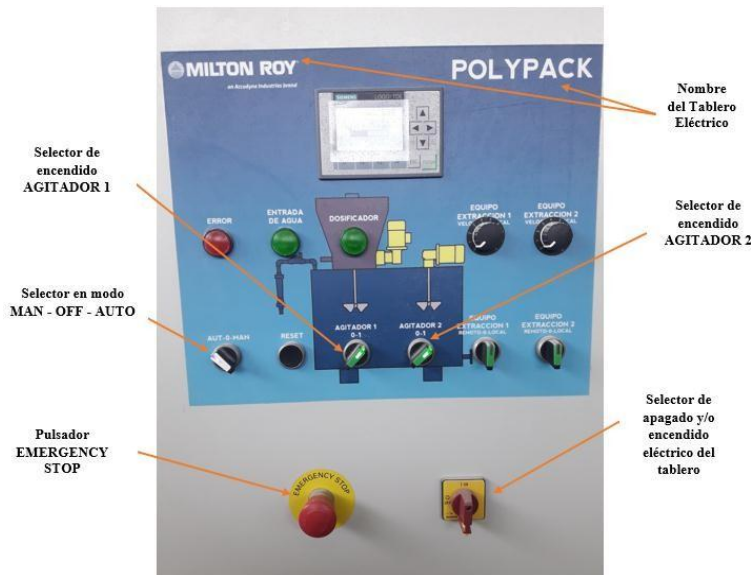


Figura 40. Panel eléctrico de control de POLYPACK

Fuente: Autor

#### ▪ Equipo dosificador de cloro gas



Figura 41. Sistema de dosificación de cloro gas

Fuente: Autor

El sistema de dosificación de cloro está integrado por un sistema de pesaje de 6 cilindros de gas de 1 tonelada constituidos por dos plataformas que permiten la medición de 3 contenedores de cloro con salidas de 4 a 20 mA. Para su control se dispone de un display de dos canales en la que se puede observar el peso de las dos plataformas, dos manifold para la conexión de los 3 cilindros de 1 tonelada, dos eyectores que tiene cada uno con una contra presión de 20 psi., dos unidades reguladoras de vacío. Además, dos paneles de dosificación automática de cloro, el cual dispone de dos válvulas automáticas para control manual y automático de cloro residual y caudal, también incluyen un rotámetro visual (ETAPA, 2016).



*Figura 42. Paneles de control automatizado de cloro gas*

Fuente: Autor

### Capítulo III

#### 3. Metodología experimental

La Planta de Tratamiento de Agua Potable "Tixán" dentro de sus condiciones de trabajo ha definido las dosis óptimas de los productos químicos usados en su proceso de potabilización de agua como son: permanganato de potasio con una dosis de 500mg/l, sulfato de aluminio con su dosis optima de 23mg/l, polímero PRAESTOL 650 TR con una dosis entre 0.05 – 0.04 mg/l y cloro gas con su dosis óptima de 1.7mg/l, las mismas que fueron determinadas en estudios anteriores por el laboratorio de control de calidad de dicha planta.

Previo a realizar la parte experimental se procedió a conocer las instalaciones de la planta, así como su funcionamiento y condiciones de operación. Para desarrollar la determinación cuantitativa de los datos para el aforo volumétricos y másicos de los equipos dosificadores de químicos fue necesario utilizar los datos proporcionados por la planta como son caudal y dosis, así como los equipos dosificadores, Balanza analítica PMA.QUALITY, Modelo CNTRIS8201-1S, cronómetro, cápsulas, vasos de precipitación y además la herramienta informática Microsoft Excel. También se contó con el apoyo del jefe de planta y los operadores para la supervisión y muestreo del agua potabilizada en la planta de tratamiento. El proceso experimental se va a desarrollar mediante el siguiente esquema:

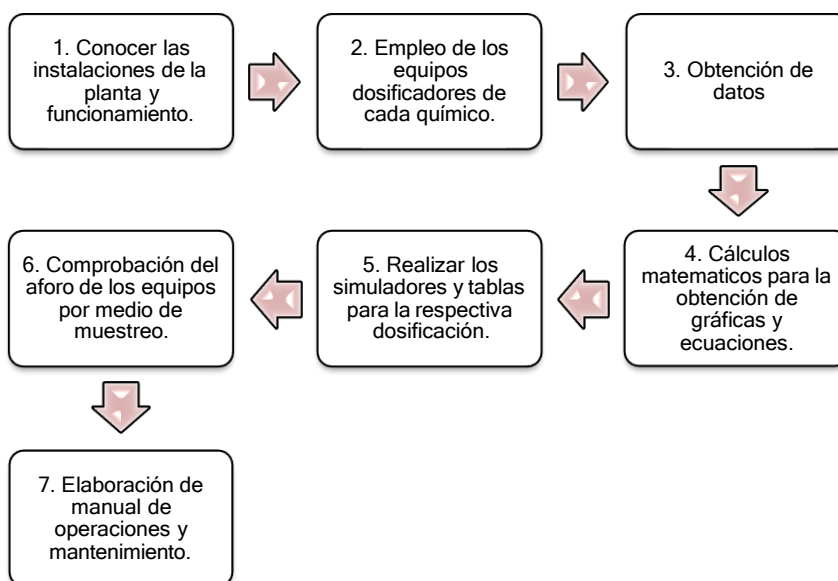


Figura 43. Diagrama del proceso experimental

Fuente: Autor



### 3.1 Determinación de datos cuantitativos para los diferentes químicos usados en el tratamiento de potabilización de agua en PTAP Tixán en base a los nuevos equipos dosificadores.

#### 3.1.1 Permanganato de potasio

▪ Materiales y reactivos:

Materiales

- Cronómetro
- Cápsulas de porcelana
- Balanza analítica PMA.QUALITY, Modelo CNTRIS8201-1S
- Toallas limpiadoras desechables

Reactivos

- Permanganato de potasio al 99.5% en presentaciones de 50 Kg (grado comercial)

▪ Procedimiento:

Para realizar la determinación de datos cuantitativos para el dosificador de permanganato de potasio se realizó en el equipo Volumetric Dry Chemical Feeders – Modelo ACRISON W105, éste nos permite hacer una toma de muestra de  $\text{KMnO}_4$  dependiendo de la velocidad en que se encuentre trabajando el motor que permite el giro tornillo dosificador sin fin, las cuales van desde las 7rpm a 60 rpm. Para este experimento se trabajó con el tablero principal denominado = 00 + TC-Do - CONTROL PLC DOSIFICACIÓN QUÍMICOS, en éste podemos encontrar un selector para poner el equipo a dosificar en modo manual, lo que nos permite ingresar las condiciones de operación como concentración de manganeso, factor de corrección y RPM del tornillo.

- *Toma de muestras:*

- a) Pesar y etiquetar las cápsulas previamente lavadas y secadas, registrar los datos obtenidos.
- b) Colocar el equipo en modo Manual, e ingresar los datos requeridos:

<b>Datos</b>		<b>Unidades</b>
Concentración de Mn	50	ug/L
Factor estequiométrico	10	-



Giro del tornillo	[7 - 60]	Rpm
-------------------	----------	-----

Para el giro del tornillo se trabajó desde 7rpm, continuando con 10 rpm y de ahí en adelante con múltiplos de 5 hasta 60 rpm, es decir: 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55 y 60 rpm.

- c) Posterior a ello, se colocó la cápsula debajo del tornillo sin fin donde se da la caída del químico al tanque de mezcla para obtener pesos con cada giro del tornillo. Con ayuda del cronómetro se tomó un tiempo de 30 segundos en cada toma de muestras.
- d) Se pesó cada cápsula con  $KMnO_4$  y registró los datos obtenidos.
- e) Este proceso se realizó por triplicado para cada revolución estudiada.

▪ Datos a registrar

- ✓ Numero designado en la etiqueta a cada capsula ( $N^\circ$  Cáp).
- ✓ Numero de revoluciones que se está trabajando ( $N^\circ$  Rev).
- ✓ Tiempo de recolección de químico en el tornillo sin fin en segundos.
- ✓ Peso de la capsula limpia y seca (Peso Cáp).
- ✓ Peso de la capsula más el permanganato de potasio (Peso Cáp +  $KMnO_4$ ).

▪ Fórmulas y Cálculos:

- Cálculo del peso de  $KMnO_4$

$$Peso_{KMnO_4} = Peso_{Cáp+KMnO_4} - Peso_{Cáp} = g \text{ } KMnO_4$$

- Cálculo de g/s  $KMnO_4$

Realizar un promedio de los 3 pesos obtenidos para cada rpm y dividir para el tiempo (30s):

$$\frac{g}{s} = \frac{Peso_{prom}}{tiempo}$$

- Generar una tabla con los datos recolectados y graficar para obtener una ecuación lineal, la misma que representará la dosificación de este producto químico.



- Ajuste de datos experimentales a un modelo estadístico que permite obtener la ecuación que representa la dosificación de  $KMnO_4$  con el equipo.

Una vez realizada la representación gráfica de los datos cuantitativos se procedió a realizar el respectivo ajuste, donde se estableció que el modelo que cumple la distribución bidimensional de los datos es el modelo de regresión lineal.

La ecuación que cumple este modelo es  $Y = mX + b$ , donde  $Y$  son los valores correspondientes al eje vertical,  $b$  es la ordenada al origen,  $m$  es la pendiente, y  $X$  son los valores correspondientes al eje horizontal.

La igualdad indica la relación que existe entre la variable respuesta  $Y$ , y una única variable explicativa  $X$ ; permitiendo estimar o predecir el valor de la variable de respuesta a partir de un valor dado a la variable explicativa.

La variable respuesta o dependiente son los  $g/s$  de permanganato de potasio que caen de acuerdo a las revoluciones a las que gira el tornillo sin fin, siendo la variable explicativa o independiente las RPM del tornillo.

Siendo:

$Y$  = Cantidad de  $KMnO_4$  por unidad de tiempo ( $g/s$ )

$m$  = pendiente

$X$  = velocidad de giro o índice ( $rpm$ )

$b$  = corte

A partir de esta ecuación se procedió a ejecutar un programa o simulador en Excel y la tabla Índice vs. Caudal para la dosificación de  $KMnO_4$ , el cual es una alternativa de dosificación en caso de que existan fallas con el modo automático del equipo o algún otro desperfecto.

### **3.1.2 Sulfato de aluminio**

- Materiales y reactivos:

Materiales

- Envase o recipiente metálico
- Balanza analítica PMA.QUALITY, Modelo CNTRIS8201-1S

Reactivos

- Sulfato de aluminio grado 2 tipo B grueso QUIMIPAC (Sacos de 25 Kg)



▪ Procedimiento:

Para realizar la determinación de datos numéricos para el dosificador de sulfato de aluminio se realizó en el equipo DOSAPACK-MAX MILTON ROY. Se hace la toma de muestra de  $Al_2(SO_4)_3$  dependiendo al índice en que se trabaja, es decir, el índice nos indica un determinado número de revoluciones que gira el tornillo dosificador sin fin; pudiendo ir desde el índice 1 hasta el 60. Para este experimento se trabajó con el tablero principal denominado = 00 + TC-Do - CONTROL PLC DOSIFICACIÓN QUÍMICOS y además, con el tablero eléctrico propio del equipo, en éstos podemos encontrar un selector para colocar el equipo en modo manual, pudiendo así modificar el índice con facilidad.

- *Toma de muestras:*

- a. Pesarse el recipiente previamente lavado y secado, registrar el dato.
- b. Colocar los selectores en modo Manual y el índice en el dígito requerido, se trabajó desde el índice 1 hasta el 23 de uno en uno.
- c. Posterior a ello, se colocó el recipiente debajo del tornillo sin fin donde se da la caída del químico al tanque de mezcla para obtener pesos dependiendo a los tiempos de llenado y espera programados en el equipo.
- d. Se pesó el recipiente por cada índice estudiado y se registró los datos obtenidos.
- e. Este proceso se realizó por triplicado para cada índice estudiado.

*Nota: Se cuenta con 4 equipos dosificadores de sulfato de aluminio por ello este procedimiento se realizó para cada uno de ellos; los tiempos de espera y llenado de  $Al_2(SO_4)_3$  vienen dados de fábrica, pero de igual manera se comprobó dichos tiempos.*

Tabla 1. Tiempo de espera y llenado de los dosificadores de sulfato de aluminio

<b>Índice</b>	<b>Tiempo Llenado (s)</b>	<b>Tiempo Espera(s)</b>	<b>Tiempo Total (s)</b>
1	4	196	200
3	10	190	200
5	8	92	100
7	12	88	100
9	15	85	100
11	18	82	100





13	22	78	100
15	25	75	100
17	28	72	100
19	32	68	100
21	35	65	100
23	38	62	100

Fuente: Autor

▪ Datos a registrar:

- ✓ Índice al que está trabajando el dosificador.
- ✓ Peso del recipiente limpio y seco ( $Peso_{Recip}$ ).
- ✓ Peso en gramos del recipiente más muestra tomada de químico ( $Peso_{Recip+Al_2(SO_4)_3}$ ).
- ✓ Tiempos de llenado, esperado y total en segundos.

▪ Fórmulas y Cálculos:

- Cálculo del peso de  $Al_2(SO_4)_3$

$$Peso_{Al_2(SO_4)_3} = Peso_{Recip+Al_2(SO_4)_3} - Peso_{Recip} = g_{Al_2(SO_4)_3}$$

- Cálculo de g/s  $Al_2(SO_4)_3$

Realizar un promedio de los 3 pesos obtenidos para cada índice y dividir para el tiempo total(s):

$$\frac{g}{s} = \frac{Peso_{prom}}{Tiempo\ Total}$$

Para convertir de g/s a kg/h:

$$\frac{kg}{h} = \frac{g}{s} * 3,6$$

- Generar una tabla con los datos recolectados y graficar para obtener una ecuación lineal, la misma que representará la dosificación de este producto químico.

▪ Ajuste de datos experimentales a un modelo estadístico que permite obtener la ecuación que representa la dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$  con el equipo.

Una vez realizada la representación gráfica de los datos cuantitativos se procedió a realizar el respectivo ajuste, donde se estableció que el modelo que cumple la distribución bidimensional de los datos es el modelo de regresión lineal.



La ecuación que cumple este modelo es  $Y = mX + b$ , donde  $Y$  son los valores correspondientes al eje vertical,  $b$  es la ordenada al origen,  $m$  es la pendiente, y  $X$  son los valores correspondientes al eje horizontal.

La igualdad indica la relación que existe entre la variable respuesta  $Y$ , y una única variable explicativa  $X$ ; permitiendo estimar o predecir el valor de la variable de respuesta a partir de un valor dado a la variable explicativa.

La variable respuesta o dependiente son los  $kg/h$  de sulfato de aluminio que caen de acuerdo a las revoluciones a las que gira el tornillo sin fin, siendo la variable explicativa o independiente las RPM del tornillo.

*Siendo:*

$Y$  = Cantidad de  $Al_2(SO_4)_3$  por unidad de tiempo ( $kg/h$ )

$m$  = pendiente

$X$  = velocidad de giro o índice ( $rpm$ )

$b$  = corte

A partir de esta ecuación se procedió a ejecutar un programa o simulador en Excel y la tabla Índice vs. Caudal para la dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$ , el cual es una alternativa de dosificación en caso de que existan fallas con el modo automático del equipo o algún otro desperfecto. Esto se realizó para los cuatro dosificadores de sulfato de aluminio que cuenta la planta de tratamiento de agua potable Tixán.

### **3.1.3 Polímero o polielectrolito PRAESTOL 650 TR**

▪ Materiales y reactivos:

Materiales

- Cápsulas de porcelana
- Balanza analítica PMA.QUALITY, Modelo CNTRIS8201-1S
- Toallas limpiadoras desechables

Reactivos

- Polielectrolito PRAESTOL 650 TR

▪ Procedimiento:

Para realizar la determinación de datos cuantitativos para el dosificador de Poli electrólito se realizó en el equipo POLYPACK MILTON ROY; la toma de muestra del polímero se realiza dependiendo al índice que trabaja el equipo, debido a que el índice nos indica un



determinado número de revoluciones que gira el tornillo dosificador sin fin lo que permite dosificar mayor o menor cantidad de reactivo; pudiendo ir desde el índice 1 hasta el 9. Para este experimento se trabajó con el tablero principal denominado = 00 + TC-Do - CONTROL PLC DOSIFICACIÓN QUÍMICOS y además con el tablero eléctrico propio del equipo, en éstos podemos encontrar un selector para poner el equipo en modo manual, pudiendo así modificar el índice de manera manual.

- *Toma de muestras:*
  - a. Pesar y etiquetar las cápsulas previamente lavadas y secadas, registrar los datos.
  - b. Colocar los selectores en modo Manual y el índice en el dígito requerido, se trabajó con los índices impares desde el 1 hasta el 9 para el equipo # 1 y del índice 1 al 3 para el equipo # 2.
  - c. Posterior a ello, se colocó la cápsula de porcelana al final del tornillo sin fin donde cae el polímero para así obtener los pesos dependiendo a los tiempos de llenado y espera programados y el índice seleccionado, es decir, para cada índice viene dado un tiempo de llenado y un tiempo de espera en segundos, el tiempo de llenado representa los segundos que tarda en caer el producto químico a través del tornillo y el tiempo de espera indica el intervalo en segundos para que vuelva a caer el polímero.
  - d. Se pesó la cápsula por cada índice estudiado y se registró los datos obtenidos.
  - e. Este proceso se realizó por triplicado para cada índice estudiado.

*Nota: En la PTAP Tixán se dispone de 2 equipos dosificadores de polielectrolito, por ello este procedimiento se realizó para cada uno; los tiempos de espera y llenado vienen dados de fábrica pero de igual manera se comprobó dichos tiempos.*

*Tabla 2. Tiempos de espera y llenado del dosificador de polímero # 1*

<b>Índice</b>	<b>Tiempo Llenado (s)</b>	<b>Tiempo Espera(s)</b>	<b>Tiempo Total (s)</b>
1	3,75	195	198,75
	3,75	195	198,75
	4,08	196	200,08
3	9,59	190	199,59
	9,98	190	199,98
	9,48	190	199,48
5	7,01	92	99,01



	7,52	92	99,52
	7,98	92	99,98
7	11,99	87	98,99
	11,98	87	98,98
	11,96	87	98,96
9	15,16	84	99,16
	15,23	84	99,23
	15,06	84	99,06

Fuente: Autor

Tabla 3. Tiempo de espera y llenado del dosificador de polímero # 2

<b>Índice</b>	<b>Tiempo Llenado (s)</b>	<b>Tiempo Espera(s)</b>	<b>Tiempo Total (s)</b>
1	1,2	198	199,2
	2,03	198	200,03
	2,03	198	200,03
2	3,23	300	303,23
	3,06	300	303,06
	3,06	300	303,06
	3,06	300	303,06
3	4	290	294
	4	290	294
	4	290	294
	4	290	294
	4	290	294

Fuente: Autor

- Datos a registrar:
  - ✓ Numero designado en la etiqueta a cada capsula (N° Cáp).
  - ✓ Índice que se está trabajando (N° Rev).
  - ✓ Tiempo de recolección de químico en el tornillo sin fin en segundos.
  - ✓ Peso de la capsula limpia y seca (Peso Cáp).
  - ✓ Peso de la capsula más el polímero (Peso Cáp + polímero).

- Fórmulas y Cálculos:

- Cálculo del peso de Polielectrolito

$$Peso_{Pol} = Peso_{Cáp+Pol} - Peso_{Cáp} = g \text{ Polielectrolito}$$

- Cálculo de g/s Polielectrolito

Realizar un promedio de los 3 pesos obtenidos para cada índice y dividir para el tiempo total (s):

$$\frac{g}{s} = \frac{Peso_{prom}}{Tiempo \ Total}$$



Para la conversión de  $g/s$  a  $kg/h$

$$\frac{kg}{h} = \frac{g}{s} * 3,6$$

- Generar una tabla con los datos recolectados y graficar para obtener una ecuación lineal, la misma que representará la dosificación de este producto químico.
- Ajuste de datos experimentales a un modelo estadístico que permite obtener la ecuación que representa la dosificación de Polielectrolito PRAESTOL 650 TR con el equipo.

Una vez realizada la representación gráfica de los datos cuantitativos se procedió a realizar el respectivo ajuste, donde se estableció que el modelo que cumple la distribución bidimensional de los datos es el modelo de regresión lineal.

La ecuación que cumple este modelo es  $Y = mX + b$ , donde  $Y$  son los valores correspondientes al eje vertical,  $b$  es la ordenada al origen,  $m$  es la pendiente, y  $X$  son los valores correspondientes al eje horizontal.

La igualdad indica la relación que existe entre la variable respuesta  $Y$ , y una única variable explicativa  $X$ ; permitiendo estimar o predecir el valor de la variable de respuesta a partir de un valor dado a la variable explicativa.

La variable respuesta o dependiente son los  $kg/h$  de polielectrolito PRAESTOL 650 TR que caen de acuerdo a las revoluciones a las que gira el tornillo sin fin, siendo la variable explicativa o independiente las RPM del tornillo.

Siendo:

$Y$  = Cantidad de polielectrolito PRAESTOL 650 TR por unidad de tiempo ( $kg/h$ )

$m$  = pendiente

$X$  = velocidad de giro o índice ( $rpm$ )

$b$  = corte

A partir de esta ecuación se procedió a ejecutar un programa o simulador en Excel y la tabla Índice vs. Caudal para la dosificación de polielectrolito, PRAESTOL 650 TR, el cual es una alternativa de dosificación en caso de que existan fallas con el modo automático del equipo



o algún otro desperfecto. Esto se realizó para los dos dosificadores de polielectrolito que cuenta la planta de tratamiento de agua potable Tixán.

- Modelo lineal que permite obtener la dosificación de polielectrolito con respecto a la RPM de la bomba del equipo.

Para obtener el modelo lineal se procedió a realizar un aforo de la bomba correspondiente al módulo II, el cual consiste en obtener una tabla del siguiente formato:

<b>RPM</b>	<b>l/min</b>	<b>l/s</b>
450	10	
640	15	
900	20	
1100	25	
1325	30	
1500	35	
1700	40	

Con la ayuda del tablero principal denominado = 00 + TC-Do - CONTROL PLC DOSIFICACIÓN QUÍMICOS, se ingresó cada una de las RPM y en la línea de distribución de polímero se fue comprobando que el caudal del polímero a dosificar (LPM) sea el correspondiente a cada uno de los valores citados en la tabla anterior. La ecuación que cumple este modelo es:

$$Y = mX + b$$

Donde Y son los valores correspondientes al eje vertical, b es la ordenada al origen, m es la pendiente, y X son los valores correspondientes al eje horizontal. La variable dependiente son los l/s de polielectrolito que va a ser dosificado hacia el proceso de acuerdo al índice estudiado, siendo la variable independiente las RPM de la bomba empleada.

Siendo:

Y= Caudal de polielectrolito (l/s)

m= pendiente

X = velocidad de giro de la bomba (rpm)

b = corte



A partir de esta ecuación y en conjunto con la ecuación lineal obtenida a partir del caudal de ingreso de agua, se procedió a ejecutar un programa o simulador en Excel y la tabla Índice vs. Caudal para la dosificación del polímero de forma manual en caso de que existan fallas con el modo automático. Esto se realizó para los dos dosificadores de polielectrolito que cuenta la planta de tratamiento de agua potable Tixán.

### 3.1.4 Cloro gas

El equipo dosificador de cloro gas depende del caudal de ingreso de agua cruda y de la concentración de cloro gas, por lo cual, se realizó cálculos respectivos para obtener una gráfica Caudal (l/s) Vs Cloro gas (kg/h), el estudio se llevó a cabo con un caudal entre el rango de [150-2000] l/s y con concentraciones de:

<b>Concentración</b>	1,7	1,8	1,9	2,0	<b>ppm o mg/l</b>
----------------------	-----	-----	-----	-----	-------------------

▪ Formulas y Cálculos:

- *Cálculo de mg/s cloro gas por cada concentración*

$$\frac{mg}{s} = Caudal * Concentración = \frac{l}{s} * \frac{mg}{l}$$

El caudal va desde 150 sumando 50 unidades por cada multiplicación hasta llegar al 2000, esto se hizo para cada concentración obteniendo una tabla.

Para pasar de mg/s a kg/h

$$\frac{kg}{h} = \frac{mg}{s} * 0,0036$$

- Generar una tabla de datos como se indica a continuación y graficar.

<b>kg/h [1,7]</b>	<b>kg/h [1,8]</b>	<b>kg/h [1,9]</b>	<b>kg/h [2,0]</b>	<b>Caudal (l/s)</b>
<b>X<sub>1</sub></b>	<b>X<sub>2</sub></b>	<b>X<sub>3</sub></b>	<b>X<sub>4</sub></b>	<b>Y</b>
				150
				200
				250
				.
				.
				2000





### 3.2 Evaluación del proceso

Para realizar la evaluación del proceso de dosificación de químicos se aplicaron 3 características:

- a.** Formación de los flóculos: tamaño, uniformidad y velocidad de aparición.
- b.** Calidad de sobrenadante: si se presenta turbio, semiturbio, transparente, turbiedad y color.
- c.** Calidad del producto final: se realizó pruebas de color, turbiedad y cloro residual.

Los resultados obtenidos fueron analizados y tabulados relacionando las condiciones iniciales y finales de la turbiedad, color, concentración de manganeso y cloro residual con la dosificación de los químicos.

## Capítulo IV

### 4. Análisis de resultados

#### 4.1 Datos cuantitativos para los diferentes químicos usados en el tratamiento de potabilización de agua en PTAP Tixán en base a los nuevos equipos dosificadores

La potabilización del agua es un proceso controlado que se obtiene como producto final agua potable, para ello se emplea un tipo de tratamiento convencional que contiene una gran infraestructura, así como equipos dosificadores de los productos químicos para cada etapa del tratamiento, por ello es necesario realizar el aforo volumétrico y másico de dichos dosificadores.

##### 4.1.1 Equipo dosificador de permanganato de potasio

Se realizaron 36 experimentaciones considerando un tiempo de 30 segundos cuyos resultados obtenidos se indican en la *Tabla 4* y corresponde al peso de  $KMnO_4$  que cae del tornillo sin fin con respecto al tiempo, esta cantidad de químico que cae depende directamente de las revoluciones del motor del tornillo.

*Tabla 4. Pesos de  $KMnO_4$  con respecto al tiempo*

N° Cápsula	N° Rev (RPM)	Peso Cápsula (g)	Peso Cáp + $KMnO_4$ (g)	Peso $KMnO_4$ (g)	Peso promedio $KMnO_4$ (g)	Caudal (g/s)
1	7	46,5	50,5	4	4,2	0,14
2		45,9	50,4	4,5		
3		46,4	50,5	4,1		
1	10	48	53,8	5,8	6,06	0,20
2		45	51	6		
3		45,9	52,3	6,4		
1	15	46,7	58,1	11,4	10,77	0,36
2		46,5	58	11,5		
3		47,50	56,9	9,4		
1	20	46,7	61,2	14,5	14,53	0,48
2		47	62	15		
3		46,3	60,4	14,1		
1	25	48,4	66,1	17,7	18,6	0,62
2		46,2	65,4	19,2		
3		46,9	65,8	18,9		
1	30	48,4	70,3	21,9	21,9	0,73
2		46,7	68,6	21,9		
3		46	67,9	21,9		
1	35	46,4	70,6	24,2	26,2	0,87



2		45,2	72,2	27		
3		48,1	75,5	27,4		
1	40	46,6	77,3	30,7	30,1	1,0
2		48,5	78,4	29,9		
3		45,4	75,1	29,7		
1	45	45,4	82,7	37,3	34,03	1,13
2		48,8	80,1	31,3		
3		46,3	79,8	33,5		
1	50	47,1	85,4	38,3	37,83	1,26
2		47,3	83,1	35,8		
3		48,6	88	39,4		
1	55	48,1	91,7	43,6	42,93	1,43
2		45,7	90,2	44,5		
3		46,9	87,6	40,7		
1	60	46,9	93,2	46,3	45,96	1,53
2		46,3	92,5	46,2		
3		46	91,4	45,4		

Fuente: Autor

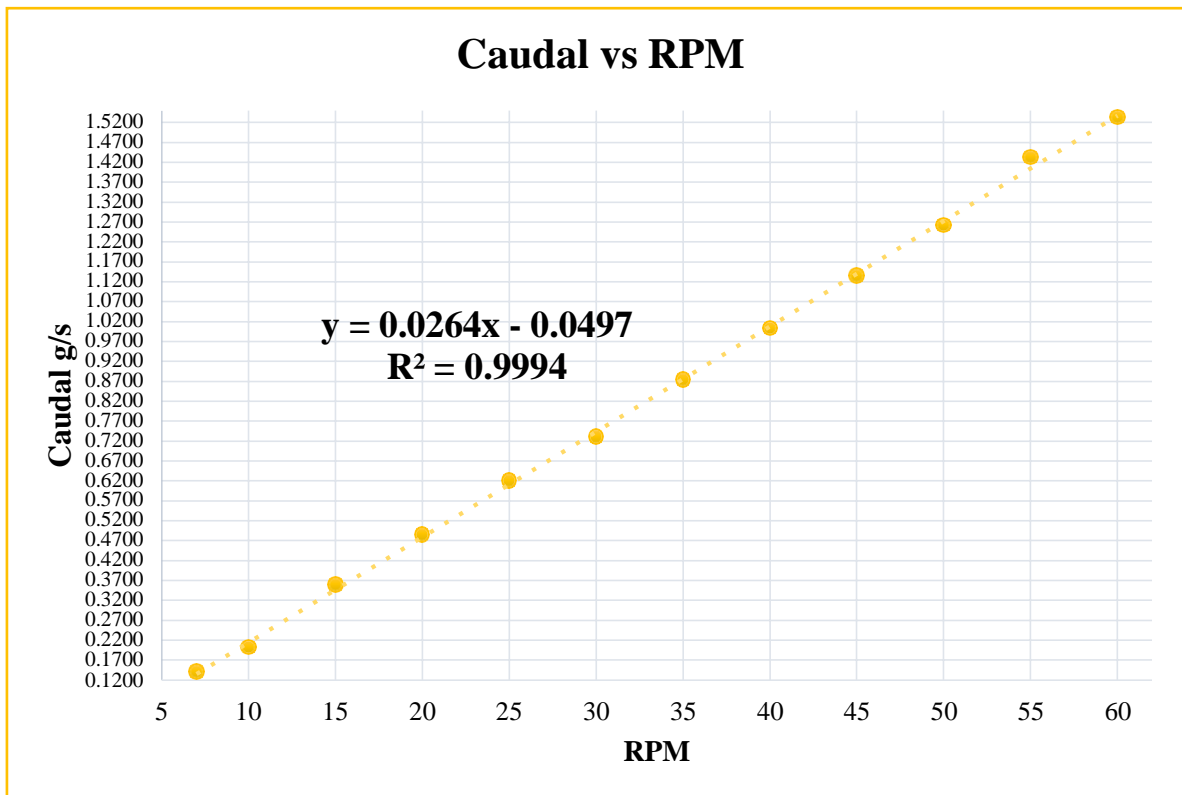
Posteriormente, se establece una tabla 5, en donde se presenta los datos para generar la gráfica con la que se determina el modelo lineal. La tabla contiene las RPM que representan la velocidad de giro del tornillo y la variable g/s indica cuantos gramos de Permanganato de potasio caen en el tanque de mezcal por segundo. Estas dos variables permiten obtener un modelo lineal  $Y = mx + b$ , siendo Y la variable dependiente, es decir, mientras aumente la velocidad de giro del tornillo (*variable independiente*), mayor es la cantidad de permanganato de potasio a caer.

Tabla 5. Datos para graficar g/s KMnO4 vs RPM

<b>RPM</b>	<b>g/s</b>
<b>X</b>	<b>Y</b>
7	0,14
10	0,20
15	0,36
20	0,48
25	0,62
30	0,73
35	0,87
40	1,00
45	1,13
50	1,26

55	1,43
60	1,53

Fuente: Autor

Gráfico 1. Modelo lineal para el equipo dosificador de  $KMnO_4$ 

Fuente: Autor

Se obtiene la ecuación  $y = 0,0264x - 0,0497$  con un  $R^2 = 0,9994$  para la dosificación de  $KMnO_4$  con el equipo Volumetric Dry Chemical Feeders – Modelo ACRISON W105. Esta ecuación nos permite realizar un simulador en la herramienta informática Excel (*Ilustración 44*) y además, una tabla para trabajar de manera manual (*Anexo 1*).

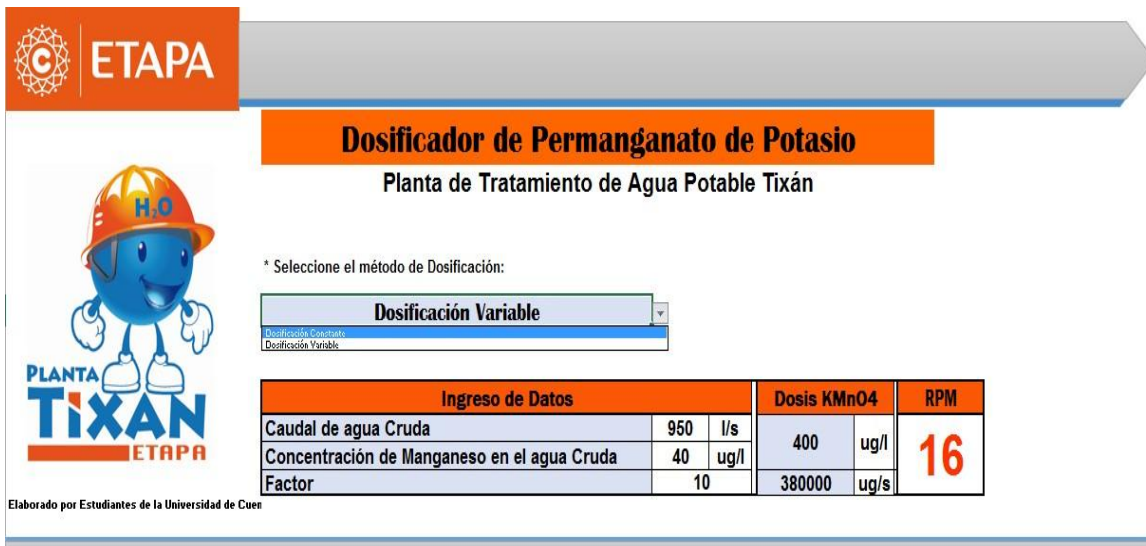


Figura 44. Simulador para dosificador de permanganato de potasio – Constante/Variable

Fuente: Autor

La variable de respuesta (RPM) se obtiene a partir de la ecuación  $Y = mX + b$  obtenida anteriormente, donde  $Y$  corresponde a los g/s de permanganato de potasio que caen directo al tanque de mezcla y  $X$  representa las RPM de tornillo sin fin, por ello se realizó el despeje de dicha variable para calcular el valor que debe ser ingresado en el equipo dosificador para dejar caer la cantidad necesaria de permanganato de potasio y así obtener la dosis adecuada del producto químico en ug/l.

#### 4.1.2 Equipos dosificadores de sulfato de aluminio

A continuación, se muestra los aforos realizados a los cuatro equipos dosificadores de sulfato de aluminio, en el cual se visualiza tablas de datos experimentales y calculados. Además, las gráficas generadas a partir de dichos datos.

##### 4.1.2.1 Equipo dosificador # 1

Para esta experimentación se tomó 69 muestras, debido a que cada índice se realizó por triplicado posteriormente generando un promedio de estos. Dichos resultados obtenidos se indican en la *Tabla 6* y corresponde al peso de  $Al_2(SO_4)_3$  que cae del tornillo sin fin con respecto al tiempo, el cual depende directamente del índice ingresado y del tiempo de llenado específico del equipo.



Tabla 6. Datos experimentales del equipo dosificador # 1 con respecto al tiempo

<b>Índice</b>	<b>Peso(g)</b>	<b>Tiempo llenado (s)</b>	<b>Tiempo Espera(s)</b>	<b>Tiempo Total (s)</b>	<b>Caudal (g/s)</b>	<b>Caudal prom (g/s)</b>
1	200,3	4	196	200	1,002	1,003
	201,9	4	196	200	1,010	
	199,7	4	196	200	0,999	
2	301,4	6	194	200	1,507	1,499
	299,7	6	194	200	1,499	
	298,1	6	194	200	1,491	
3	500,7	10	190	200	2,504	2,503
	501,9	10	190	200	2,510	
	499,1	10	190	200	2,496	
4	355,2	7	93	100	3,552	3,538
	344,1	7	93	100	3,441	
	362,2	7	93	100	3,622	
5	400,3	8	92	100	4,003	3,992
	397,6	8	92	100	3,976	
	399,7	8	92	100	3,997	
6	503,6	10	90	100	5,036	5,018
	498,8	10	90	100	4,988	
	503,0	10	90	100	5,030	
7	599,9	12	88	100	5,999	5,991
	598,6	12	88	100	5,986	
	598,7	12	88	100	5,987	
8	656,5	13	87	100	6,565	6,511
	651,2	13	87	100	6,512	
	645,5	13	87	100	6,455	
9	754,9	15	85	100	7,549	7,535
	751,2	15	85	100	7,512	
	754,3	15	85	100	7,543	
10	848,6	17	83	100	8,486	8,512
	852,9	17	83	100	8,529	
	852,0	17	83	100	8,520	
11	903	18	82	100	9,030	9,022
	903,1	18	82	100	9,031	
	900,4	18	82	100	9,004	
12	1002,7	20	80	100	10,027	10,043
	1002,6	20	80	100	10,026	
	1007,5	20	80	100	10,075	
13	1101,8	22	78	100	11,018	11,014
	1099,1	22	78	100	10,991	



	1103,3	22	78	100	11,033	
14	1134,5	23	77	100	11,345	11,476
	1155,4	23	77	100	11,554	
	1152,8	23	77	100	11,528	
15	1238,1	25	75	100	12,381	12,464
	1260,6	25	75	100	12,606	
	1240,4	25	75	100	12,404	
16	1338,4	27	73	100	13,384	13,407
	1349,9	27	73	100	13,499	
	1333,9	27	73	100	13,339	
17	1400,8	28	72	100	14,008	13,971
	1397,4	28	72	100	13,974	
	1393,2	28	72	100	13,932	
18	1500,2	30	70	100	15,002	14,903
	1488,7	30	70	100	14,887	
	1481,9	30	70	100	14,819	
19	1584,2	32	68	100	15,842	15,906
	1583,8	32	68	100	15,838	
	1603,9	32	68	100	16,039	
20	1635	33	67	100	16,350	16,379
	1640,2	33	67	100	16,402	
	1638,4	33	67	100	16,384	
21	1732	35	65	100	17,320	17,329
	1737,5	35	65	100	17,375	
	1729,1	35	65	100	17,291	
22	1819,9	37	63	100	18,199	18,258
	1832,3	37	63	100	18,323	
	1825,3	37	63	100	18,253	
23	1915,5	38	62	100	19,155	19,210
	1925,6	38	62	100	19,256	
	1921,8	38	62	100	19,218	

Fuente: Autor

Adicional, se realizó la verificación de los tiempos de llenado y espera que se visualizan en la *Tabla 6*, es decir, se corroboró que el tiempo establecido en la tabla es el mismo tiempo durante la dosificación, ya que la suma de dichos tiempos es necesaria para calcular el caudal en g/s que posteriormente será convertido en kg/h.

A continuación, en la *Tabla 7*, se presenta los datos para generar el gráfico lineal Caudal (kg/h) vs Índice con el que se determina el modelo lineal.



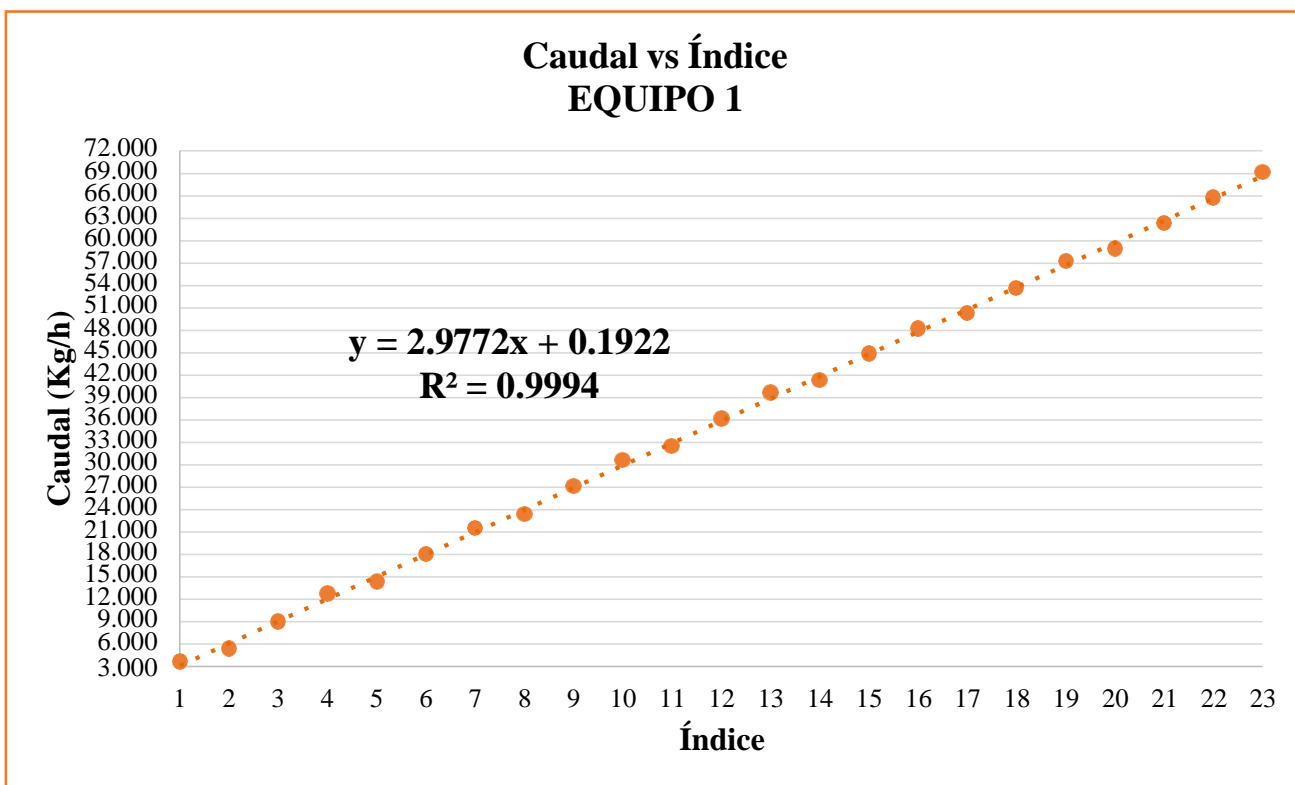


Tabla 7. Datos para graficar Caudal (kg/h) vs. Índice

X	Y
Índice	Caudal (kg/h)
1	3,611
2	5,395
3	9,010
4	12,738
5	14,371
6	18,065
7	21,566
8	23,438
9	27,125
10	30,642
11	32,478
12	36,154
13	39,650
14	41,312
15	44,869
16	48,266
17	50,297
18	53,650
19	57,263
20	58,963
21	62,383
22	65,730
23	69,155

Fuente: Autor

Gráfico 2. Modelo lineal para el equipo dosificador # 1 de  $Al_2(SO_4)_3$



Fuente: Autor

Se establece la ecuación  $y = 2,9772x + 0,1922$  con un  $R^2 = 0,9994$ . Además, se elaboró una tabla de dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$  de forma manual (Anexo 2).

#### 4.1.2.2 Equipo dosificador # 2

Se realizó la experimentación con índices impares desde el 1 hasta el 23. Cada índice se hizo por triplicado, dando un total de 36 muestras de  $Al_2(SO_4)_3$ . Además, la tabla adjunta presenta los tiempos de llenado y espera específicos del equipo, los cuales son indispensables para obtener el caudal en g/s para cada muestra o peso de  $Al_2(SO_4)_3$ , finalmente obteniendo un caudal promedio que permita generar el gráfico lineal.

Tabla 8. Datos experimentales del equipo dosificador # 2

Índice	Peso(g)	Tiempo llenado (s)	Tiempo Espera(s)	Tiempo Total (s)	Caudal (g/s)	Caudal (g/s)
1	340,80	4	196	200	1,704	1,710
	351,50	4	196	200	1,758	
	333,70	4	196	200	1,669	
3	730,50	10	190	200	3,653	3,6487
	723,60	10	190	200	3,618	
	735,10	10	190	200	3,676	



5	696,80	8	92	100	6,968	6,903
	682,90	8	92	100	6,829	
	691,30	8	92	100	6,913	
7	891,90	12	88	100	8,919	8,863
	884,45	12	88	100	8,845	
	882,65	12	88	100	8,827	
9	1087,00	15	85	100	10,870	10,823
	1086,00	15	85	100	10,860	
	1074,00	15	85	100	10,740	
11	1328,33	18	82	100	13,283	13,224
	1330,33	18	82	100	13,303	
	1308,67	18	82	100	13,087	
13	1569,67	22	78	100	15,697	15,626
	1574,67	22	78	100	15,747	
	1543,33	22	78	100	15,433	
15	1811,00	25	75	100	18,110	18,027
	1819,00	25	75	100	18,190	
	1778,00	25	75	100	17,780	
17	2052,33	28	72	100	20,523	20,428
	2063,33	28	72	100	20,633	
	2012,67	28	72	100	20,127	
19	2293,67	32	68	100	22,937	22,829
	2307,67	32	68	100	23,077	
	2247,33	32	68	100	22,473	
21	2535,00	35	65	100	25,350	25,230
	2552,00	35	65	100	25,520	
	2482,00	35	65	100	24,820	
23	2776,33	38	62	100	27,763	27,631
	2796,33	38	62	100	27,963	
	2716,67	38	62	100	27,167	

Fuente: Autor

A continuación, en la *Tabla 9*, se presenta los datos para generar el gráfico lineal Caudal (kg/h) vs Índice con el que se determina el modelo lineal.

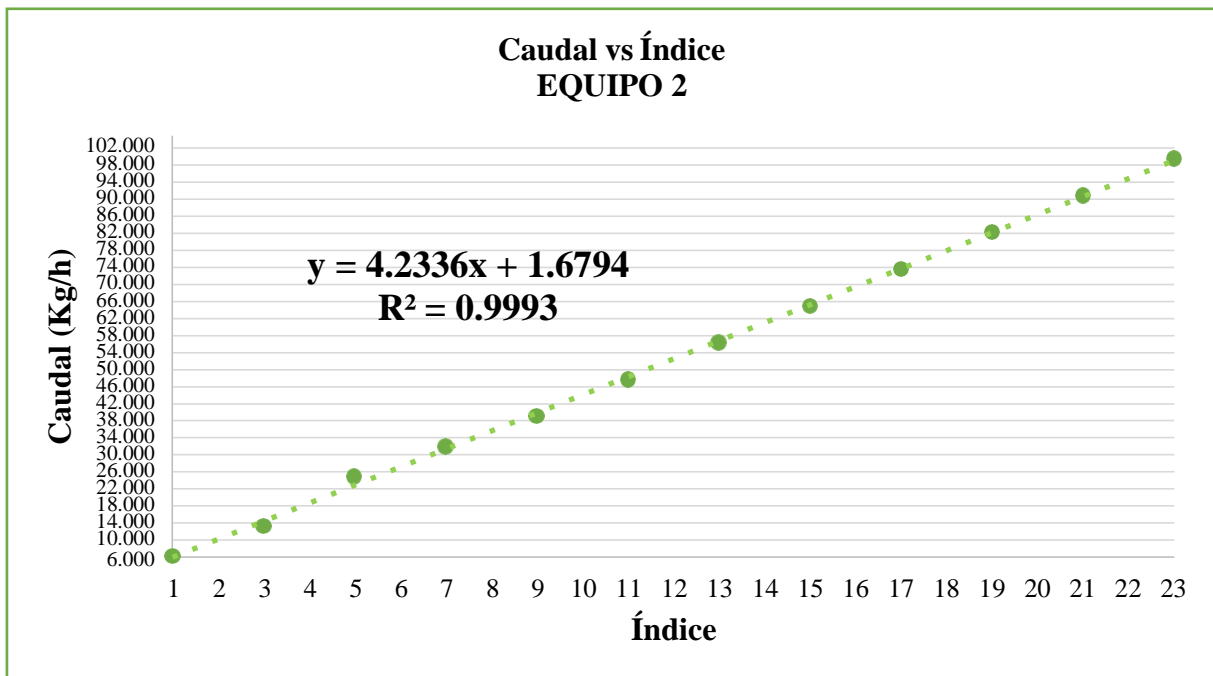
*Tabla 9. Datos para graficar Caudal (kg/h) vs. Índice*

X	Y
Índice	Caudal (kg/h)
1	6,156
3	13,135
5	24,852

7	31,908
9	38,964
11	47,608
13	56,252
15	64,896
17	73,540
19	82,184
21	90,828
23	99,472

Fuente: Autor

Gráfico 3. Modelo lineal del equipo dosificador # 2 de  $Al_2(SO_4)_3$



Fuente: Autor

Se establece la ecuación  $y = 4,2336x + 1,6794$  con un  $R^2 = 0,9993$ . Además, se elaboró una tabla de dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$  de forma manual (Anexo 3).

#### 4.1.2.3 Equipo dosificador # 3

Los datos expuestos en la *Tabla 10* son valores de los pesos tomados de cada índice impar a partir del 1 hasta el 23. Al igual que en los equipos anteriores, se tienen los tiempos de llenado y espera para cada índice, dando un tiempo total que nos permite obtener cuantos gramos de  $Al_2(SO_4)_3$  cae del tornillo sin fin en un tiempo total de 200 s, es decir, el caudal



de  $Al_2(SO_4)_3$ . Dicho caudal (g/s) se promedia debido a que el muestreo se hizo por triplicado para cada índice.

Tabla 10. Datos experimentales del equipo dosificador # 3

Índice	Peso(g)	Tiempo llenado (s)	Tiempo Espera(s)	Tiempo Total (s)	Caudal (g/s)	Caudal (g/s)
1	196,1	4	196	200	0,981	0,968
	191,8	4	196	200	0,959	
	192,9	4	196	200	0,965	
3	484,3	10	190	200	2,422	2,399
	479,9	10	190	200	2,400	
	474,9	10	190	200	2,375	
5	388,7	8	92	100	3,887	3,860
	382,7	8	92	100	3,827	
	386,6	8	92	100	3,866	
7	570,6	12	88	100	5,706	5,698
	568,7	12	88	100	5,687	
	570	12	88	100	5,700	
9	717	15	85	100	7,170	7,151
	716	15	85	100	7,160	
	712,4	15	85	100	7,124	
11	864,1	18	82	100	8,641	8,580
	854,8	18	82	100	8,548	
	855,1	18	82	100	8,551	
13	1044,8	22	78	100	10,448	10,495
	1059,2	22	78	100	10,592	
	1044,4	22	78	100	10,444	
15	1194,6	25	75	100	11,946	11,920
	1183,6	25	75	100	11,836	
	1197,7	25	75	100	11,977	
17	1351,5	28	72	100	13,515	13,507
	1355,6	28	72	100	13,556	
	1345,1	28	72	100	13,451	
19	1537	32	68	100	15,370	15,477
	1560,1	32	68	100	15,601	
	1545,9	32	68	100	15,459	
21	1705,9	35	65	100	17,059	17,055
	1707	35	65	100	17,070	
	1703,5	35	65	100	17,035	
23	1857,5	38	62	100	18,575	18,560
	1849,7	38	62	100	18,497	

	1860,7	38	62	100	18,607	
--	--------	----	----	-----	--------	--

Fuente: Autor

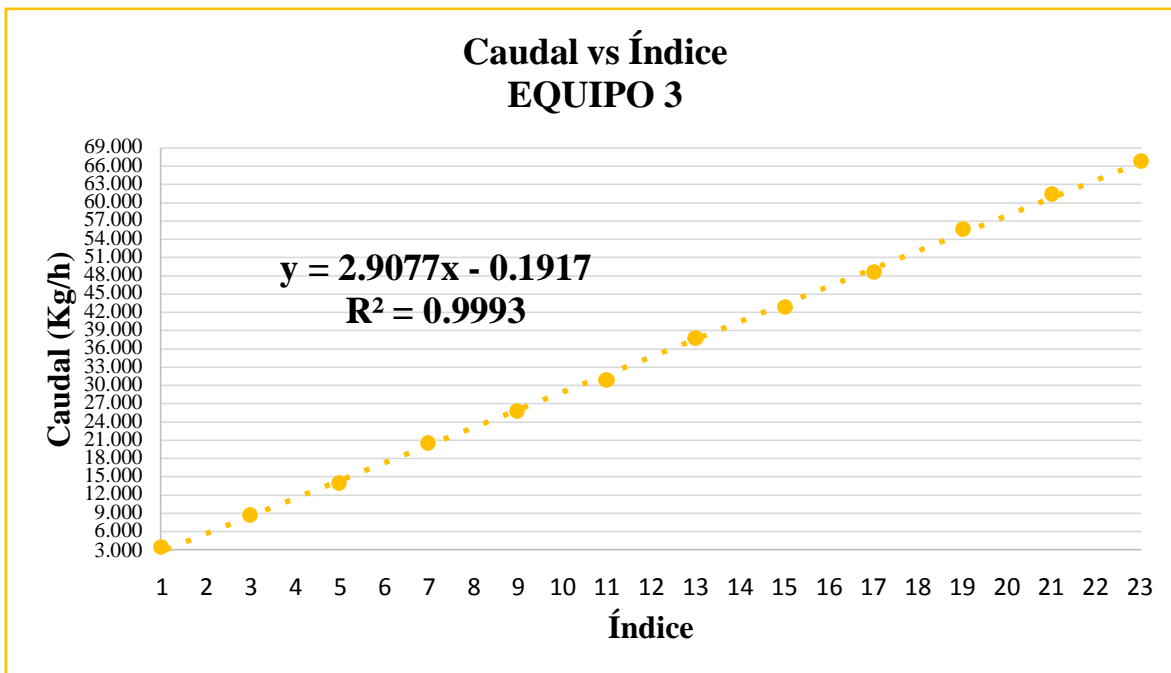
A continuación, se presenta la *Tabla 11* con los valores a ser graficados para obtener el modelo lineal para el equipo dosificador # 3.

*Tabla 11. Datos para graficar Caudal (kg/h) vs. Índice*

X	Y
Índice	Caudal (kg/h)
1	3,485
3	8,635
5	13,896
7	20,512
9	25,745
11	30,888
13	37,781
15	42,911
17	48,626
19	55,716
21	61,397
23	66,815

Fuente: Autor

*Gráfico 4. Modelo lineal del equipo dosificador # 3 de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>*



Fuente: Autor



Finalmente, se establece el modelo lineal  $y = 2,9077x - 0,1917$  con un  $R^2 = 0,9993$  de acuerdo al gráfico 4. Adicional, se elaboró una tabla de dosificación de sulfato de aluminio de forma manual (Anexo 4).

#### 4.1.2.4 Equipo dosificador # 4

En la Tabla 12 se encuentran los datos de la toma de muestras de  $Al_2(SO_4)_3$ , al igual se realizó por triplicado cada índice. Luego de ello con el tiempo, se obtiene el caudal en g/s, mismo que es necesario para realizar el gráfico que nos brinda la ecuación del modelo lineal de dicho equipo dosificador.

Tabla 12. Datos experimentales del equipo dosificador # 4

Índice	Peso(g)	Tiempo llenado (s)	Tiempo Espera(s)	Tiempo Total (s)	Caudal (g/s)	Caudal (g/s)
1	219,3	4	196	200	1,097	1,059
	209,7	4	196	200	1,049	
	206,2	4	196	200	1,031	
3	520,5	10	190	200	2,603	2,598
	523,5	10	190	200	2,618	
	514,5	10	190	200	2,573	
5	412,1	8	92	100	4,121	4,182
	417,3	8	92	100	4,173	
	425,1	8	92	100	4,251	
7	623,7	12	88	100	6,237	6,216
	620,3	12	88	100	6,203	
	620,8	12	88	100	6,208	
9	778,2	15	85	100	7,782	7,769
	767,8	15	85	100	7,678	
	784,8	15	85	100	7,848	
11	932,1	18	82	100	9,321	9,340
	930,3	18	82	100	9,303	
	939,6	18	82	100	9,396	
13	1138,4	22	78	100	11,384	11,388
	1143	22	78	100	11,430	
	1135,1	22	78	100	11,351	
15	1295,3	25	75	100	12,953	12,914
	1290,9	25	75	100	12,909	
	1288,1	25	75	100	12,881	
17	1441,2	28	72	100	14,412	14,408
	1444,1	28	72	100	14,441	





	1437	28	72	100	14,370	
19	1648,1	32	68	100	16,481	16,509
	1665,7	32	68	100	16,657	
	1639,0	32	68	100	16,390	
21	1804,4	35	65	100	18,044	18,016
	1788,1	35	65	100	17,881	
	1812,3	35	65	100	18,123	
23	1962,6	38	62	100	19,626	19,566
	1954,2	38	62	100	19,542	
	1953	38	62	100	19,530	

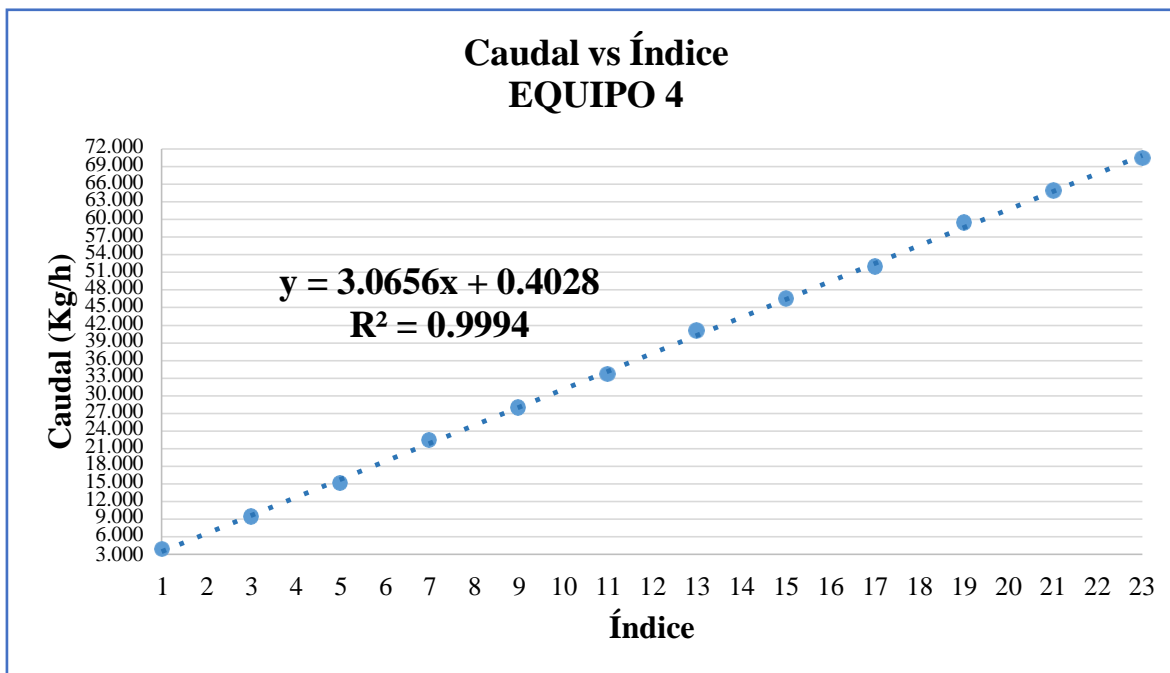
Fuente: Autor

Los datos presentados en la *Tabla 13*, permiten realizar el gráfico para la obtención del modelo lineal para el equipo dosificador # 4.

*Tabla 13. Datos para graficar Caudal (kg/h) vs. Índice*

<b>X</b>	<b>Y</b>
<b>Índice</b>	<b>Caudal (kg/h)</b>
1	3,811
3	9,351
5	15,054
7	22,378
9	27,970
11	33,624
13	40,998
15	46,492
17	51,868
19	59,434
21	64,858
23	70,438

Fuente: Autor

Gráfico 5. Modelo lineal del equipo dosificador # 4 de  $Al_2(SO_4)_3$ 

Fuente: Autor

El gráfico 5 permite visualizar el modelo lineal obtenido a partir de los datos experimentales de pesos en relación del tiempo, así como del caudal calculado en kg/h (Tabla 13), dando como resultado la ecuación  $y = 3,0656x + 0,4028$  con un  $R^2 = 0,9994$ , la misma que permite el desarrollo de un simulador en una hoja de cálculo de Excel para la respectiva dosificación. También se elaboró una tabla de dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$  de forma manual (Anexo 5).

Las ecuaciones lineales obtenidas para cada equipo dosificador indican que los datos experimentales están bien cercanos de la línea de regresión ya que todos los modelos lineales cuentan con un  $R^2$  superior a 0.999, es decir, mientras mayor sea la varianza explicada por el modelo de regresión (99.9%), menor será la distancia entre los datos experimentales con los datos de la línea de regresión, por ende, mejor será el ajuste del modelo.

#### 4.1.2.5 Simuladores en Microsoft Excel

Posterior a la obtención de los modelos lineales para los equipos dosificadores, se procedió a desarrollar un programa simulador en una hoja de cálculo de Excel para facilitar la dosificación de  $Al_2(SO_4)_3$ . Para ello se realizaron 3 simuladores debido a que éstos

dependen de los datos a ingresar. Para la ejecución de los simuladores se utilizó datos como dosis óptima, caudal, turbiedad, índice.

Para el caso de simuladores Turbiedad – Índice y Dosis – Índice la variable de respuesta es el *índice*, el cual es determinado mediante un despeje de la variable  $X$  de las 4 ecuaciones obtenidas en los modelos lineales ya que va en función del equipo dosificador a emplear. Se realiza el despeje de la variable  $X$  debido a que ésta indica la cantidad de sulfato de aluminio que va a caer al tanque de mezcla a través del tornillo sin fin y con ello preparar la solución con la concentración necesaria de sulfato de aluminio para el proceso.

#### 4.1.2.5.1 Simulador Turbiedad - Índice

En el respectivo simulador, se pide seleccionar el equipo con el cual se va a trabajar debido a que son 4 equipos dosificadores para  $Al_2(SO_4)_3$ , seguido se ingresan datos como caudal de agua a tratar y la turbiedad para obtener el índice que se debería ingresar en el equipo para que permita caer la cantidad necesaria de sulfato de aluminio a través del tornillo sin fin y se prepare la solución adecuada a dosificar al proceso.



Figura 45. Simulador en función del caudal y la turbiedad de agua cruda

Fuente: Autor

#### 4.1.2.5.2 Simulador Dosis - Índice

Se pide seleccionar el equipo con el cual se va a trabajar, seguido se ingresan datos como caudal de agua a tratar y la dosis conocida de  $Al_2(SO_4)_3$  (mg/l) para obtener el índice que se debería ingresar en el equipo para que dosifique la cantidad necesaria de la solución de sulfato de aluminio al proceso.

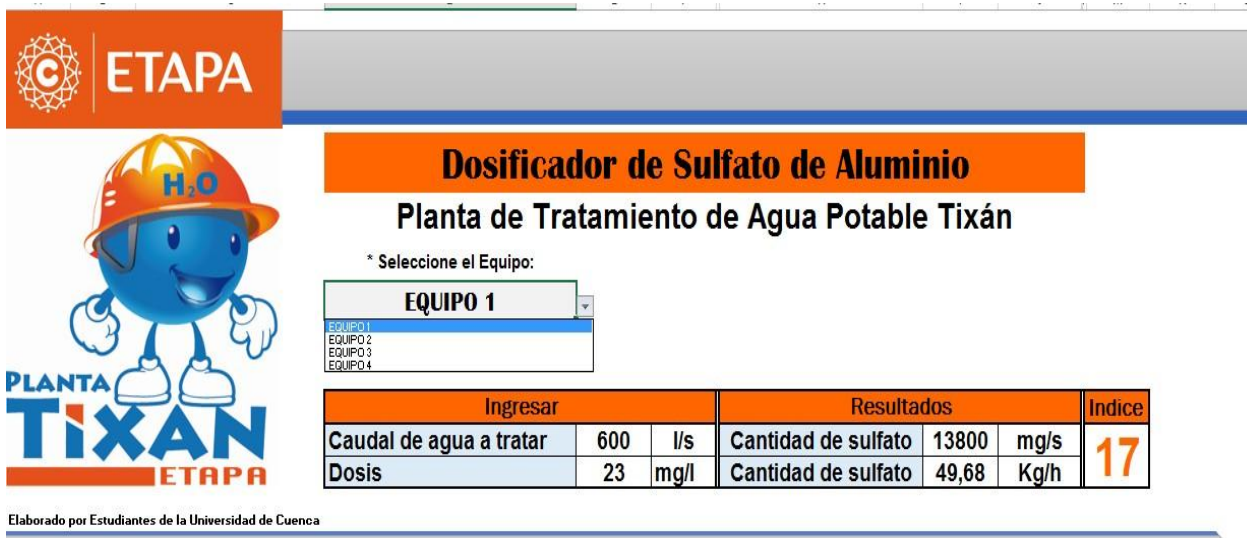


Figura 46. Simulador en función del caudal de agua cruda y la dosis conocida de  $Al_2(SO_4)_3$

Fuente: Autor

#### 4.1.2.5.3 Simulador Índice - Dosis

Se pide seleccionar el equipo con el cual se va a trabajar, seguido se ingresan datos como caudal de agua a tratar y el valor del índice para obtener la dosis en mg/l, que representa la cantidad necesaria de la solución de sulfato de aluminio a dosificar al proceso.

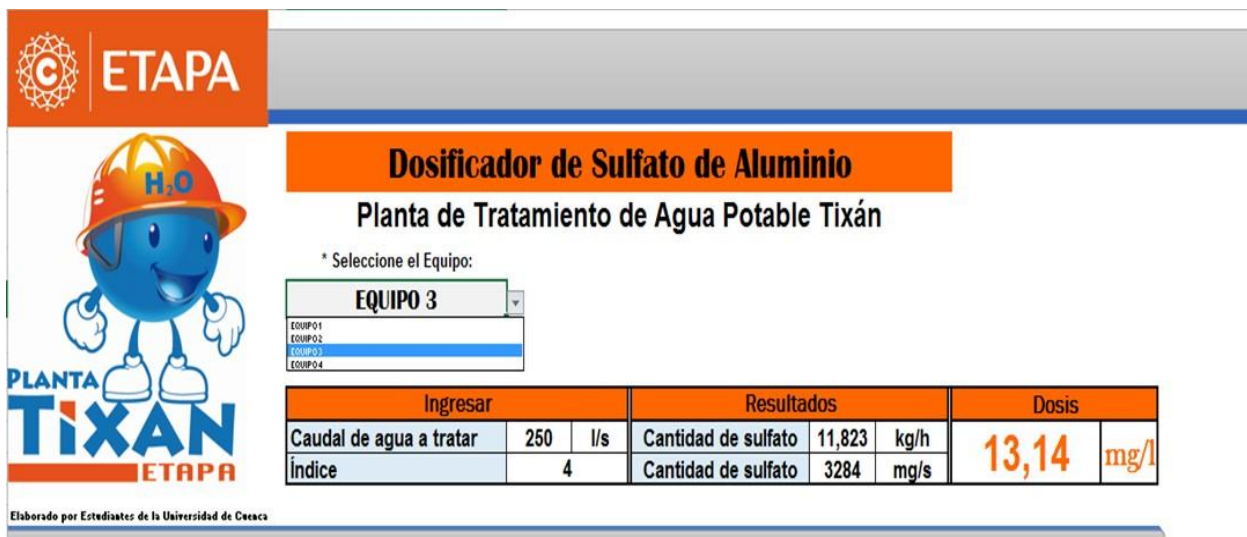


Figura 47. Simulador en función del caudal de agua cruda e índice

Fuente: Autor

#### 4.1.3 Equipo dosificador de poli electrolito

Para la determinación de los datos cuantitativos en el proceso de dosificación de polímero, se efectuó en dos equipos dosificadores existentes y además en la bomba de dosificación de dicho químico.

#### 4.1.3.1 Equipo dosificador # 1

En la *Tabla 14* se observa los datos obtenidos del peso de polímero por índice, esta experimentación se hizo por triplicado en cada índice para luego obtener el caudal en función del tiempo total (s), el cual está compuesto del tiempo de llenado y tiempo de espera. El caudal en g/s se obtiene del cociente entre el peso del polímero en gramos y el tiempo total en segundos, y para poder realizar el gráfico del modelo lineal de este equipo, se realiza el promedio de dicho caudal (g/s) por índice, seguido se convierte a kg/h.

*Tabla 14. Datos experimentales del equipo dosificador # 1*

Índice	Peso(g)	Tiempo llenado (s)	Tiempo Espera (min)	Tiempo Espera (s)	Tiempo Total (s)	Caudal (g/s)	Caudal (g/s)	Caudal (kg/h)
1	31,3	3,75	3,15	195	198,75	0,1575	0,1575	0,567
	31,1	3,75	3,15	195	198,75	0,1565		
	31,7	4,08	3,16	196	200,08	0,1584		
3	77,8	9,59	3,1	190	199,59	0,3898	0,3891	1,401
	77,8	9,98	3,1	190	199,98	0,3890		
	77,5	9,48	3,1	190	199,48	0,3885		
5	62,5	7,01	1,32	92	99,01	0,6312	0,6355	2,288
	63,5	7,52	1,32	92	99,52	0,6381		
	63,7	7,98	1,32	92	99,98	0,6371		
7	91,9	11,99	1,27	87	98,99	0,9284	0,9255	3,332
	91,3	11,98	1,27	87	98,98	0,9224		
	91,6	11,96	1,27	87	98,96	0,9256		
9	112	15,16	1,24	84	99,16	1,1295	1,1296	4,067
	112	15,23	1,24	84	99,23	1,1287		
	112	15,06	1,24	84	99,06	1,1306		

Fuente: Autor

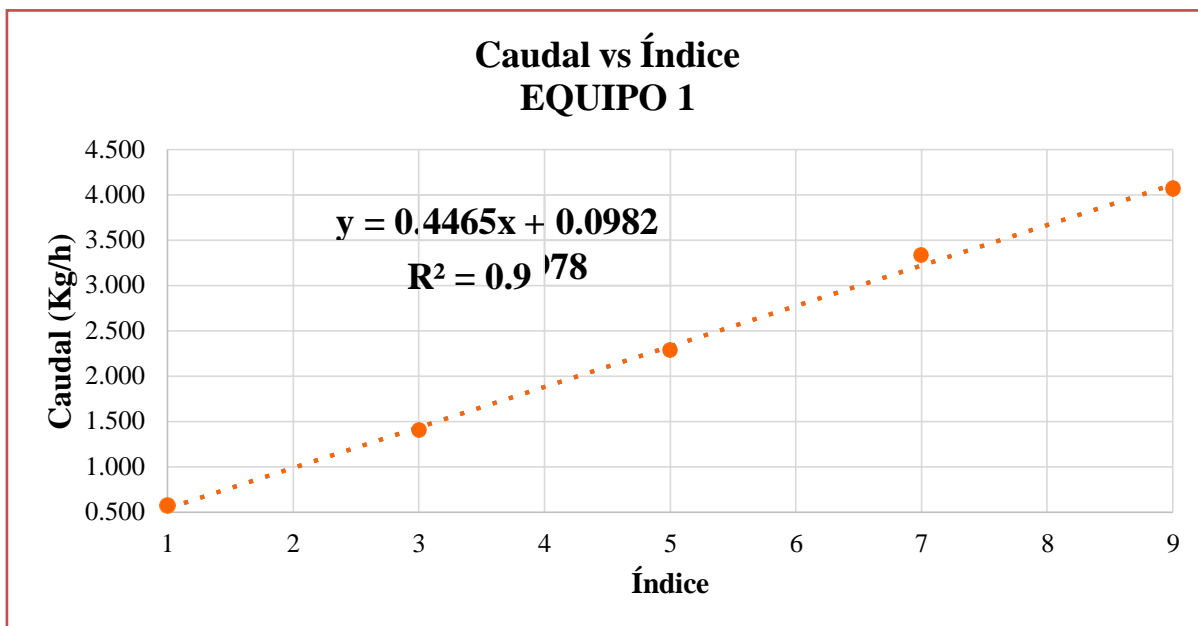
A continuación, en la *Tabla 15* se presentan los datos finales a graficar para la obtención del modelo lineal de dicho equipo.

*Tabla 15. Datos para el gráfico Caudal (kg/h) vs Índice*

X	Y
Índice	Caudal (kg/h)
1	0,567
3	1,401
5	2,288
7	3,332
9	4,067

Fuente: Autor

Gráfico 6. Modelo lineal del equipo dosificador de polímero # 1



Fuente: Autor

La ecuación que cumple el modelo lineal del equipo dosificador # 1 es  $y = 0,4465x + 0,0982$  con un  $R^2 = 0,9978$ , la cual es imprescindible para el desarrollo del simulador y por ende para facilitar la respectiva dosificación de dicho producto químico. Así mismo se elaboró una tabla de dosificación de forma manual (Anexo 6).

#### 4.1.3.2 Equipo dosificador # 2

En la *Tabla 16* se visualiza los pesos, tiempo de espera, tiempo de llenado y caudal, siendo el último calculado a partir de cada peso en gramos y del tiempo total en segundos para cada índice por triplicado. Debido a que el gráfico para el modelo lineal emplea el caudal en kg/h, es necesario realizar la conversión de unidades en dicha variable, y anterior a ello se realiza el respectivo promedio de estos valores resultando un caudal por índice.

Tabla 16. Datos experimentales para el equipo dosificador # 2

Índice	Peso(g)	Tiempo llenado (s)	Tiempo Espera (min)	Tiempo Espera(s)	Tiempo Total (s)	Caudal (g/s)	Caudal (g/s)	Caudal (Kg/h)
1	25	1,2	3,18	198	199,2	0,126	0,1277	0,460
	26	2,03	3,17	198	200,03	0,130		
	25	2,03	3,17	198	200,03	0,125		
2	71	3,23	5	300	303,23	0,234	0,2260	0,814
	66	3,06	5	300	303,06	0,218		
	71	3,06	5	300	303,06	0,234		



	66	3,06	5	300	303,06	0,218		
3	91	4	4,5	290	294	0,310	0,3082	1,109
	90	4	4,5	290	294	0,306		
	90	4	4,5	290	294	0,306		
	91	4	4,5	290	294	0,310		
	91	4	4,5	290	294	0,310		

Fuente: Autor

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior del caudal promedio por cada índice, se presenta la *Tabla 17* con los datos finales para generar el gráfico del modelo lineal.

*Tabla 17. Datos para graficar Caudal (kg/h) vs Índice*

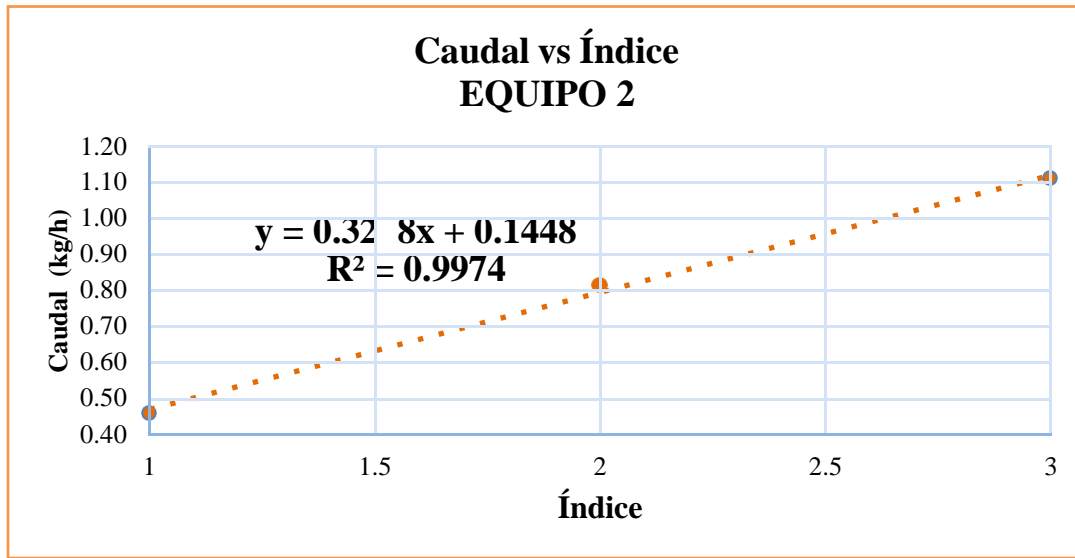
Índice	Caudal (kg/h)
1	0,46
2	0,81
3	1,11

Fuente: Autor

A continuación, se expone el gráfico donde se establece la variación del caudal en función del índice a trabajar. La ecuación que cumple el modelo lineal para el equipo dosificador # 2 es  $y = 0,3246x + 0,1448$  con un  $R^2 = 0,9974$ . Dicha ecuación es específica para este equipo al igual que las ecuaciones anteriores también son específicamente para cada equipo no pueden ser empleadas en otros y por tal razón, es importante el ingreso correcto de éstas al momento de desarrollar el simulador para cada producto químico. También se elaboró una tabla de dosificación de polímero de forma manual (*Anexo 7*).



Gráfico 7. Modelo lineal del equipo dosificador de polímero #2



Fuente: Autor

#### 4.1.3.3 Bomba de los equipos dosificadores

Adicional a la toma de los pesos de polielectrolito en función del índice, fue necesario realizar el aforo de la bomba dosificadora de polímero con respecto a los RPM y el caudal. Dichos resultados se pueden observar en la *Tabla 18*, los mismos que permiten realizar el gráfico lineal y obtener una última ecuación para el desarrollo del respectivo simulador.

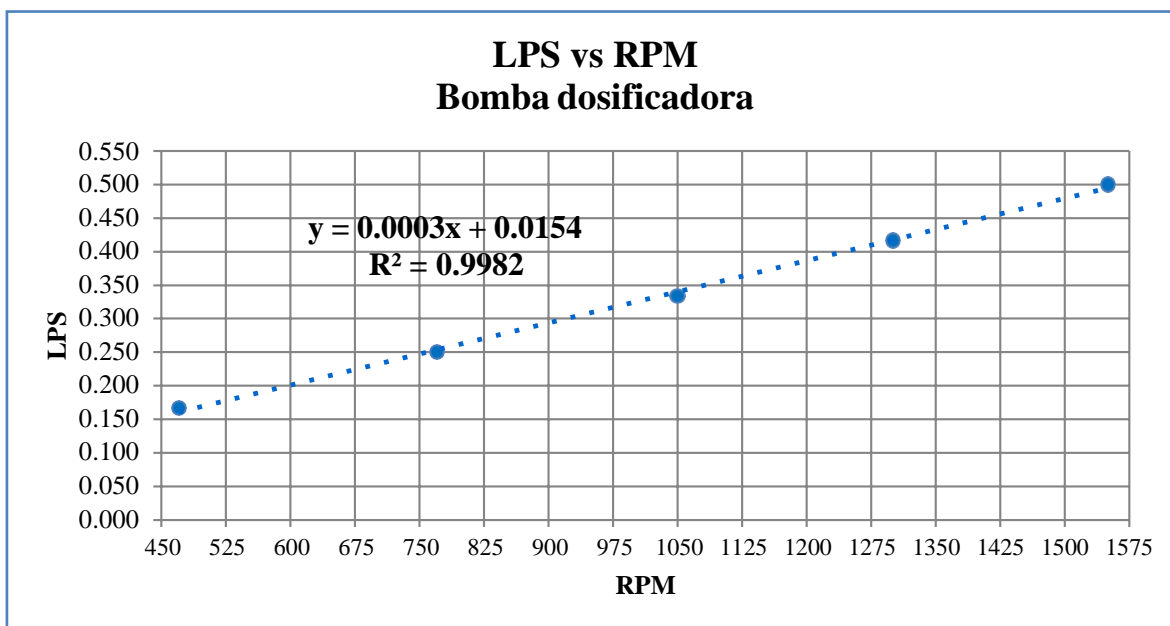
Tabla 18. Datos experimentales de la bomba de dosificación de polímero

RPM	LPM	LPS
470	10	0,167
770	15	0,250
1050	20	0,333
1300	25	0,417
1550	30	0,500

Fuente: Autor

En el *Gráfico 8*, se visualiza la variación de los litros por segundo de la solución de polímero en función de la velocidad de la bomba (RPM), es decir, el caudal de la solución de polímero que se dosifica al proceso en Planta. El modelo que se ajusta a los datos experimentales presenta la ecuación  $y = 0,0003x + 0,0154$  con un  $R^2 = 0,9982$ .

Gráfico 8. Modelo lineal de la bomba dosificadora de la solución de polímero



Fuente: Autor

#### 4.1.3.4 Simuladores de la dosificación de polímero en Microsoft Excel

Los simuladores presentados a continuación, abarcan los 3 modelos obtenidos anteriormente, es decir, contienen las 3 ecuaciones específicas de cada equipo dosificador y de la bomba dosificadora, por ende se pide primeramente ingresar el equipo con el que se va a trabajar ya que el resultado a visualizar en el simulador está relacionado directamente con ello, a más de otras variables como caudal de agua cruda a tratar, dosis establecida de polímero, índice y velocidad de la bomba. Se elaboraron dos simuladores que se exponen a continuación, el primero se formula a partir del despeje de la variable  $X$  ( $RPM$ ) de la ecuación lineal de la bomba dosificadora.

4.1.3.4.1 Simulador Dosis - RPM

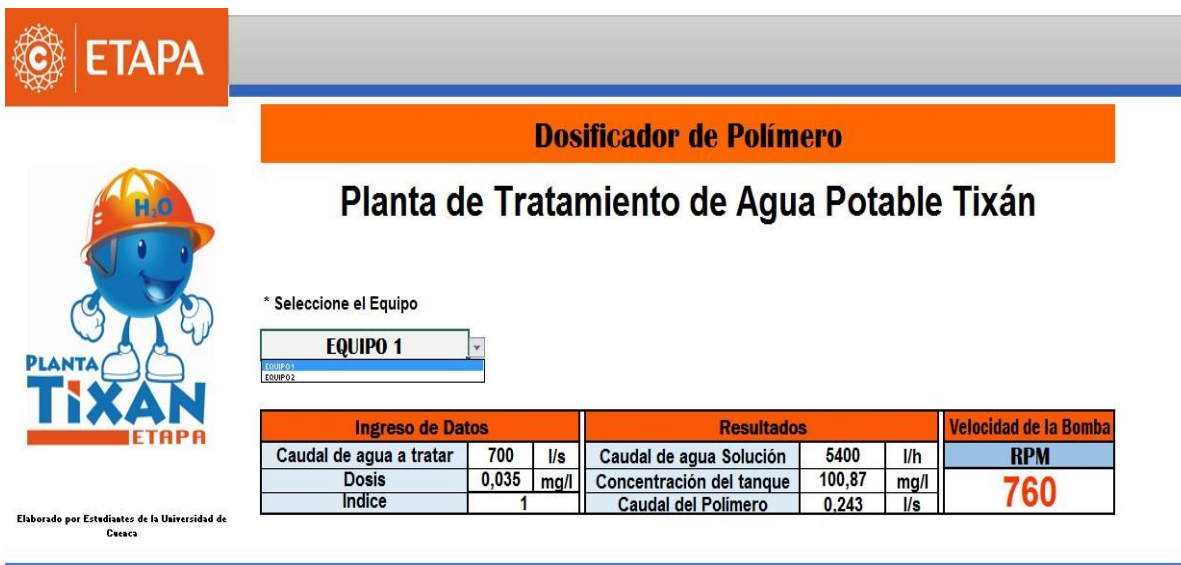


Figura 48. Simulador en función del caudal de agua cruda, dosis e índice

Fuente: Autor

En este dosificador de polímero se obtiene como resultado la velocidad de la bomba en RPM, la cual indica a cuantas revoluciones por minuto debe trabajar la bomba para lograr una dosificación correcta. Este resultado es útil para ingresar directamente en el tablero de control de dosificación de químicos y el equipo prepare la solución de polímero con la concentración adecuada.

4.1.3.4.2 Simulador RPM - Dosis

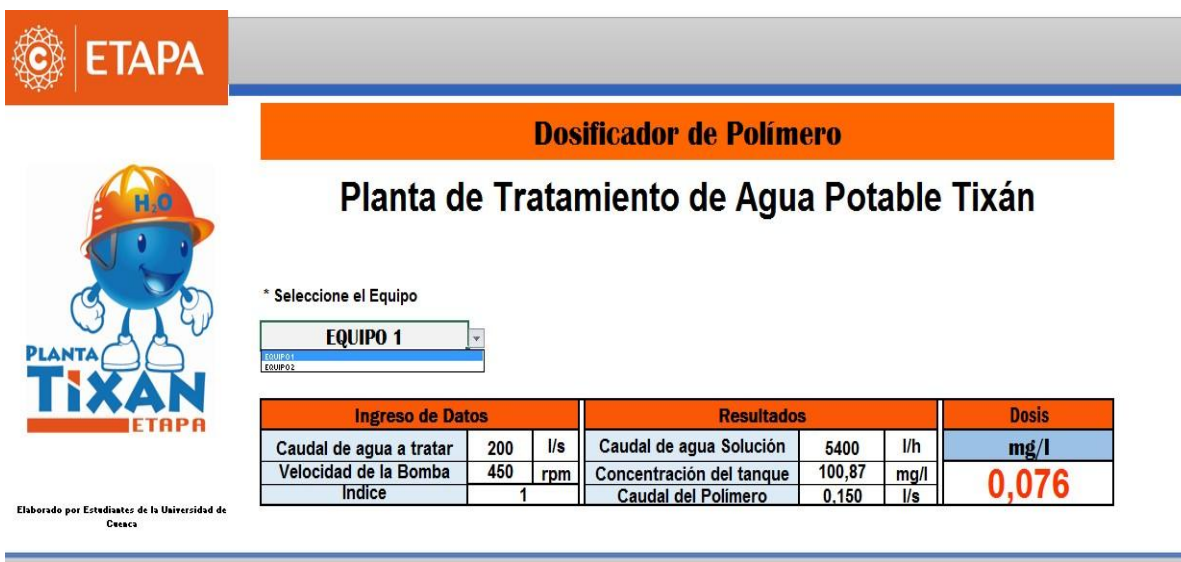


Figura 49. Simulador en función del caudal de agua cruda, velocidad de la bomba e índice

Fuente: Autor

Este dosificador permite obtener como resultado la dosis de polímero en mg/l que se dosifica al proceso en Planta, para ello se presenta una formulación entre el caudal de agua a tratar, la concentración de polímero que se tiene en el tanque de mezcla, la misma que depende del índice y del caudal del agua constante para preparar la solución; y entre el caudal del producto químico que va dirigido al proceso, el cual va en función de la velocidad de la bomba, que es un dato a ingresar al igual que el índice.

#### 4.1.4 Equipo dosificador de cloro

El equipo dosificador de cloro gas depende del caudal de ingreso de agua cruda y de la concentración de cloro gas, para lo cual se realizó cálculos respectivos que se visualizan en la *Tabla 19* y así obtener una gráfica Caudal (l/s) vs Cloro gas (kg/h). Por ello se realizó el estudio con un caudal entre un rango de 150-2000 l/s que se puede visualizar como *Anexo 8* y en la *Ilustración 52* que es una sección de la gráfica obtenida.

Tabla 19. Datos de los cálculos de concentración de cloro gas

Caudal (l/s)	mg/s (1,7)	mg/s (1,8)	mg/s (1,9)	mg/s (2,0)	Kg/h (1,7)	Kg/h (1,8)	Kg/h (1,9)	Kg/h (2,0)
150	255	270	285	300	0,918	0,972	1,026	1,08
200	340	360	380	400	1,224	1,296	1,368	1,44
250	425	450	475	500	1,53	1,62	1,71	1,8
300	510	540	570	600	1,836	1,944	2,052	2,16
350	595	630	665	700	2,142	2,268	2,394	2,52
400	680	720	760	800	2,448	2,592	2,736	2,88
450	765	810	855	900	2,754	2,916	3,078	3,24
500	850	900	950	1000	3,06	3,24	3,42	3,6
550	935	990	1045	1100	3,366	3,564	3,762	3,96
600	1020	1080	1140	1200	3,672	3,888	4,104	4,32
650	1105	1170	1235	1300	3,978	4,212	4,446	4,68
700	1190	1260	1330	1400	4,284	4,536	4,788	5,04
750	1275	1350	1425	1500	4,59	4,86	5,13	5,4
800	1360	1440	1520	1600	4,896	5,184	5,472	5,76
850	1445	1530	1615	1700	5,202	5,508	5,814	6,12
900	1530	1620	1710	1800	5,508	5,832	6,156	6,48
950	1615	1710	1805	1900	5,814	6,156	6,498	6,84
1000	1700	1800	1900	2000	6,12	6,48	6,84	7,2
1050	1785	1890	1995	2100	6,426	6,804	7,182	7,56
1100	1870	1980	2090	2200	6,732	7,128	7,524	7,92
1150	1955	2070	2185	2300	7,038	7,452	7,866	8,28
1200	2040	2160	2280	2400	7,344	7,776	8,208	8,64
1250	2125	2250	2375	2500	7,65	8,1	8,55	9
1300	2210	2340	2470	2600	7,956	8,424	8,892	9,36
1350	2295	2430	2565	2700	8,262	8,748	9,234	9,72
1400	2380	2520	2660	2800	8,568	9,072	9,576	10,08
1450	2465	2610	2755	2900	8,874	9,396	9,918	10,44
1500	2550	2700	2850	3000	9,18	9,72	10,26	10,8
1550	2635	2790	2945	3100	9,486	10,044	10,602	11,16
1600	2720	2880	3040	3200	9,792	10,368	10,944	11,52

1650	2805	2970	3135	3300	10,098	10,692	11,286	11,88
1700	2890	3060	3230	3400	10,404	11,016	11,628	12,24
1750	2975	3150	3325	3500	10,71	11,34	11,97	12,6
1800	3060	3240	3420	3600	11,016	11,664	12,312	12,96
1850	3145	3330	3515	3700	11,322	11,988	12,654	13,32
1900	3230	3420	3610	3800	11,628	12,312	12,996	13,68
1950	3315	3510	3705	3900	11,934	12,636	13,338	14,04
2000	3400	3600	3800	4000	12,24	12,96	13,68	14,4

Fuente: Autor

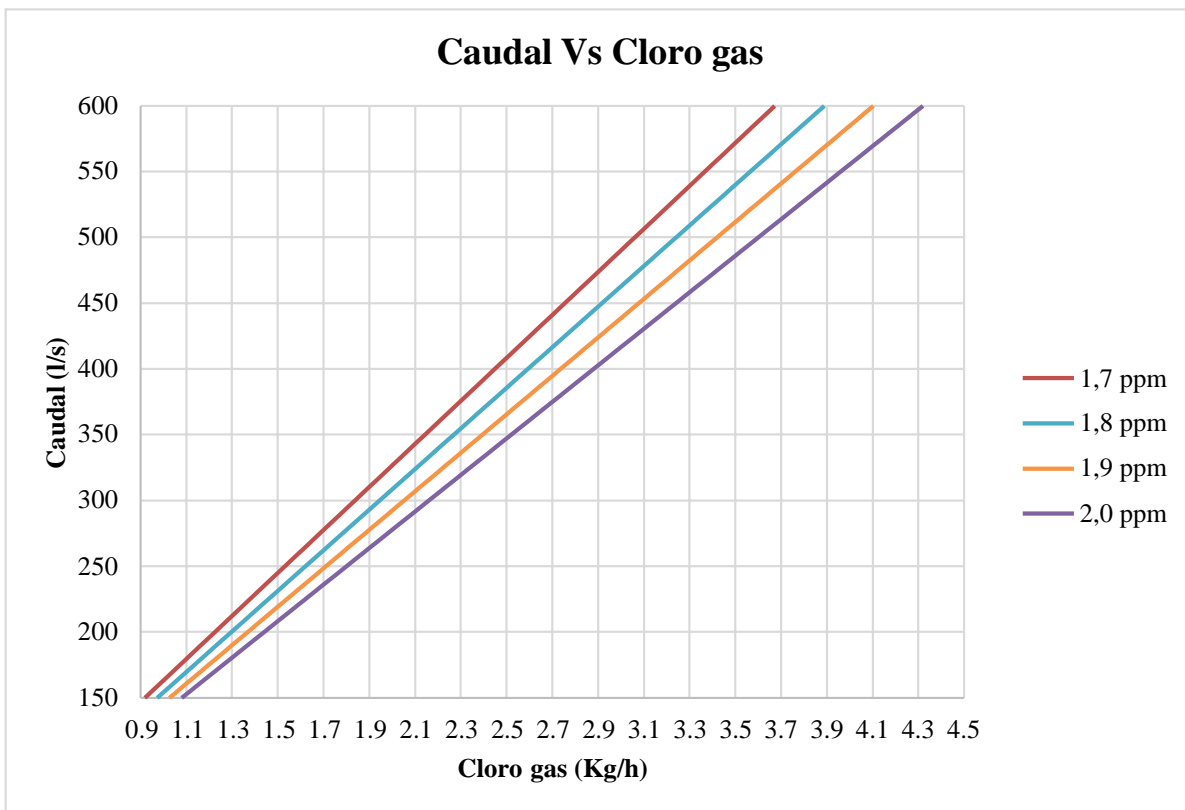


Figura 50. Dosificación de cloro gas reducida el rango del caudal

Fuente: Autor

#### 4.1 Evaluación del proceso

Para la evaluación del proceso de aforos de los equipos dosificadores de químicos se tomó en cuenta características importantes en el tratamiento del agua como es la formación de flóculos, para ello se realizó un control visual de estos flóculos en la etapa de floculación en donde se observó flóculos considerados como buenos ya que se depositan de manera rápida indicando que se está dando una buena dosificación de sulfato de aluminio y de polímero, ayudando en los procesos de coagulación y sedimentación.

Existen distintos puntos de control o muestreo dentro de la planta de tratamiento de agua potable "Tixán", los cuales se pueden observar en la *Tabla 20*.

*Tabla 20. Puntos de muestreo o control*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Control</b>
1	Salida del tanque de oxidación	Turbiedad y color
2	Sedimentadores	Turbiedad
3	Filtros	Turbiedad
A	Ingreso del agua cruda	Turbiedad en línea
B	Tanque 3	Turbiedad, color y cloro residual
C	Tanque 4	Turbiedad, color y cloro residual

Fuente: Autor

Para analizar la calidad del producto final en cuanto a turbiedad, se tomará en cuenta el punto A y C para hacer la comparación de valores iniciales y finales. Además, se compararán con los valores dados por la normativa ecuatoriana INEN 1108 para el agua potable.

#### **4.1.1 Calidad del producto final**

Para conocer la calidad del agua potable que se obtiene al final del proceso se tomaron muestras y se realizó el análisis de control de turbiedad, color y cloro residual. Este control es realizado por los operadores de la planta cada hora para asegurar que todo el proceso se cumpla de la mejor manera ya que cada parámetro debe estar dentro de los límites permitidos por la norma INEN 1108, y posterior a ello, cada control realizado se archiva en una hoja de registro de datos y en el sistema SCADA propio de la planta. También se realizan pruebas de concentración de manganeso que están a cargo del laboratorio de control propio de la planta.

Los datos tabulados que se muestran en las siguientes tablas y gráficas son del mes de febrero, los datos fueron previamente promediados para obtener un dato por día, debido a que diariamente se hacen controles cada hora de la turbiedad, color y cloro residual.

##### **4.1.1.1 Turbiedad**

*Tabla 21. Datos de la turbiedad inicial y final en los puntos A y C respectivamente*

<b>MES</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>	
<i>Febrero</i>		
<b>Día</b>	<b>INICIAL</b>	<b>FINAL</b>



1	1,93	0,25
2	7,34	0,13
3	14,94	0,24
4	5,03	0,18
5	6,28	0,18
6	3,36	0,18
7	5,14	0,15
8	6,20	0,16
9	12,65	0,21
10	7,10	0,19
11	5,40	0,09
12	14,12	0,14
13	6,05	0,12
14	5,26	0,11
15	8,76	0,16
16	5,04	0,22
17	5,60	0,17
18	5,02	0,14
19	7,57	0,13
20	5,79	0,19
21	4,92	0,09
22	45,20	0,29
23	11,79	0,12
24	28,02	0,22
25	9,55	0,13
26	26,88	0,21
27	7,56	0,2
28	7,60	0,19

Fuente: Autor



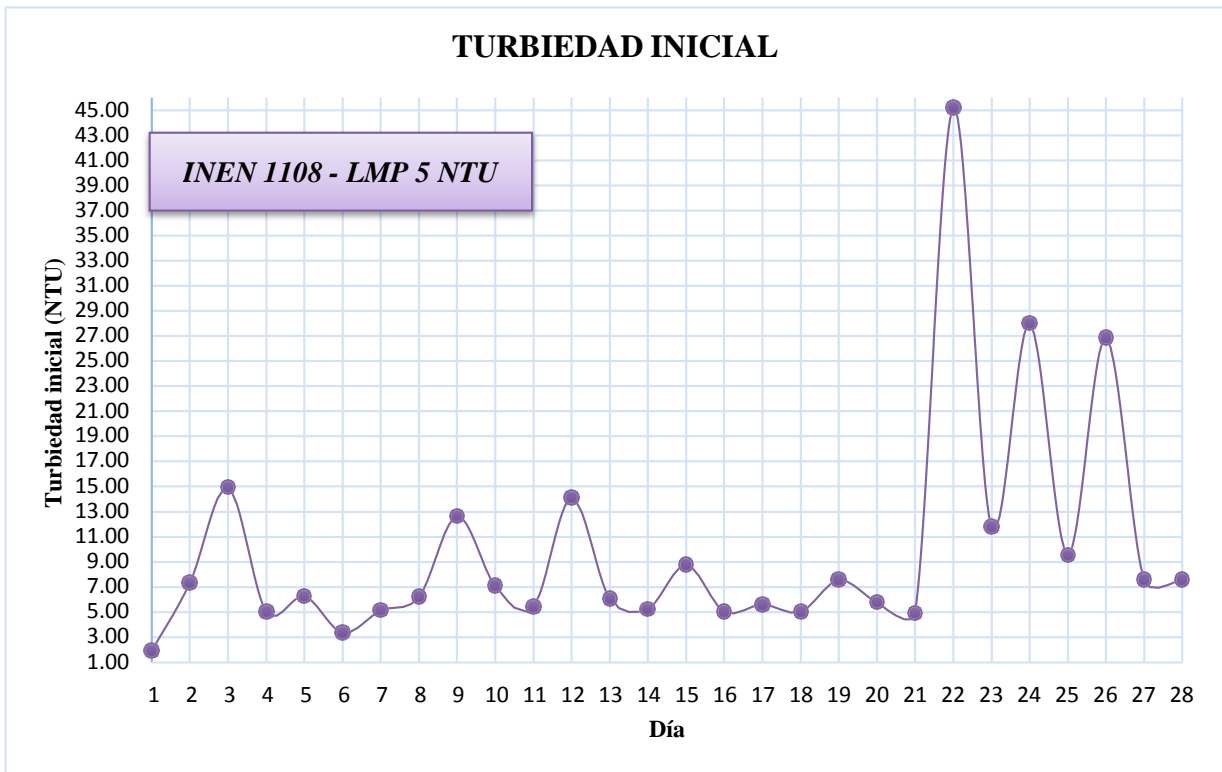


Gráfico 9. Comparación de datos de turbiedad inicial - INEN LMP  
Fuente: Autor

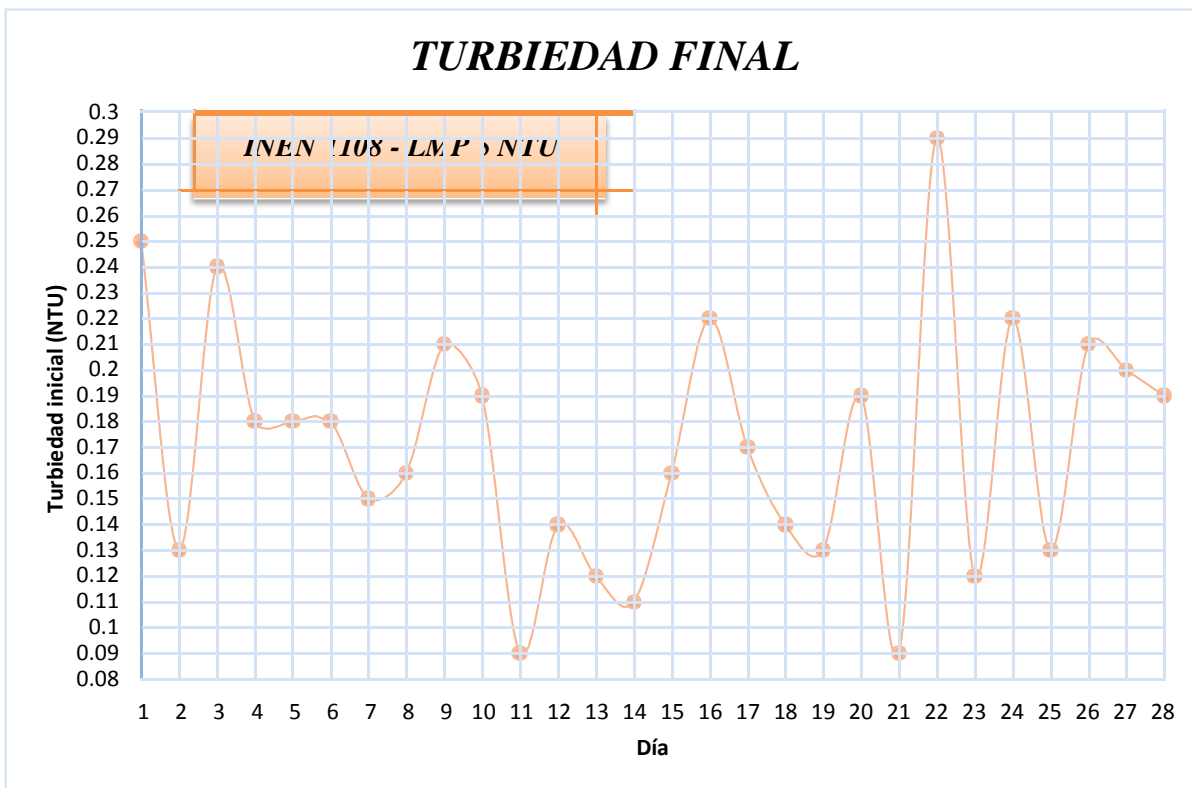


Gráfico 10. Comparación de datos de turbiedad final - INEN LMP  
Fuente: Autor

Los valores obtenidos en los análisis de turbiedad que se muestran en la *Tabla 21* son comparados con el valor máximo permisible dado por la norma ecuatoriana INEN-1108 Agua potable, se puede visualizar en el gráfico de comparación con el límite máximo permisible, que todos los datos están por debajo de este valor, es decir, si existe una reducción de la turbiedad en el agua cruda. Por ende, se da un correcto tratamiento del agua ya que cumple con los estándares de calidad y eso significa que la dosificación de los productos químicos a través de cada simulador es adecuada.

#### 4.1.1.2 Color

Tabla 22. Datos comparativos de color inicial y final – INEN LMP

MES	COLOR (UC)	
	Febrero	
Día	INICIAL	FINAL
1	61	0
2	62	0
3	59	0
4	67	0
5	64	0
6	69	0



7	65	0
8	61	0
9	59	0
10	71	0
11	68	0
12	56	0
13	58	0
14	60	0
15	62	0
16	67	0
17	63	0
18	60	0
19	67	0
20	69	0
21	62	0
22	66	0
23	70	0
24	68	0
25	60	0
26	62	0
27	63	0

Fuente: Autor

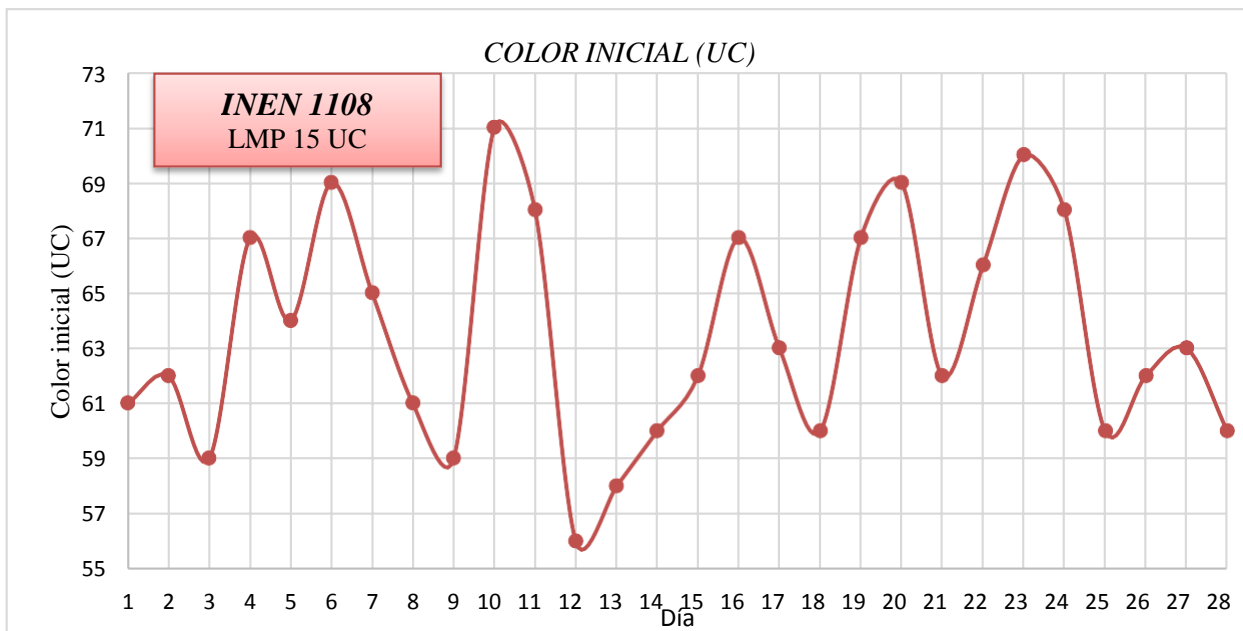


Gráfico 11. Comparación de datos de color inicial - INEN LMP

Fuente: Autor

El valor numérico que se obtiene al realizar el análisis en el agua potable en el tanque de reserva # 4 es de cero, es decir, hubo una eliminación total de las unidades color cumpliendo con los límites establecidos en la norma INEN 1108 donde establece 15 UC



como valor máximo permitido. Los datos mostrados en la tabla 22 corresponde a el color inicial que presenta el agua cruda en el punto de muestro 1.

#### 4.1.1.3 Cloro residual

Tabla 23. Datos de cloro residual en el punto de muestreo 4

MES	CLORO RESIDUAL (mg/l)		
Febrero			
Día	FINAL	Día	FINAL
1	0,81	15	0,95
2	0,80	16	0,91
3	1,1	17	0,85
4	0,93	18	0,99
5	1,02	19	0,96
6	0,94	20	0,94
7	0,84	21	0,89
8	0,79	22	0,93
9	0,89	23	0,91
10	0,92	24	0,86
11	0,81	25	0,98
12	0,91	26	0,97
13	0,82	27	0,85
14	0,85	28	0,99

Fuente: Autor

Los limites dados por la INEN 1108 para el cloro residual van de 0,3 a 1,5 mg/L, éstos al ser comparados con los datos de la *Tabla 23*, se puede visualizar como en el *Gráfico 12* que se encuentran dentro del rango establecido evidenciando que se da una correcta dosificación de cloro gas y por ende un correcto proceso de potabilización de agua cruda.

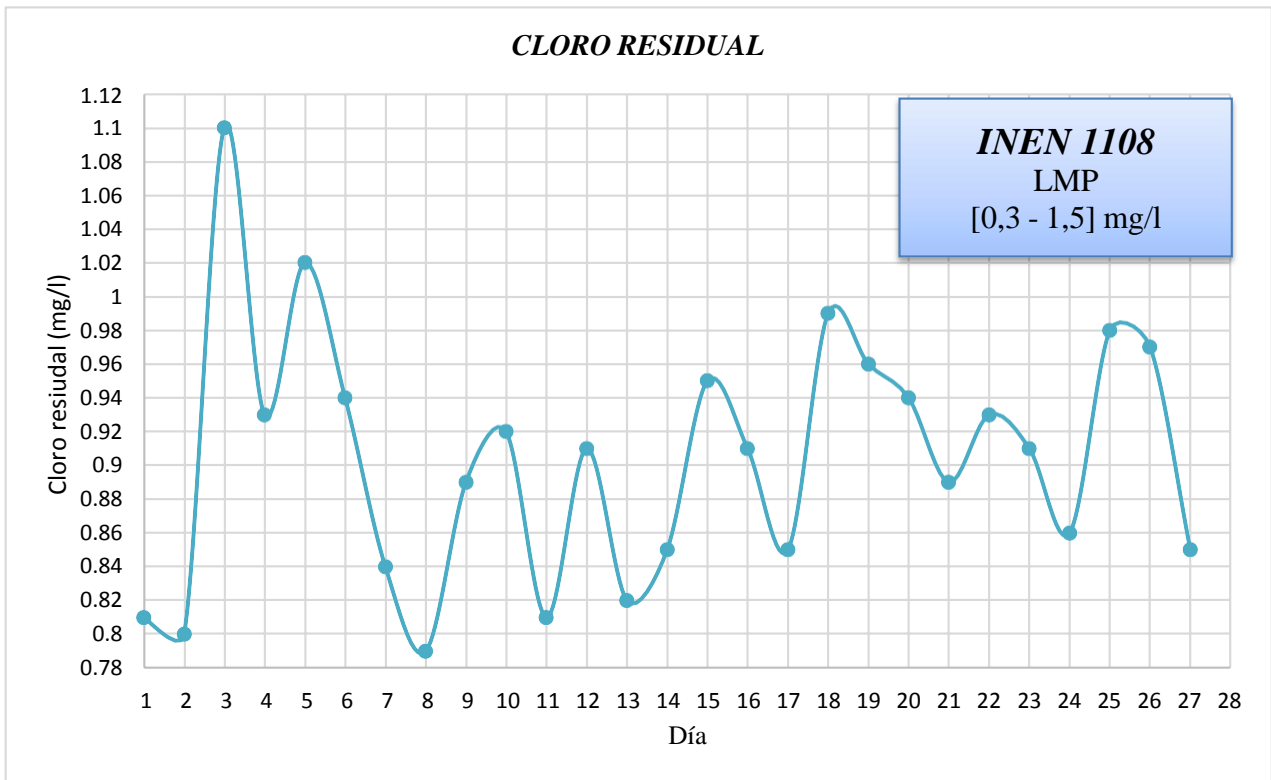


Gráfico 12. Comparación de datos de cloro residual en el tanque #4 – INEN LMP

Fuente: Autor

#### 4.1.1.4 Manganeseo

Tabla 24. Datos de la concentración de manganeseo en el tanque #4

MES		MANGANESO (mg/l)	
Febrero			
Día	FINAL	Día	FINAL
1	0,04	15	0,04
2	0,05	16	0,02
3	0,07	17	0,04
4	0,03	18	0,05
5	0,00	19	0,07
6	0,06	20	0,03
7	0,04	21	0,05
8	0,02	22	0,06
9	0,04	23	0,04
10	0,05	24	0,02
11	0,07	25	0,04
12	0,03	26	0,05
13	0,08	27	0,07
14	0,06	28	0,03

Fuente: Autor

Las concentraciones de manganeso que se visualizan en la *Tabla 24* corresponde a las muestras tomadas diariamente en el mes de febrero, éstas son comparadas con el límite máximo permisible dado por la INEN 1108 pudiendo evidenciar en el *Gráfico 12* que si cumplen dicha especificación, es decir, se encuentran por debajo del límite. La dosificación de permanganato de potasio se está dando de forma correcta siendo demostrado a través de los datos obtenidos, teniendo niveles de concentración de manganeso aceptados por las normas.

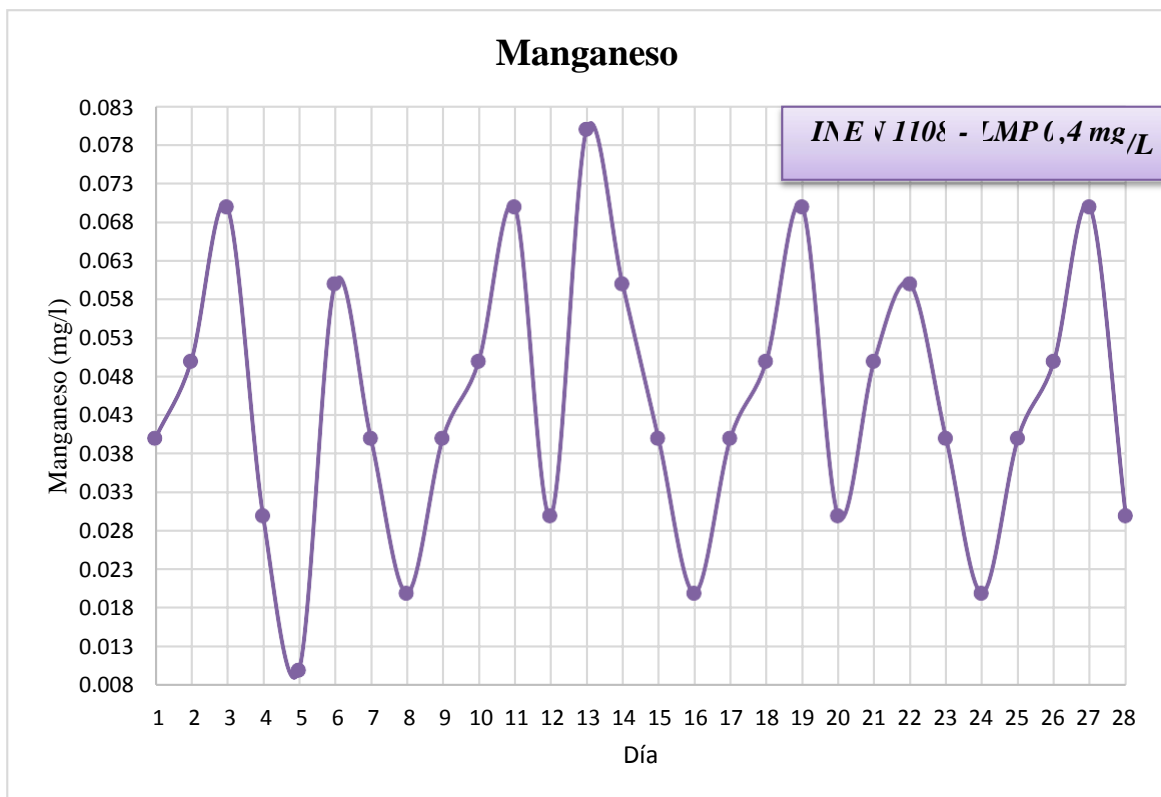


Gráfico 13. Comparación de concentración de Mn – Análisis/LMP

Fuente: Autor



## Capítulo V

### 5. Conclusiones

- Debido a que la Planta de Tratamiento de Agua Potable “Tixán”, cuenta con un nuevo Módulo de operación denominado “*Módulo II*”, existió la necesidad de los aforos máscicos y volumétricos de los nuevos equipos dosificadores de productos químicos empleados en el proceso de potabilización, para ello en función de los caudales que ingresan a dicha planta y las dosis óptimas ya definidas, se logró satisfacer esta necesidad, en el cual se recolectaron los datos en gramos de la cantidad de cada producto químico considerando intervalos de tiempo e índices del equipo. Estas determinaciones se realizaron por triplicado, asegurando así mayor precisión y exactitud. Al realizar los respectivos aforos, se pone a disposición de la planta una alternativa eficaz para la dosificación.
- Una vez obtenidos los aforos máscicos y volumétricos de los equipos, se establecieron gráficos lineales en función de las variables: índice (rpm) y caudales máscicos, siendo representada la última variable en el *eje Y*, y la variable *índice* en el *eje X*. A partir de estos datos recolectados y con el uso de la herramienta de Excel, se realizó el ajuste a un modelo estadístico para cada equipo, teniendo como resultado una línea de tendencia con su respectiva ecuación y su  $R^2$ , con el cual se indica cuan cercanos o lejanos están los datos experimentales de los datos que construyen la línea de tendencia, y debido a que cada  $R^2$  fue mayor a 0,99 en cada ajuste, se concluye que los datos recolectados se ajustan de buena manera a los modelos lineales.
- Además, se logró elaborar los respectivos simuladores específicos para cada equipo, resultando éstos una herramienta de suma importancia dentro de Planta de Tratamiento de Agua Potable “Tixán” ya que permiten ingresar las condiciones de trabajo (caudal de agua cruda a tratar), y dar como respuesta inmediata los valores de las variables a ingresar en los equipos dosificadores para preparar la solución del producto químico adecuada y así realizar un tratamiento de agua de calidad para el consumo del ser humano. Además, se tiene ventajas como el ahorro de tiempo y la optimización del peso de los productos químicos, ya que estos simuladores evitan ingresar un dato de entrada no correspondiente.
- Finalmente, para que la Planta de Tratamiento de Agua Potable cuente con procesos estandarizados, se elaboró el Manual de Operaciones y Mantenimiento con el objetivo de ser un apoyo para los operadores de dicha planta, ya que se



cuenta con un sistema automatizado y manual para el control de ciertos equipos en algunas operaciones, entonces al implementar dicho manual, la persona encargada de operar y de dar el correcto mantenimiento puede recurrir al mismo y verificar el procedimiento específico para la operación necesaria.





## 6. Bibliografía

- ACRISON, I. (02 de Enero de 2021). *ACRISON*. Obtenido de Acrison, Inc., 20 Empire Blvd., Moonachie, NJ 07074: <https://acrison.com/acrison/product-lines/volumetric-feeders/dissimilar-speed-double-concentric-auger-metering-mechanism-models-105-140-series/>
- Alvarado López, A. C. (2012). Implementación de un sistema de detección y medición de turbiedad del agua usando fibra óptica. (Tesis de Pregrado de Ingeniería), Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil - Ecuador.
- Arízaga Mondragón, J. (2016). Evaluación de la Planta de Tratamiento de agua potable de la ciudad de Vinces. (Tesis inédita de maestría), Universidad de Guayaquil, Guayaquil - Ecuador.
- Camacho, R. &. (2018). Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la población de la Playita, sitio nuevo Magdalena. Universidad de la Costa, Barranquilla - Colombia.
- Carbajal Azcona, A. &. (2012). Propiedades y fincones biológicas del agua. En V. &. (Eds), *Agua para la Salud. Pasado, presente y futuro*. (págs. 33-45). Madrid, España.
- Cordero, M. (2011). *Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (fgas), 2 filtros lentos de arena (fla), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- ETAPA, E. (2015). *Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán - Modulo II*. Cuenca: TOMO 4.
- ETAPA, E. (2015). *Ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán - Modulo II. Memoria Técnica*. Cuenca: TOMO 4.
- ETAPA, E. (2015). *Diseños definitivos para la ampliación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán - MÓDULO II*. Cuenca.
- ETAPA, E. (2016). *Ampliación de la capacidad de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán: MÓDULO II*. Cuenca: TOMO 1.



- Fernández Cirelli, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 11(3), 1666-7948.
- Julca Riojas, L. (2019). Remoción de la turbiedad del agua del canal Miraflores, con almidón de yuca y sulfato de aluminio, Jaén, Cajamarca. (Tesis de Pregrado de Ingeniería), Universidad Nacional de Jaén, Jaén - Perú.
- Lozano, W. &. (2015). *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá, Colombia.
- Marín Galvín, R. (s.f.). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. *EMACSA*.
- Martínez Andrés, C. J. (2019). Potabilización del agua. España: Elearning S.L. .
- Mascarós, J. (2013). *Tratamiento físico-químico y Jar-Test*. Obtenido de riunet.upv.es: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27574/TRABAJO%20FINAL%20DE%20MASTER%20%28ok%29.pdf?sequence=1>
- Medialdea, J. (Diciembre de 2005). *Permanganato potásico: un potente y versátil oxidante*. Sevilla: Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental - Escuela de Sevilla.
- Mejía Reinoso, J. (2010). Estudio sobre la calidad del agua potable del cantón Gualaquiza. (Tesis inédita de maestría), Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador .
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/es/)
- Palavecino, P. (2009). *Diseño de ampliación y optimización de Planta potabilizadora de agua para la empresa DSD Construcciones y Montajes S.A*. Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Palavecino, P. (2009). Diseño de ampliación y optimización de planta potabilizadora de agua para la Empresa DSD Construcciones y Montajes S.A. (Tesis de pregrado de Ingeniería), Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.
- Ruiz, C. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia San Isidro del Cantón Guano*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- SIDESA. (2015). *Sulfato de aluminio*. Mexico: Silicatos y Derivados, S.A. de C.V.



Vera, R. (2017). *Estudio de los procesos de clarificación y desinfección del sistema de tratamiento de agua de la Refinería Esmeraldas*. Quito: Universidad Central del Ecuador .

# ANEXOS

## ANEXO 1. Tabla Manual para la dosificación de KMnO<sub>4</sub>

### DOSIFICACIÓN DE PERMANGANATO DE POTASIO

RPM	Q	CAUDAL (L/s)																																		
		250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950
7	540.400	450.333	386.000	337.750	300.222	270.200	245.636	225.167	207.846	193.000	180.133	168.875	158.941	150.111	142.211	135.100	128.667	122.818	117.478	112.583	108.080	103.923	100.074	96.500	93.172	90.067	87.161	84.438	81.879	79.471	77.200	75.056	73.027	71.105	69.282	67.550
8	646.000	538.333	461.429	403.750	358.889	323.000	293.636	269.167	248.462	230.714	215.333	201.875	190.000	179.444	170.000	161.500	153.810	146.818	140.435	134.583	129.200	124.231	119.630	115.357	111.379	107.667	104.194	100.938	97.879	95.000	92.286	89.722	87.297	85.000	82.821	80.750
9	751.600	626.333	536.857	469.750	417.556	375.800	341.636	313.167	289.077	268.429	250.333	234.875	221.059	208.778	197.789	187.900	178.952	170.818	163.391	156.583	150.320	144.538	139.185	134.214	129.586	125.267	121.226	117.438	113.879	110.529	107.371	104.389	101.568	98.895	96.359	93.950
10	857.200	714.333	612.286	535.750	476.222	428.600	389.636	357.167	329.692	306.143	285.733	267.875	252.118	238.111	225.579	214.300	204.095	194.818	186.348	178.583	171.440	164.846	158.741	153.071	147.793	142.867	138.258	133.938	129.879	126.059	122.457	119.054	115.838	112.789	109.897	107.150
11	962.800	802.333	687.714	607.500	544.889	481.400	437.636	401.167	370.308	343.857	320.933	300.875	283.176	267.444	253.368	240.700	229.238	218.818	209.304	200.583	192.560	185.154	178.296	171.929	166.000	160.467	155.200	150.238	145.579	141.389	137.543	133.722	130.100	126.684	123.450	120.390
12	1068.400	890.333	763.143	667.750	593.556	534.200	485.636	445.167	410.923	381.571	356.133	333.875	314.235	296.778	281.158	267.100	254.381	242.818	232.261	222.583	213.680	205.462	197.852	190.786	184.207	178.007	172.323	166.938	161.879	157.118	152.629	148.389	144.378	140.579	136.974	133.550
13	1174.000	978.333	838.571	733.750	652.222	587.000	533.636	489.167	451.538	419.286	391.333	366.875	345.294	326.111	308.947	293.500	279.524	266.818	255.217	244.583	234.800	225.769	217.407	209.633	202.414	195.667	189.355	183.438	177.879	172.647	167.714	163.056	158.649	154.474	150.513	146.750
14	1279.600	1066.333	914.000	799.750	710.889	639.800	581.636	533.167	492.154	457.000	426.533	399.875	376.335	355.444	336.737	319.900	304.667	290.818	278.174	266.583	255.920	246.077	236.963	228.500	220.621	213.267	206.387	199.938	193.879	188.176	182.800	177.722	172.919	168.368	164.051	159.950
15	1385.200	1154.333	989.429	865.750	769.556	692.600	629.636	577.167	532.769	494.714	461.733	432.875	407.412	384.778	364.526	346.300	329.810	314.818	301.130	288.583	277.040	266.385	256.519	247.357	238.828	230.867	223.419	216.438	209.879	203.706	197.886	192.389	187.189	182.263	177.590	173.150
16	1490.800	1242.333	1064.857	931.750	828.222	745.400	677.636	621.167	573.583	532.429	496.933	465.875	438.471	414.111	392.316	372.700	354.952	338.818	324.087	308.583	298.160	286.692	276.074	266.214	257.034	248.467	240.452	232.938	225.879	219.235	212.971	207.054	201.459	196.158	191.128	186.350
17	1596.400	1330.333	1140.286	997.750	886.889	798.200	725.636	665.167	614.000	570.143	532.133	498.875	469.529	443.440	425.100	399.100	380.950	362.818	347.003	332.583	319.280	307.000	295.630	285.071	275.241	266.067	257.484	249.438	241.879	234.765	228.075	221.723	215.730	210.053	204.667	199.550
18	1702.000	1418.333	1215.714	1063.750	945.556	851.000	773.636	709.167	654.615	607.857	567.333	531.875	500.588	472.778	447.895	425.500	405.238	386.818	370.000	353.583	340.400	327.308	315.185	303.929	293.448	283.667	274.516	265.938	257.879	250.294	243.143	236.389	230.000	223.947	218.205	212.750
19	1807.600	1506.333	1291.143	1129.750	1004.222	903.800	821.636	753.167	695.231	645.571	602.533	564.875	531.647	502.111	475.684	451.900	430.381	410.818	392.957	376.583	361.520	347.615	334.741	322.786	311.655	301.267	291.548	282.438	273.879	265.824	258.229	251.054	244.270	237.842	231.744	225.950
20	1913.200	1594.333	1378.571	1195.750	1062.889	956.600	869.636	797.167	735.846	683.286	643.733	603.875	562.706	531.444	503.474	478.300	455.524	434.818	415.913	398.583	382.640	367.923	354.296	341.643	329.862	318.867	308.581	298.938	289.879	281.355	273.214	265.722	258.923	252.289	245.921	239.550
21	2018.800	1682.333	1442.000	1261.750	1121.556	1009.400	917.636	841.167	776.462	721.000	672.933	630.875	593.765	560.778	531.263	504.700	480.667	458.818	438.870	420.583	403.788	387.233	371.852	356.500	342.069	328.467	316.438	304.938	293.929	283.304	273.056	263.182	253.632	243.921	234.550	225.150
22	2124.400	1770.333	1517.429	1327.750	1180.222	1062.200	965.636	885.167	817.077	758.714	708.133	663.875	624.824	590.111	559.053	531.100	505.810	482.818	461.826	442.823	424.880	408.538	393.407	379.357	362.276	349.067	336.645	324.938	313.879	303.412	293.406	283.854	274.620	265.559	256.550	247.550
23	2230.000	1858.333	1592.857	1393.750	1238.889	1115.000	1013.636	929.167	857.692	796.429	743.333	696.875	655.882	619.444	586.842	557.500	530.952	506.518	484.783	464.583	446.000	428.846	412.963	399.214	384.483	371.667	359.677	348.438	337.879	327.941	318.571	309.722	301.351	293.421	285.897	278.750
24	2335.600	1946.333	1668.286	1459.750	1297.556	1167.800	1061.636	974.167	898.308	834.143	778.533	729.875	686.941	648.778	614.622	583.900	556.095	530.818	507.739	486.583	467.120	449.154	432.519	417.071	402.690	389.267	376.710	364.938	353.879	343.471	333.627	324.389	315.622	307.316	299.436	291.950
25	2441.200	2034.333	1743.714	1525.750	1356.222	1220.600	1109.636	1017.167	938.923	871.857	813.733	762.875	718.000	682.111	646.232	613.300	581.238	554.958	530.696	508.818	488.240	469.462	452.074	435.929	420.807	406.867	393.742	381.438	369.879	359.000	348.743	339.056	329.892	321.211	312.974	305.150
26	2546.800	2122.333	1819.143	1591.750	1414.889	1273.400	1157.636	1061.167	979.538	909.571	848.933	795.875	749.059	707.444	670.211	636.700	606.381	578.818	553.652	530.583	509.360	489.769	471.630	454.786	439.103	424.467	410.774	397.938	385.879	374.529	363.829	353.722	344.162	335.103	326.513	318.350
27	2652.400	2210.333	1894.571	1657.750	1473.556	1326.200	1205.636	1105.167	1020.154	947.286	884.133	828.875	780.118	736.778	698.000	663.100	631.624	602.818	576.609	552.583	530.480	510.077	491.185	473.643	457.310	442.067	427.806	414.438	401.879	390.059	378.914	368.389	358.432	349.000	340.051	331.550
28	2758.000	2298.333	1970.000	1723.750	1533.222	1379.000	1253.636	1149.167	1060.769	985.000	919.333	861.875	811.176	766.111	725.789	689.500	655.667	626.818	599.552	574.583	551.600	530.741	510.741	492.657	475.517	459.667	444.839	430.938	417.879	405.588	394.000	382.056	372.703	363.895	355.900	347.750
29	2863.600	2386.333	2045.429	1789.750	1590.889	1431.800	1301.636	1193.167	1101.385	1022.714	954.533	894.875	842.235	795.444	753.579	715.900	681.810	650.818	622.522	596.583	572.720	550.692	530.296	511.357	493.724	477.267	461.871	447.438	433.879	421.118	409.086	397.722	386.973	376.789	367.128	357.950
30	2969.200	2474.333	2120.857	1855.750	1649.556	1484.600	1349.636	1237.167	1142.000	1060.429	989.733	927.875	873.294	824.778	781.368	742.300	706.952	674.818	645.478	618.583	593.840	571.000	549.852	530.214	511.971	494.867	478.903	463.938	449.879	436.647	424.171	412.389	401.243	390.684	380.667	371.150
31	3074.800	2562.333	2196.286	1921.750	1708.222	1537.400	1397.636	1281.167	1182.615	1098.143	1024.933	960.375	904.353	853.111	809.158	768.700	732.095	698.818	668.435	641.960	611.308	590.407	549.071	530.138	512.467	495.935	480.438	465.879	452.176	439.257	427.054	415.514	404.479	394.205	384.350	
32	3180.400	2650.333	2271.714	1987.750	1766.889	1590.200	1445.636	1325.167	1223.311	1138.533	1060.133	993.875	935.412	883.444	836.947	795.100	757.238	722.818	691.391	662.583	636.080	611.605	588.963	567.929	548.345	530.067	512.968	496.938	481.879	467.706	454.343	441.722	429.784	418.474	407.747	397.550
33	3286.000	2738.333	2347.143	2053.750	1825.556	1643.000	1493.636	1369.167	1263.846	1173.571	1095.333	1026.875																								





ANEXO 105. Tabla Manual para la dosificación de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> con el equipo #

Q	DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO - EQUIPO #2																																				
	CAUDAL (L/s)																																				
	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	
1	0.0221	0.0184	0.0158	0.0138	0.0123	0.0110	0.0100	0.0092	0.0085	0.0079	0.0074	0.0069	0.0065	0.0061	0.0058	0.0055	0.0053	0.0050	0.0048	0.0046	0.0044	0.0042	0.0041	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036	0.0034	0.0033	0.0032	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0028	0.0028
2	0.0409	0.0341	0.0292	0.0255	0.0227	0.0204	0.0186	0.0170	0.0157	0.0146	0.0136	0.0128	0.0120	0.0114	0.0108	0.0102	0.0097	0.0093	0.0089	0.0085	0.0082	0.0079	0.0076	0.0073	0.0070	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062	0.0060	0.0058	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	
3	0.0597	0.0497	0.0426	0.0373	0.0331	0.0298	0.0271	0.0249	0.0229	0.0213	0.0199	0.0186	0.0175	0.0166	0.0157	0.0149	0.0142	0.0136	0.0130	0.0124	0.0119	0.0115	0.0110	0.0107	0.0103	0.0099	0.0096	0.0093	0.0090	0.0088	0.0085	0.0083	0.0081	0.0078	0.0076	0.0075	
4	0.0784	0.0654	0.0560	0.0490	0.0436	0.0392	0.0357	0.0327	0.0302	0.0280	0.0261	0.0245	0.0231	0.0218	0.0206	0.0196	0.0187	0.0178	0.0171	0.0163	0.0157	0.0151	0.0145	0.0140	0.0135	0.0131	0.0127	0.0123	0.0119	0.0115	0.0112	0.0109	0.0106	0.0103	0.0101	0.0098	
5	0.0972	0.0810	0.0695	0.0608	0.0540	0.0486	0.0442	0.0405	0.0374	0.0347	0.0324	0.0304	0.0286	0.0270	0.0256	0.0243	0.0232	0.0221	0.0211	0.0203	0.0194	0.0187	0.0180	0.0174	0.0168	0.0162	0.0157	0.0152	0.0147	0.0143	0.0139	0.0135	0.0131	0.0128	0.0125	0.0122	
6	0.1160	0.0967	0.0829	0.0725	0.0645	0.0580	0.0527	0.0483	0.0446	0.0414	0.0387	0.0363	0.0341	0.0320	0.0304	0.0290	0.0276	0.0264	0.0252	0.0242	0.0232	0.0223	0.0215	0.0207	0.0200	0.0193	0.0187	0.0181	0.0176	0.0171	0.0166	0.0161	0.0157	0.0153	0.0149	0.0145	
7	0.1348	0.1123	0.0963	0.0843	0.0749	0.0674	0.0613	0.0562	0.0519	0.0481	0.0449	0.0421	0.0397	0.0374	0.0355	0.0337	0.0321	0.0306	0.0293	0.0281	0.0270	0.0259	0.0250	0.0241	0.0232	0.0225	0.0217	0.0211	0.0204	0.0198	0.0193	0.0187	0.0182	0.0177	0.0173	0.0169	
8	0.1536	0.1280	0.1097	0.0960	0.0853	0.0768	0.0698	0.0640	0.0591	0.0549	0.0512	0.0480	0.0452	0.0427	0.0404	0.0384	0.0366	0.0349	0.0334	0.0320	0.0307	0.0295	0.0284	0.0274	0.0265	0.0256	0.0248	0.0240	0.0233	0.0226	0.0219	0.0213	0.0208	0.0202	0.0197	0.0192	
9	0.1724	0.1437	0.1231	0.1077	0.0958	0.0862	0.0784	0.0718	0.0662	0.0616	0.0575	0.0539	0.0507	0.0479	0.0454	0.0431	0.0410	0.0392	0.0375	0.0359	0.0345	0.0332	0.0319	0.0308	0.0297	0.0287	0.0278	0.0269	0.0261	0.0254	0.0246	0.0239	0.0233	0.0227	0.0221	0.0215	
10	0.1912	0.1593	0.1366	0.1195	0.1062	0.0956	0.0869	0.0797	0.0735	0.0683	0.0637	0.0597	0.0562	0.0531	0.0503	0.0478	0.0455	0.0435	0.0416	0.0398	0.0382	0.0368	0.0354	0.0341	0.0330	0.0319	0.0308	0.0299	0.0290	0.0281	0.0273	0.0266	0.0258	0.0252	0.0245	0.0239	
11	0.2100	0.1750	0.1500	0.1312	0.1167	0.1050	0.0954	0.0875	0.0808	0.0750	0.0700	0.0656	0.0618	0.0583	0.0553	0.0525	0.0500	0.0477	0.0456	0.0437	0.0420	0.0404	0.0389	0.0375	0.0362	0.0350	0.0339	0.0328	0.0318	0.0309	0.0300	0.0292	0.0284	0.0276	0.0269	0.0262	
12	0.2288	0.1906	0.1634	0.1430	0.1271	0.1144	0.1040	0.0953	0.0880	0.0817	0.0763	0.0715	0.0673	0.0635	0.0602	0.0572	0.0545	0.0520	0.0497	0.0477	0.0458	0.0440	0.0424	0.0409	0.0394	0.0381	0.0369	0.0357	0.0347	0.0336	0.0327	0.0318	0.0309	0.0301	0.0293	0.0286	
13	0.2476	0.2063	0.1768	0.1547	0.1375	0.1238	0.1125	0.1032	0.0952	0.0884	0.0825	0.0774	0.0728	0.0688	0.0651	0.0619	0.0589	0.0563	0.0538	0.0516	0.0495	0.0476	0.0458	0.0442	0.0427	0.0413	0.0399	0.0387	0.0375	0.0364	0.0354	0.0344	0.0335	0.0326	0.0317	0.0309	
14	0.2664	0.2260	0.1933	0.1665	0.1480	0.1332	0.1211	0.1110	0.1024	0.0951	0.0888	0.0832	0.0783	0.0740	0.0701	0.0666	0.0634	0.0605	0.0579	0.0555	0.0533	0.0512	0.0493	0.0476	0.0459	0.0444	0.0430	0.0416	0.0404	0.0392	0.0381	0.0370	0.0360	0.0350	0.0341	0.0333	
15	0.2851	0.2376	0.2037	0.1782	0.1584	0.1426	0.1296	0.1188	0.1097	0.1018	0.0950	0.0891	0.0839	0.0792	0.0750	0.0713	0.0679	0.0648	0.0620	0.0594	0.0570	0.0548	0.0528	0.0509	0.0492	0.0475	0.0460	0.0446	0.0432	0.0419	0.0407	0.0396	0.0385	0.0375	0.0366	0.0356	
16	0.3039	0.2533	0.2171	0.1900	0.1689	0.1520	0.1382	0.1266	0.1169	0.1085	0.1013	0.0950	0.0894	0.0844	0.0800	0.0760	0.0724	0.0691	0.0661	0.0633	0.0608	0.0584	0.0563	0.0543	0.0524	0.0507	0.0490	0.0475	0.0461	0.0447	0.0434	0.0422	0.0411	0.0400	0.0390	0.0380	
17	0.3227	0.2689	0.2305	0.2017	0.1797	0.1614	0.1467	0.1345	0.1241	0.1153	0.1076	0.1009	0.0949	0.0896	0.0849	0.0807	0.0768	0.0733	0.0702	0.0672	0.0645	0.0621	0.0598	0.0576	0.0556	0.0538	0.0521	0.0504	0.0489	0.0475	0.0461	0.0448	0.0436	0.0425	0.0414	0.0403	
18	0.3415	0.2846	0.2439	0.2134	0.1893	0.1708	0.1552	0.1423	0.1314	0.1220	0.1138	0.1067	0.1004	0.0949	0.0899	0.0854	0.0813	0.0776	0.0742	0.0711	0.0683	0.0657	0.0632	0.0610	0.0589	0.0569	0.0551	0.0534	0.0517	0.0502	0.0488	0.0474	0.0462	0.0449	0.0438	0.0427	
19	0.3603	0.3003	0.2574	0.2252	0.2002	0.1802	0.1638	0.1501	0.1386	0.1287	0.1201	0.1126	0.1060	0.1001	0.0948	0.0901	0.0858	0.0819	0.0783	0.0751	0.0721	0.0693	0.0667	0.0643	0.0621	0.0601	0.0581	0.0563	0.0546	0.0530	0.0515	0.0500	0.0487	0.0474	0.0462	0.0450	
20	0.3791	0.3159	0.2708	0.2369	0.2106	0.1895	0.1723	0.1580	0.1458	0.1354	0.1264	0.1185	0.1115	0.1053	0.0998	0.0948	0.0903	0.0862	0.0824	0.0790	0.0758	0.0729	0.0702	0.0677	0.0654	0.0632	0.0611	0.0592	0.0574	0.0557	0.0542	0.0527	0.0512	0.0499	0.0486	0.0474	
21	0.3979	0.3316	0.2842	0.2487	0.2210	0.1989	0.1809	0.1658	0.1530	0.1421	0.1326	0.1243	0.1170	0.1105	0.1047	0.0995	0.0947	0.0904	0.0865	0.0829	0.0796	0.0765	0.0737	0.0711	0.0686	0.0663	0.0642	0.0622	0.0603	0.0585	0.0568	0.0553	0.0538	0.0524	0.0510	0.0497	
22	0.4167	0.3472	0.2976	0.2604	0.2315	0.2083	0.1894	0.1736	0.1603	0.1488	0.1389	0.1302	0.1226	0.1157	0.1097	0.1042	0.0992	0.0947	0.0906	0.0868	0.0833	0.0801	0.0772	0.0744	0.0718	0.0694	0.0672	0.0651	0.0631	0.0613	0.0595	0.0579	0.0563	0.0548	0.0534	0.0521	
23	0.4355	0.3629	0.3111	0.2722	0.2419	0.2177	0.1979	0.1814	0.1675	0.1555	0.1452	0.1361	0.1281	0.1210	0.1146	0.1089	0.1037	0.0990	0.0947	0.0907	0.0871	0.0837	0.0806	0.0778	0.0751	0.0726	0.0702	0.0680	0.0660	0.0640	0.0622	0.0605	0.0588	0.0573	0.0558	0.0544	
24	0.4543	0.3786	0.3245	0.2839	0.2524	0.2271	0.2065	0.1893	0.1747	0.1622	0.1514	0.1420	0.1336	0.1262	0.1195	0.1136	0.1082	0.1032	0.0988	0.0946	0.0909	0.0874	0.0841	0.0811	0.0783	0.0757	0.0733	0.0710	0.0688	0.0669	0.0651	0.0634	0.0618	0.0602	0.0586	0.0571	
25	0.4731	0.3942	0.3379	0.2957	0.2628	0.2365	0.2150	0.1971	0.1819	0.1689	0.1577	0.1480	0.1391	0.1314	0.1245	0.1183	0.1126	0.1075	0.1028	0.0986	0.0946	0.0910	0.0876	0.0845	0.0816	0.0788	0.0763	0.0739	0.0710	0.0688	0.0669	0.0651	0.0634	0.0618	0.0602	0.0586	0.0571
26	0.4918	0.4099	0.3513	0.3074	0.2732	0.2459	0.2236	0.2049	0.1892	0.1757	0.1639	0.1537	0.1447	0.1366	0.1294	0.1230	0.1171	0.1118	0.1069	0.1025	0.0984	0.0946	0.0911	0.0878	0.0848	0.0820	0.0793	0.0769	0.0745	0.0723	0.0703	0.0683	0.0663	0.0643	0.0623	0.0603	
27	0.5106	0.4255	0.3647	0.3191	0.2837	0.2553	0.2321	0.2128	0.1964	0.1824	0.1702	0.1596	0.1502	0.1418	0.1344	0.1277	0.1216	0.1161	0.1110	0.1064	0.1021	0.0982	0.0946	0.0912	0.0880	0.0851	0.0824	0.0798	0.0774	0.0751	0.0729	0.0709	0.0690	0.0672	0.0653	0.0638	
28	0.5294	0.4412	0.3782	0.3309	0.2941	0.2647	0.2406	0.2206	0.2036	0.1891	0.1765	0.1654	0.1557	0.1471	0.1393	0.1324	0.1261	0.1203	0.1151	0.1103	0.1059	0.1018	0.0980	0.0945	0.0913	0.0882	0.0854	0.0827	0.0802	0.0779	0.0756	0.0735	0.0715	0.0697	0.0679	0.0662	
29	0.5482	0.4568	0.3916	0.3426	0.3046	0.2741	0.2492	0.2284	0.2109	0.1958	0.1827	0.1713	0.1612	0.1523	0.1443	0.1371	0.1305	0.1246	0.1192	0.1142	0.1096	0.1054	0.1015	0.0979	0.0945	0.0914	0.0884	0.0857	0.0831	0.0806	0.0783	0.0761					



ANEXO 106. Tabla Manual para la dosificación de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> con el equipo #

I		CAUDAL (L/s)																																				
		250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000	
1	0,0095	0,0080	0,0068	0,0060	0,0053	0,0048	0,0043	0,0040	0,0037	0,0034	0,0032	0,0030	0,0028	0,0027	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	
2	0,0214	0,0178	0,0153	0,0134	0,0119	0,0107	0,0097	0,0089	0,0082	0,0076	0,0071	0,0067	0,0063	0,0059	0,0056	0,0053	0,0051	0,0049	0,0046	0,0045	0,0043	0,0041	0,0040	0,0038	0,0037	0,0036	0,0036	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0027
3	0,0332	0,0277	0,0237	0,0207	0,0184	0,0166	0,0151	0,0138	0,0128	0,0119	0,0111	0,0104	0,0098	0,0092	0,0087	0,0083	0,0079	0,0075	0,0072	0,0069	0,0066	0,0064	0,0061	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0050	0,0049	0,0047	0,0046	0,0045	0,0044	0,0043	0,0043	0,0041	
4	0,0450	0,0375	0,0321	0,0281	0,0250	0,0225	0,0205	0,0187	0,0173	0,0161	0,0150	0,0141	0,0132	0,0125	0,0118	0,0112	0,0107	0,0102	0,0098	0,0094	0,0090	0,0087	0,0083	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0070	0,0068	0,0066	0,0064	0,0062	0,0061	0,0059	0,0058	0,0058	0,0056	
5	0,0568	0,0473	0,0406	0,0355	0,0316	0,0284	0,0258	0,0237	0,0219	0,0203	0,0189	0,0178	0,0167	0,0158	0,0150	0,0142	0,0135	0,0129	0,0124	0,0118	0,0114	0,0109	0,0105	0,0101	0,0098	0,0095	0,0092	0,0089	0,0086	0,0084	0,0081	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0070	0,0069
6	0,0686	0,0572	0,0490	0,0429	0,0381	0,0343	0,0312	0,0286	0,0264	0,0245	0,0229	0,0214	0,0202	0,0191	0,0181	0,0172	0,0163	0,0156	0,0149	0,0143	0,0137	0,0132	0,0127	0,0123	0,0118	0,0114	0,0111	0,0107	0,0104	0,0101	0,0098	0,0095	0,0093	0,0090	0,0088	0,0086	0,0085	
7	0,0804	0,0670	0,0575	0,0503	0,0447	0,0402	0,0366	0,0335	0,0309	0,0287	0,0268	0,0251	0,0237	0,0223	0,0212	0,0201	0,0192	0,0183	0,0175	0,0168	0,0161	0,0155	0,0149	0,0144	0,0139	0,0134	0,0130	0,0126	0,0122	0,0118	0,0115	0,0112	0,0109	0,0106	0,0103	0,0101	0,0100	
8	0,0923	0,0769	0,0659	0,0577	0,0513	0,0461	0,0426	0,0394	0,0365	0,0340	0,0320	0,0303	0,0288	0,0271	0,0256	0,0243	0,0231	0,0220	0,0210	0,0201	0,0192	0,0185	0,0177	0,0171	0,0164	0,0159	0,0154	0,0149	0,0144	0,0140	0,0136	0,0132	0,0128	0,0125	0,0121	0,0118	0,0115	
9	0,1041	0,0867	0,0743	0,0650	0,0578	0,0520	0,0473	0,0434	0,0400	0,0372	0,0347	0,0325	0,0306	0,0289	0,0274	0,0260	0,0248	0,0237	0,0226	0,0217	0,0208	0,0200	0,0193	0,0186	0,0179	0,0173	0,0168	0,0163	0,0158	0,0153	0,0149	0,0145	0,0141	0,0137	0,0133	0,0130	0,0128	
10	0,1159	0,0966	0,0828	0,0724	0,0644	0,0579	0,0527	0,0483	0,0446	0,0414	0,0386	0,0362	0,0341	0,0322	0,0305	0,0290	0,0276	0,0263	0,0252	0,0241	0,0232	0,0223	0,0215	0,0207	0,0200	0,0193	0,0187	0,0181	0,0176	0,0170	0,0166	0,0161	0,0157	0,0152	0,0149	0,0145	0,0143	
11	0,1277	0,1064	0,0912	0,0798	0,0710	0,0639	0,0581	0,0532	0,0491	0,0456	0,0426	0,0399	0,0376	0,0355	0,0336	0,0319	0,0304	0,0290	0,0278	0,0266	0,0255	0,0246	0,0237	0,0228	0,0220	0,0213	0,0206	0,0200	0,0194	0,0188	0,0182	0,0177	0,0173	0,0168	0,0164	0,0160	0,0158	
12	0,1395	0,1163	0,0997	0,0872	0,0775	0,0698	0,0634	0,0581	0,0537	0,0498	0,0465	0,0436	0,0410	0,0388	0,0367	0,0349	0,0332	0,0317	0,0303	0,0291	0,0279	0,0268	0,0258	0,0249	0,0241	0,0233	0,0225	0,0218	0,0211	0,0205	0,0199	0,0194	0,0189	0,0184	0,0179	0,0174	0,0172	
13	0,1513	0,1261	0,1081	0,0946	0,0845	0,0757	0,0688	0,0631	0,0582	0,0541	0,0504	0,0473	0,0445	0,0420	0,0398	0,0378	0,0360	0,0344	0,0329	0,0315	0,0303	0,0291	0,0280	0,0270	0,0261	0,0253	0,0244	0,0236	0,0229	0,0223	0,0216	0,0210	0,0205	0,0199	0,0194	0,0189	0,0184	
14	0,1632	0,1360	0,1165	0,1020	0,0906	0,0816	0,0742	0,0680	0,0628	0,0583	0,0544	0,0510	0,0480	0,0453	0,0429	0,0408	0,0388	0,0371	0,0355	0,0340	0,0326	0,0314	0,0302	0,0291	0,0281	0,0272	0,0263	0,0255	0,0247	0,0240	0,0233	0,0227	0,0220	0,0215	0,0209	0,0204	0,0202	
15	0,1750	0,1458	0,1250	0,1094	0,0972	0,0875	0,0795	0,0729	0,0673	0,0625	0,0583	0,0547	0,0515	0,0486	0,0460	0,0437	0,0417	0,0398	0,0380	0,0365	0,0350	0,0336	0,0324	0,0312	0,0302	0,0292	0,0282	0,0273	0,0265	0,0257	0,0250	0,0243	0,0236	0,0230	0,0224	0,0219	0,0217	
16	0,1868	0,1557	0,1334	0,1167	0,1038	0,0934	0,0849	0,0778	0,0718	0,0667	0,0623	0,0584	0,0549	0,0519	0,0492	0,0467	0,0445	0,0425	0,0406	0,0389	0,0374	0,0359	0,0346	0,0334	0,0322	0,0311	0,0301	0,0292	0,0283	0,0275	0,0267	0,0259	0,0252	0,0246	0,0239	0,0233	0,0231	
17	0,1986	0,1655	0,1419	0,1241	0,1103	0,0993	0,0903	0,0828	0,0764	0,0709	0,0662	0,0621	0,0584	0,0552	0,0523	0,0497	0,0473	0,0451	0,0432	0,0414	0,0397	0,0382	0,0368	0,0355	0,0342	0,0331	0,0320	0,0310	0,0301	0,0292	0,0284	0,0276	0,0268	0,0261	0,0255	0,0248	0,0246	
18	0,2104	0,1754	0,1503	0,1315	0,1169	0,1052	0,0956	0,0877	0,0809	0,0752	0,0701	0,0658	0,0619	0,0582	0,0554	0,0526	0,0501	0,0478	0,0457	0,0438	0,0421	0,0405	0,0390	0,0376	0,0363	0,0351	0,0339	0,0329	0,0319	0,0309	0,0301	0,0292	0,0284	0,0276	0,0270	0,0263	0,0261	
19	0,2222	0,1852	0,1587	0,1389	0,1235	0,1111	0,1010	0,0926	0,0855	0,0794	0,0741	0,0695	0,0654	0,0617	0,0585	0,0556	0,0529	0,0505	0,0483	0,0463	0,0444	0,0427	0,0412	0,0397	0,0383	0,0370	0,0358	0,0347	0,0337	0,0327	0,0317	0,0309	0,0300	0,0292	0,0285	0,0278	0,0276	
20	0,2341	0,1951	0,1672	0,1463	0,1300	0,1170	0,1064	0,0975	0,0900	0,0836	0,0781	0,0731	0,0688	0,0650	0,0616	0,0585	0,0557	0,0532	0,0509	0,0488	0,0468	0,0450	0,0433	0,0418	0,0404	0,0390	0,0378	0,0366	0,0355	0,0344	0,0334	0,0325	0,0316	0,0308	0,0300	0,0293	0,0291	
21	0,2459	0,2049	0,1756	0,1537	0,1366	0,1229	0,1118	0,1024	0,0946	0,0878	0,0820	0,0768	0,0723	0,0683	0,0647	0,0615	0,0585	0,0559	0,0535	0,0512	0,0492	0,0473	0,0455	0,0439	0,0424	0,0410	0,0397	0,0384	0,0373	0,0362	0,0351	0,0341	0,0332	0,0324	0,0315	0,0307	0,0305	
22	0,2577	0,2147	0,1841	0,1611	0,1432	0,1288	0,1171	0,1074	0,0991	0,0920	0,0859	0,0805	0,0757	0,0716	0,0678	0,0644	0,0614	0,0586	0,0560	0,0537	0,0515	0,0496	0,0477	0,0460	0,0444	0,0429	0,0416	0,0403	0,0390	0,0379	0,0368	0,0358	0,0348	0,0339	0,0330	0,0322	0,0320	
23	0,2695	0,2246	0,1925	0,1684	0,1497	0,1348	0,1225	0,1123	0,1037	0,0963	0,0908	0,0842	0,0793	0,0749	0,0709	0,0674	0,0642	0,0613	0,0586	0,0561	0,0539	0,0518	0,0499	0,0481	0,0465	0,0449	0,0435	0,0421	0,0408	0,0396	0,0385	0,0374	0,0364	0,0355	0,0346	0,0337	0,0335	
24	0,2813	0,2344	0,2009	0,1758	0,1563	0,1407	0,1279	0,1172	0,1082	0,1005	0,0938	0,0879	0,0827	0,0781	0,0740	0,0703	0,0670	0,0639	0,0612	0,0586	0,0563	0,0541	0,0521	0,0502	0,0485	0,0469	0,0454	0,0440	0,0426	0,0414	0,0402	0,0391	0,0380	0,0370	0,0361	0,0352	0,0350	
25	0,2931	0,2443	0,2094	0,1832	0,1629	0,1466	0,1332	0,1221	0,1127	0,1047	0,0977	0,0916	0,0862	0,0814	0,0771	0,0733	0,0698	0,0666	0,0637	0,0611	0,0586	0,0564	0,0543	0,0523	0,0505	0,0489	0,0473	0,0458	0,0444	0,0431	0,0419	0,0407	0,0396	0,0386	0,0376	0,0366	0,0364	
26	0,3050	0,2541	0,2178	0,1906	0,1694	0,1525	0,1386	0,1271	0,1173	0,1089	0,1017	0,0953	0,0897	0,0847	0,0803	0,0762	0,0726	0,0693	0,0663	0,0635	0,0610	0,0586	0,0565	0,0545	0,0526	0,0508	0,0492	0,0476	0,0462	0,0448	0,0434	0,0424	0,0412	0,0401	0,0391	0,0381	0,0379	
27	0,3168	0,2640	0,2263	0,1980	0,1760	0,1584	0,1440	0,1320	0,1218	0,1131	0,1056	0,0990	0,0932	0,0880	0,0834	0,0792	0,0754	0,0720	0,0689	0,0660	0,0634	0,0609	0,0587	0,0566	0,0546	0,0528	0,0511	0,0495	0,0480	0,0466	0,0453	0,0440	0,0428	0,0417	0,0406	0,0396	0,0394	
28	0,3286	0,2738	0,2347	0,2054	0,1826	0,1643	0,1494	0,1369	0,1264	0,1174	0,1095	0,1027	0,0966	0,0913	0,0865	0,0821	0,0782	0,0747	0,0714	0,0685	0,0657	0,0632	0,0609	0,0587	0,0567	0,0548	0,0530	0,0513	0,0498	0,0483	0,0469	0,0456	0,0444	0,0432	0,0421	0,0411	0,0400	0,0398
29	0,3404	0,2837	0,2431	0,2128	0,1891	0,1702																																



ANEXO 5. Tabla Manual para la dosificación de Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> con el equipo # 4

I		DOSIFICADOR DE SULFATO DE ALUMINIO - EQUIPO #4																																			
		CAUDAL (L/s)																																			
Q	Q	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000
		1	0.0137	0.0114	0.0098	0.0086	0.0076	0.0068	0.0062	0.0057	0.0053	0.0049	0.0046	0.0043	0.0040	0.0038	0.0036	0.0034	0.0033	0.0031	0.0030	0.0029	0.0027	0.0026	0.0025	0.0024	0.0024	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0018	0.0018	0.0018
2	0.0260	0.0217	0.0186	0.0162	0.0144	0.0130	0.0118	0.0108	0.0100	0.0093	0.0087	0.0081	0.0076	0.0072	0.0068	0.0065	0.0062	0.0059	0.0056	0.0054	0.0052	0.0050	0.0048	0.0046	0.0045	0.0044	0.0044	0.0043	0.0043	0.0042	0.0042	0.0041	0.0041	0.0040	0.0040	0.0039	0.0038
3	0.0383	0.0319	0.0273	0.0239	0.0213	0.0191	0.0174	0.0159	0.0147	0.0137	0.0128	0.0120	0.0113	0.0106	0.0101	0.0096	0.0091	0.0087	0.0083	0.0080	0.0077	0.0074	0.0071	0.0068	0.0066	0.0064	0.0062	0.0060	0.0058	0.0056	0.0055	0.0053	0.0052	0.0050	0.0049	0.0048	0.0047
4	0.0506	0.0421	0.0361	0.0316	0.0281	0.0253	0.0230	0.0211	0.0194	0.0181	0.0169	0.0158	0.0149	0.0140	0.0133	0.0126	0.0120	0.0115	0.0110	0.0105	0.0101	0.0097	0.0094	0.0090	0.0087	0.0084	0.0082	0.0080	0.0077	0.0074	0.0072	0.0070	0.0068	0.0066	0.0064	0.0063	
5	0.0629	0.0524	0.0449	0.0393	0.0349	0.0314	0.0286	0.0262	0.0242	0.0224	0.0210	0.0196	0.0185	0.0175	0.0165	0.0157	0.0150	0.0143	0.0137	0.0131	0.0126	0.0121	0.0116	0.0112	0.0108	0.0105	0.0101	0.0098	0.0095	0.0092	0.0090	0.0087	0.0085	0.0083	0.0081	0.0079	
6	0.0752	0.0626	0.0537	0.0470	0.0418	0.0376	0.0342	0.0313	0.0289	0.0268	0.0251	0.0235	0.0221	0.0209	0.0198	0.0188	0.0179	0.0171	0.0163	0.0157	0.0150	0.0145	0.0139	0.0134	0.0130	0.0125	0.0121	0.0117	0.0114	0.0111	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	
7	0.0874	0.0729	0.0625	0.0547	0.0486	0.0437	0.0397	0.0364	0.0336	0.0312	0.0291	0.0273	0.0257	0.0243	0.0230	0.0219	0.0208	0.0199	0.0190	0.0182	0.0175	0.0168	0.0162	0.0156	0.0151	0.0146	0.0141	0.0137	0.0132	0.0129	0.0125	0.0121	0.0118	0.0115	0.0112	0.0109	
8	0.0997	0.0831	0.0712	0.0623	0.0545	0.0489	0.0453	0.0416	0.0384	0.0356	0.0332	0.0312	0.0293	0.0277	0.0262	0.0249	0.0237	0.0227	0.0217	0.0208	0.0199	0.0192	0.0185	0.0178	0.0172	0.0166	0.0161	0.0156	0.0151	0.0147	0.0142	0.0139	0.0135	0.0131	0.0128	0.0125	
9	0.1120	0.0934	0.0800	0.0700	0.0622	0.0560	0.0509	0.0467	0.0431	0.0400	0.0373	0.0350	0.0330	0.0311	0.0295	0.0280	0.0267	0.0255	0.0244	0.0233	0.0224	0.0215	0.0207	0.0200	0.0193	0.0187	0.0181	0.0175	0.0170	0.0165	0.0160	0.0156	0.0151	0.0147	0.0144	0.0140	
10	0.1243	0.1036	0.0888	0.0777	0.0691	0.0622	0.0565	0.0518	0.0478	0.0444	0.0414	0.0389	0.0366	0.0345	0.0327	0.0311	0.0296	0.0283	0.0270	0.0259	0.0249	0.0239	0.0230	0.0222	0.0214	0.0207	0.0201	0.0194	0.0188	0.0183	0.0178	0.0173	0.0168	0.0164	0.0159	0.0155	
11	0.1366	0.1138	0.0976	0.0854	0.0759	0.0683	0.0621	0.0569	0.0525	0.0488	0.0455	0.0427	0.0402	0.0379	0.0360	0.0342	0.0325	0.0310	0.0297	0.0285	0.0273	0.0263	0.0253	0.0244	0.0236	0.0228	0.0220	0.0213	0.0207	0.0201	0.0195	0.0189	0.0183	0.0178	0.0173		
12	0.1489	0.1241	0.1064	0.0931	0.0827	0.0745	0.0677	0.0620	0.0573	0.0532	0.0496	0.0465	0.0438	0.0414	0.0392	0.0372	0.0355	0.0338	0.0324	0.0310	0.0298	0.0286	0.0276	0.0266	0.0257	0.0248	0.0240	0.0233	0.0226	0.0219	0.0213	0.0207	0.0201	0.0196	0.0191	0.0186	
13	0.1612	0.1344	0.1151	0.1008	0.0896	0.0806	0.0733	0.0672	0.0620	0.0576	0.0537	0.0504	0.0474	0.0444	0.0424	0.0403	0.0384	0.0366	0.0350	0.0336	0.0322	0.0310	0.0299	0.0288	0.0278	0.0269	0.0260	0.0253	0.0244	0.0237	0.0230	0.0224	0.0218	0.0212	0.0207	0.0202	
14	0.1735	0.1446	0.1239	0.1084	0.0964	0.0867	0.0789	0.0723	0.0667	0.0620	0.0578	0.0542	0.0510	0.0482	0.0457	0.0434	0.0413	0.0394	0.0377	0.0361	0.0347	0.0334	0.0321	0.0310	0.0299	0.0289	0.0280	0.0271	0.0263	0.0255	0.0248	0.0241	0.0234	0.0228	0.0222	0.0217	
15	0.1858	0.1548	0.1327	0.1161	0.1032	0.0929	0.0844	0.0774	0.0715	0.0664	0.0619	0.0581	0.0546	0.0516	0.0489	0.0464	0.0442	0.0422	0.0404	0.0387	0.0372	0.0357	0.0341	0.0326	0.0312	0.0300	0.0291	0.0281	0.0273	0.0265	0.0258	0.0251	0.0244	0.0238	0.0232		
16	0.1981	0.1651	0.1415	0.1238	0.1100	0.0990	0.0900	0.0825	0.0762	0.0707	0.0660	0.0619	0.0583	0.0550	0.0521	0.0495	0.0472	0.0450	0.0431	0.0413	0.0396	0.0381	0.0367	0.0354	0.0342	0.0330	0.0319	0.0309	0.0300	0.0291	0.0283	0.0275	0.0268	0.0261	0.0254	0.0248	
17	0.2104	0.1753	0.1503	0.1315	0.1169	0.1052	0.0956	0.0877	0.0809	0.0751	0.0701	0.0657	0.0619	0.0584	0.0554	0.0526	0.0501	0.0478	0.0457	0.0438	0.0421	0.0405	0.0390	0.0376	0.0363	0.0351	0.0339	0.0329	0.0319	0.0309	0.0301	0.0292	0.0284	0.0277	0.0270	0.0263	
18	0.2227	0.1856	0.1590	0.1392	0.1237	0.1113	0.1012	0.0928	0.0856	0.0795	0.0742	0.0696	0.0655	0.0619	0.0586	0.0557	0.0530	0.0506	0.0484	0.0464	0.0445	0.0428	0.0412	0.0398	0.0384	0.0371	0.0359	0.0348	0.0337	0.0327	0.0318	0.0309	0.0301	0.0293	0.0285	0.0278	
19	0.2350	0.1958	0.1678	0.1468	0.1305	0.1175	0.1068	0.0979	0.0904	0.0839	0.0783	0.0734	0.0691	0.0653	0.0618	0.0587	0.0559	0.0534	0.0511	0.0489	0.0470	0.0452	0.0435	0.0420	0.0405	0.0392	0.0379	0.0367	0.0356	0.0346	0.0336	0.0326	0.0318	0.0309	0.0301	0.0294	
20	0.2473	0.2060	0.1766	0.1545	0.1374	0.1236	0.1124	0.1030	0.0951	0.0883	0.0824	0.0773	0.0727	0.0687	0.0651	0.0618	0.0589	0.0562	0.0538	0.0515	0.0495	0.0475	0.0458	0.0442	0.0426	0.0412	0.0399	0.0386	0.0375	0.0364	0.0353	0.0343	0.0334	0.0324	0.0315	0.0307	
21	0.2595	0.2163	0.1854	0.1622	0.1442	0.1298	0.1180	0.1081	0.0998	0.0927	0.0865	0.0811	0.0763	0.0721	0.0683	0.0649	0.0618	0.0590	0.0564	0.0541	0.0519	0.0499	0.0481	0.0463	0.0447	0.0433	0.0419	0.0406	0.0393	0.0382	0.0371	0.0360	0.0351	0.0342	0.0333	0.0324	
22	0.2718	0.2265	0.1942	0.1699	0.1510	0.1359	0.1236	0.1133	0.1046	0.0971	0.0906	0.0849	0.0800	0.0755	0.0715	0.0680	0.0647	0.0618	0.0591	0.0566	0.0544	0.0523	0.0503	0.0485	0.0469	0.0453	0.0438	0.0425	0.0412	0.0400	0.0388	0.0378	0.0367	0.0358	0.0349	0.0340	
23	0.2841	0.2368	0.2029	0.1776	0.1578	0.1421	0.1291	0.1184	0.1093	0.1015	0.0947	0.0888	0.0836	0.0789	0.0748	0.0710	0.0676	0.0646	0.0618	0.0592	0.0568	0.0546	0.0526	0.0507	0.0490	0.0474	0.0458	0.0444	0.0430	0.0418	0.0406	0.0395	0.0384	0.0374	0.0364	0.0355	
24	0.2964	0.2470	0.2117	0.1853	0.1647	0.1482	0.1347	0.1235	0.1140	0.1059	0.0988	0.0926	0.0872	0.0823	0.0780	0.0741	0.0706	0.0674	0.0644	0.0618	0.0592	0.0570	0.0549	0.0529	0.0511	0.0494	0.0478	0.0464	0.0449	0.0436	0.0423	0.0412	0.0401	0.0390	0.0380	0.0371	
25	0.3087	0.2573	0.2205	0.1929	0.1715	0.1544	0.1403	0.1286	0.1187	0.1103	0.1029	0.0965	0.0908	0.0858	0.0812	0.0772	0.0735	0.0702	0.0671	0.0643	0.0617	0.0594	0.0572	0.0551	0.0532	0.0515	0.0498	0.0482	0.0468	0.0454	0.0441	0.0429	0.0417	0.0406	0.0396	0.0386	
26	0.3210	0.2675	0.2293	0.2006	0.1783	0.1605	0.1459	0.1338	0.1235	0.1146	0.1070	0.1003	0.0944	0.0892	0.0845	0.0803	0.0764	0.0730	0.0698	0.0669	0.0642	0.0617	0.0594	0.0573	0.0553	0.0535	0.0518	0.0502	0.0486	0.0472	0.0459	0.0446	0.0434	0.0422	0.0412	0.0401	
27	0.3333	0.2778	0.2381	0.2083	0.1853	0.1667	0.1495	0.1389	0.1282	0.1190	0.1111	0.1042	0.0984	0.0928	0.0877	0.0833	0.0794	0.0758	0.0725	0.0694	0.0667	0.0641	0.0617	0.0595	0.0575	0.0555	0.0538	0.0521	0.0505	0.0490	0.0476	0.0463	0.0450	0.0439	0.0427	0.0417	
28	0.3456	0.2880	0.2469	0.2160	0.1920	0.1728	0.1571	0.1440	0.1329	0.1234	0.1152	0.1080	0.1016	0.0960	0.0909	0.0864	0.0823	0.0785	0.0751	0.0720	0.0691	0.0665	0.0640	0.0617	0.0596	0.0576	0.0557	0.0540	0.0524	0.0508	0.0494	0.0480	0.0467	0.0455	0.0443	0.0432	
29	0.3579	0.2992	0.2565	0.2237	0.1988	0.1789	0.1627	0.1491	0.1376	0.1278	0.1193	0.1118	0.1053	0.0994	0.0942	0.0895	0.0852	0.0813	0.0778	0.0746	0.0716	0.0688	0.0663	0.0639	0.0617	0.0596	0.0577	0.0559	0.0542	0.0526	0.0511	0.0497</					





ANEXO 6. Tabla Manual para la dosificación de polímero con el equipo # 1

I \ Q		DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO - EQUIPO 1																																					
		CAUDAL (L/s)																																					
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000
I N D I C E	1	1,0087	0,7565	0,6052	0,5044	0,4323	0,3783	0,3362	0,3026	0,2751	0,2522	0,2328	0,2162	0,2017	0,1891	0,1780	0,1681	0,1593	0,1513	0,1441	0,1376	0,1316	0,1261	0,1210	0,1164	0,1121	0,1081	0,1043	0,1009	0,0976	0,0946	0,0917	0,0890	0,0865	0,0841	0,0818	0,0796	0,0776	0,0757
	2	1,8356	1,3767	1,1013	0,9178	0,7867	0,6883	0,6119	0,5507	0,5006	0,4589	0,4236	0,3933	0,3671	0,3442	0,3239	0,3059	0,2898	0,2753	0,2622	0,2503	0,2394	0,2294	0,2203	0,2118	0,2040	0,1967	0,1899	0,1836	0,1776	0,1721	0,1669	0,1620	0,1573	0,1530	0,1488	0,1449	0,1412	0,1377
	3	2,6624	1,9968	1,5975	1,3312	1,1410	0,9984	0,8875	0,7987	0,7261	0,6656	0,6144	0,5705	0,5325	0,4992	0,4698	0,4437	0,4204	0,3994	0,3803	0,3631	0,3473	0,3328	0,3195	0,3072	0,2958	0,2853	0,2754	0,2662	0,2577	0,2496	0,2420	0,2349	0,2281	0,2219	0,2159	0,2102	0,2048	0,1997
	4	3,4893	2,6170	2,0936	1,7446	1,4954	1,3085	1,1631	1,0468	0,9516	0,8723	0,8052	0,7477	0,6979	0,6542	0,6158	0,5815	0,5509	0,5234	0,4985	0,4758	0,4551	0,4362	0,4187	0,4026	0,3877	0,3739	0,3610	0,3489	0,3377	0,3271	0,3172	0,3079	0,2991	0,2908	0,2829	0,2753	0,2684	0,2617
	5	4,3161	3,2371	2,5897	2,1581	1,8498	1,6186	1,4387	1,2948	1,1771	1,0790	0,9960	0,9249	0,8632	0,8093	0,7617	0,7194	0,6815	0,6474	0,6166	0,5886	0,5630	0,5395	0,5179	0,4980	0,4796	0,4624	0,4465	0,4316	0,4177	0,4046	0,3924	0,3808	0,3700	0,3597	0,3500	0,3407	0,3320	0,3237
	6	5,1430	3,8573	3,0858	2,5715	2,2041	1,9286	1,7143	1,5429	1,4026	1,2858	1,1868	1,1021	1,0286	0,9643	0,9076	0,8572	0,8121	0,7715	0,7347	0,7013	0,6708	0,6429	0,6172	0,5934	0,5714	0,5510	0,5320	0,5143	0,4977	0,4822	0,4675	0,4538	0,4408	0,4286	0,4170	0,4060	0,3956	0,3857
	7	5,9699	4,4774	3,5819	2,9849	2,5585	2,2387	1,9900	1,7910	1,6281	1,4925	1,3777	1,2793	1,1940	1,1193	1,0535	0,9950	0,9426	0,8955	0,8528	0,8141	0,7787	0,7462	0,7164	0,6888	0,6633	0,6396	0,6176	0,5970	0,5777	0,5597	0,5427	0,5268	0,5117	0,4973	0,4840	0,4713	0,4592	0,4477
	8	6,7967	5,0975	4,0780	3,3984	2,9129	2,5488	2,2656	2,0390	1,8537	1,6992	1,5685	1,4564	1,3593	1,2744	1,1994	1,1328	1,0732	1,0195	0,9710	0,9268	0,8865	0,8496	0,8156	0,7842	0,7552	0,7282	0,7031	0,6797	0,6577	0,6372	0,6179	0,5997	0,5824	0,5664	0,5511	0,5366	0,5228	0,5098
	9	7,6236	5,7177	4,5741	3,8118	3,2672	2,8588	2,5412	2,2871	2,0792	1,9059	1,7593	1,6336	1,5247	1,4294	1,3453	1,2706	1,2037	1,1435	1,0891	1,0396	0,9944	0,9529	0,9148	0,8796	0,8471	0,8168	0,7886	0,7624	0,7378	0,7147	0,6931	0,6727	0,6534	0,6353	0,6181	0,6019	0,5864	0,5718

Fuente: Autor

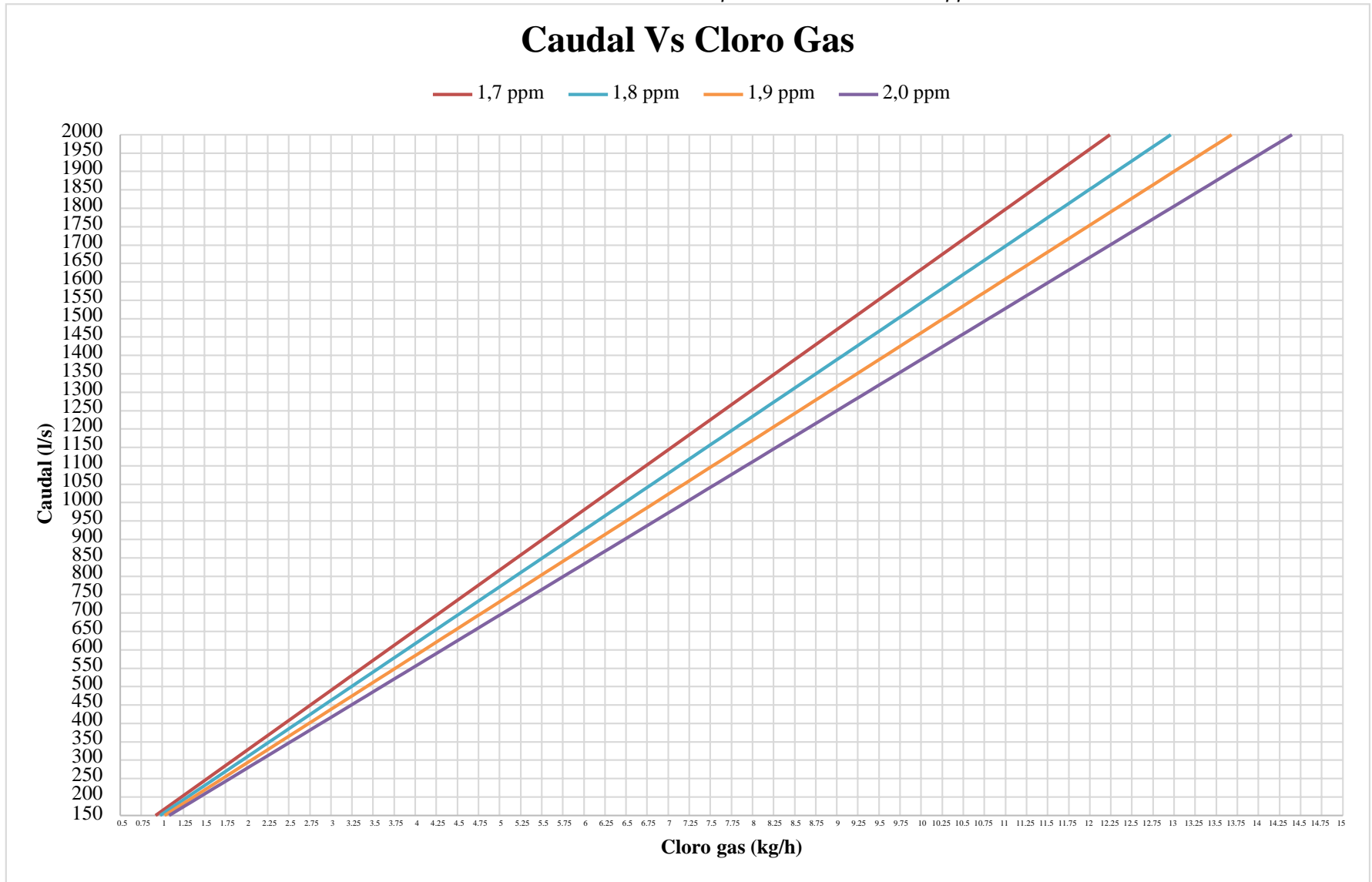
ANEXO 7. Tabla Manual para la dosificación de polímero con el equipo # 2

I \ Q		DOSIFICACIÓN DE POLÍMERO - EQUIPO 2																																					
		CAUDAL (L/s)																																					
		150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550	1600	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950	2000
I N D I C E	1	0,8696	0,6522	0,5218	0,4348	0,3727	0,3261	0,2899	0,2609	0,2372	0,2174	0,2007	0,1864	0,1739	0,1631	0,1535	0,1449	0,1373	0,1304	0,1242	0,1186	0,1134	0,1087	0,1044	0,1003	0,0966	0,0932	0,0900	0,0870	0,0842	0,0815	0,0791	0,0767	0,0745	0,0725	0,0705	0,0687	0,0669	0,0652
	2	1,4711	1,1033	0,8827	0,7356	0,6305	0,5517	0,4904	0,4413	0,4012	0,3678	0,3395	0,3152	0,2942	0,2758	0,2596	0,2452	0,2323	0,2207	0,2102	0,2006	0,1919	0,1839	0,1765	0,1697	0,1635	0,1576	0,1522	0,1471	0,1424	0,1379	0,1337	0,1298	0,1261	0,1226	0,1193	0,1161	0,1132	0,1103
	3	2,0726	1,5545	1,2436	1,0363	0,8883	0,7772	0,6909	0,6218	0,5653	0,5182	0,4783	0,4441	0,4145	0,3886	0,3658	0,3454	0,3273	0,3109	0,2961	0,2826	0,2703	0,2591	0,2487	0,2391	0,2303	0,2221	0,2144	0,2073	0,2006	0,1943	0,1884	0,1829	0,1777	0,1727	0,1680	0,1636	0,1594	0,1554
	4	2,6741	2,0056	1,6045	1,3370	1,1460	1,0028	0,8914	0,8022	0,7293	0,6685	0,6171	0,5730	0,5348	0,5014	0,4719	0,4457	0,4222	0,4011	0,3820	0,3646	0,3488	0,3343	0,3209	0,3085	0,2971	0,2865	0,2766	0,2674	0,2588	0,2507	0,2431	0,2359	0,2292	0,2228	0,2168	0,2111	0,2057	0,2006
	5	3,2756	2,4567	1,9653	1,6378	1,4038	1,2283	1,0919	0,9827	0,8933	0,8189	0,7559	0,7019	0,6551	0,6142	0,5780	0,5459	0,5172	0,4913	0,4679	0,4467	0,4272	0,4094	0,3931	0,3780	0,3640	0,3510	0,3389	0,3276	0,3170	0,3071	0,2978	0,2890	0,2808	0,2730	0,2656	0,2586	0,2520	0,2457
	6	3,8771	2,9078	2,3262	1,9385	1,6616	1,4539	1,2924	1,1631	1,0574	0,9693	0,8947	0,8308	0,7754	0,7270	0,6842	0,6462	0,6122	0,5816	0,5539	0,5287	0,5057	0,4846	0,4652	0,4474	0,4308	0,4154	0,4011	0,3877	0,3752	0,3635	0,3525	0,3421	0,3323	0,3231	0,3144	0,3061	0,2982	0,2908
	7	4,4786	3,3589	2,6871	2,2393	1,9194	1,6795	1,4929	1,3436	1,2214	1,1196	1,0335	0,9597	0,8957	0,8397	0,7903	0,7464	0,7071	0,6718	0,6398	0,6107	0,5842	0,5598	0,5374	0,5168	0,4976	0,4798	0,4633	0,4479	0,4334	0,4199	0,4071	0,3952	0,3839	0,3732	0,3631	0,3536	0,3445	0,3359
	8	5,0800	3,8100	3,0480	2,5400	2,1772	1,9050	1,6933	1,5240	1,3855	1,2700	1,1723	1,0886	1,0160	0,9525	0,8965	0,8467	0,8021	0,7620	0,7257	0,6927	0,6626	0,6350	0,6096	0,5862	0,5644	0,5443	0,5255	0,5080	0,4916	0,4763	0,4618	0,4482	0,4354	0,4233	0,4119	0,4011	0,3908	0,3810
	9	5,6815	4,2611	3,4089	2,8408	2,4349	2,1306	1,8938	1,7045	1,5495	1,4204	1,3111	1,2175	1,1363	1,0653	1,0026	0,9469	0,8971	0,8522	0,8116	0,7748	0,7411	0,7102	0,6818	0,6556	0,6313	0,6087	0,5877	0,5682	0,5498	0,5326	0,5165	0,5013	0,4870	0,4735	0,4607	0,4485	0,4370	0,4261

Fuente: Autor



ANEXO 8. Gráfico Caudal vs Cloro Gas para diferentes dosis en ppm



Fuente: Autor