UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

ÁREA
SISTEMAS INTEGRADOS DE GESTIÓN

TEMA
DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA AUTOMATIZAR LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

AUTOR
QUIROZ QUIMÍS MARIO ALEJANDRO

DIRECTOR DEL TRABAJO
ING. QUÍM. REYES VENEGAS HARRY OSWALDO, MSc.

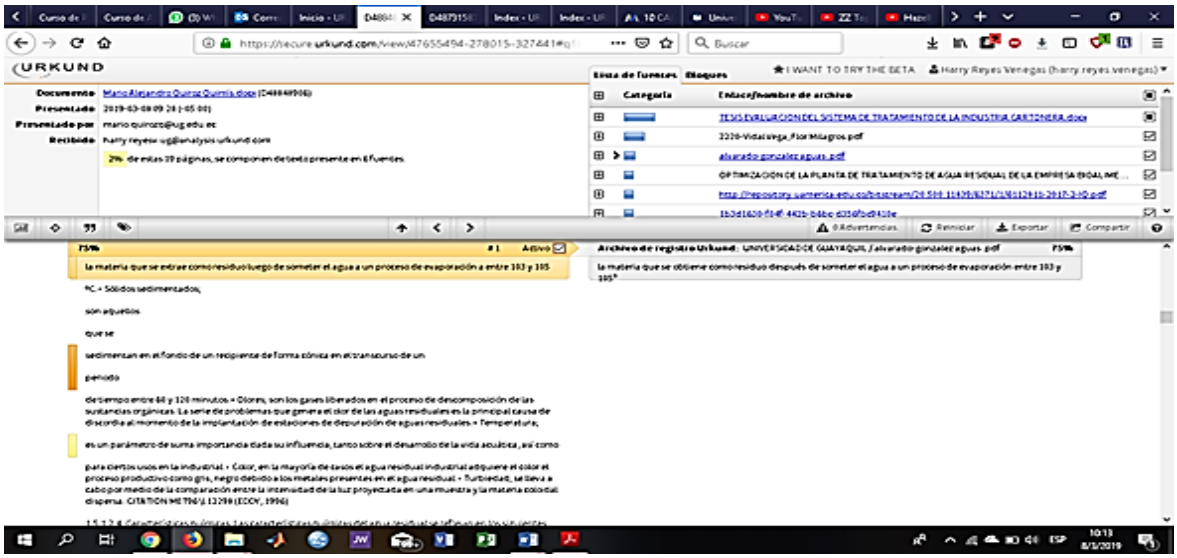
GUAYAQUIL, ABRIL 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE TITULACIÓN

CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

Habiendo sido nombrado **ING. QUÍM. REYES VENEGAS HARRY OSWALDO, MSC,** tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **QUIROZ QUIMÍS MARIO ALEJANDRO C.C.: 131644198-7**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO INDUSTRIAL**.

Se informa que el trabajo de titulación**: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA AUTOMATIZAR LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES",** ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio **URKUND** quedando el **2%** de coincidencia.



https://secure.urkund.com/view/47655494-278015327441#q1bKLVayijbQMdQx1jHVMdMx17HQsYzVUSrOTM/LTMtMTsxLTlWyMtAzMDQxNjAzNTEwNDYyMzYyMDOsBQA=

Ing. Quím. Reyes Venegas Harry Oswaldo, MSc.
C.I. 091134137-8

DECLARATORIA DE AUTORÍA

"La responsabilidad del contenido de este trabajo de titulación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil"

Quiroz Quimís Mario Alejandro

C.I. 131644198-7

Dedicatoria

Es mi anhelo como humilde acto de agradecimiento, dedicarle mi trabajo de titulación a mi querida esposa Angie Gómez, por su gentil apoyo, comprensión y permanente cariño, siendo mi fuente de motivación para culminar mis objetivos de vida.

A mis padres José y Genny que, con sus valores y principios inculcados en el trayecto de mi formación académica y moral, contribuyeron incondicionalmente al logro de mis metas planteadas con el fin de integrar un elemento útil para la sociedad.

A mis hermanos, sobrinos, tíos y abuelos por mantener su apoyo constante en cada etapa de mi proceso de formación.

A todos ustedes les doy mi más sincera gratitud y afecto.

Agradecimiento.

A mi esposa y a mis padres, por su respaldo continuo en mi crecimiento profesional y moral, con el fin de superar todos los obstáculos que se me han presentado.

A mi tutor de titulación Ing. Harry Reyes, por su asistencia, cooperación y conocimiento teórico – práctico para logar el desarrollo del presente trabajo investigativo.

A la Universidad de Guayaquil, en especial a la Facultad de Ingeniería Industrial por formar a profesionales con conocimientos sólidos en ingeniería, lo que nos dirige hacia una sociedad estable y útil para el mundo.

A quien estudia este trabajo, por permitir depositar mi investigación e ideas en su recopilación de información intelectual.

Índice General

No.	Descripción	Pág.
	Introducción	1

Capítulo I

Diseño de la investigación

No.	Descripción	Pág.
1.1.	Antecedentes de la investigación	2
1.2.	Problema de la investigación	2
1.2.1.	Planteamiento del problema	3
1.2.2.	Formulación del problema	4
1.2.3.	Sistematización del problema de investigación	4
1.3.	Justificación de la investigación	4
1.4.	Objetivos de la investigación	4
1.4.1.	Objetivo general	4
1.4.2.	Objetivos específicos	4
1.5.	Marco de referencia de la investigación	5
1.5.1.	Marco teórico	5
1.5.1.1.	Teorías generales	5
1.5.1.2.	Teorías sustantivas	8
1.5.1.3.	Referentes empíricos	15
1.5.2.	Marco legal	16
1.5.3.	Marco conceptual	21
1.6.	Formulación de la hipótesis y variables	23
1.6.1.	Hipótesis general	23
1.6.2.	Variables. (independientes y dependientes)	23
1.6.2.1.	Variable independiente	23
1.6.2.2.	Variable dependiente	23
1.7.	Aspectos metodológicos de la investigación	23
1.7.1.	Tipo de estudio	23
1.7.2.	Métodos de investigación	23
1.7.3.	Fuentes y técnicas para la recolección de la información	23
1.7.4.	Tratamiento de la información	23
1.7.5.	Resultados e impactos esperados	24

Capitulo II

Análisis, presentación de resultados y diagnóstico

No	Descripción	Pág.
2.1.	Análisis de la situación actual.	25
2.1.2.	Generación de efluentes	25
2.1.3.	Caracterización físico-química del agua residual	26
2.1.4.	Dosificación actual de coagulante	27
2.2.	Análisis comparativo, evolución, tendencia y perspectivas.	28
2.2.2.	Análisis del problema	28
2.2.3.	Elaboración de ensayos de trazabilidad	29
2.2.4.	Prueba de jarra (coagulación)	29
2.2.5.	Ejecución de la prueba de jarra	30
2.3.	Presentación de resultados y diagnóstico	31
2.4.	Verificación de hipótesis	31

Capitulo III

Propuesta, conclusiones y recomendaciones

No	Descripción	Pág.
3.1.	Diseño de la propuesta	32
3.1.1.	Diagrama de bloques propuesto	32
3.1.2.	Diagrama de flujo propuesto	32
3.1.3.	Procedimiento para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales	34
3.1.4.	Modelo matemático propuesto para el sistema de control automatizado para la dosificación ideal de coagulante	34
3.1.5.	Desarrollo del algoritmo matemático	34
3.1.6.	Modelo matemático	38
3.1.7.	Validación de la regresión lineal	41
3.2.	Conclusiones	43
3.3.	Recomendaciones	43
	Anexos	45
	Bibliografía	55

Índice de tablas

No	Descripción	Pág.
1	Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	10
2	Resumen de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	20
3	Resumen de efluentes procesados, reutilizados y evacuados	25
4	Parámetros físicos, químicos y orgánicos del afluente	25
5	Parámetros físicos, químicos y orgánicos del efluente al proceso biológico	26
6	Parámetros físico, químicos y orgánicos de la descarga final	27
7	Resultados de análisis de la clarificación del test de jarra	31
8	Datos de las variables a usar para desarrollar el algoritmo matemático	35
9	Orden y eliminación de valores atípicos en la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-Grasas	36
10	Valores atípicos retirados de la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-Grasa	37
11	Valores para desarrollar la simulación del modelo matemático	39
12	Pronóstico de la simulación	40
13	Desviación estándar del parámetro S.S.T	41
14	Desviación estándar del parámetro D.Q.O	42
15	Prueba de hipótesis de los resultados de la simulación	42

Índice de figuras

No	Descripción	Pág.
1	Diagrama de bloques de un sistema de control industrial	6
2	Dosis de coagulante aplicado por sectores	14
3	Diagrama de flujo de la dosificación actual de coagulante	28
4	Árbol del problema de la dosificación inexacta de coagulante	29
5	Agua clarificada luego del test de jarra	30
6	Primera prueba. Resultado de la clarificación	30
7	Diagrama de bloques del sistema propuesto	32
8	Diagrama de flujo propuesto	33
9	Diagrama de flujo del proceso propuesto	33
10	Gráfico de dispersión lineal y la ecuación obtenida	35
11	Gráfico de dispersión lineal y la ecuación obtenida	36
12	Curva ajustada de regresión lineal, relación D.Q.O-S.S.T	37
13	Resumen general de la relación D.Q.O-S.S.T	37
14	Curva ajustada de regresión lineal, relación grasa-S.S.T	38
15	Resumen general de la relación grasa-S.S.T	38
16	Gráfico de la desviación estándar del parámetro S.S.T	41
17	Gráfico de la desviación estándar del parámetro D.Q.O	42

Índice de anexos

No	Descripción	Pág.
1	Procedimiento: Operación de la planta de tratamiento de aguas residuales	45
2	Formatos de control de la planta de tratamiento de aguas residuales	50
3	Simulación en el programa simulink de Matlab	53

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE TITULACIÓN

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL PARA AUTOMATIZAR LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES"

Autor: Quiroz Quimís Mario Alejandro.

Tutor: Ing. Quím. Reyes Venegas Harry Oswaldo, MSc.

Resumen

La presente investigación consiste en el diseño de un sistema de control para automatizar la dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales, donde este trabajo investigativo gestiona el diseño a través de ingeniería conceptual de un sistema capaz de controlar el uso del coagulante en el tratamiento de aguas mediante un modelo matemático de ajuste para regular frecuentemente la dosificación del insumo por medio de un polinomio de regresión lineal entre las variables S.S.T, D.Q.O y grasas del agua residual a tratar. Para llegar al fin se selecciona adecuadamente el equipo necesario de monitoreo de corriente circulante y bombas dosificadoras de químicos, conectadas a un sistema de control P&ID. Con el sistema automatizado propuesto se logrará mejorar la respuesta de dosificación de coagulante frente a los cambios que presente el agua a tratar, optimizando el uso del insumo y minimizando los costos del tratamiento de aguas.

Palabras Claves: *Automatización, agua residual, coagulación, control, dosificación*

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIDAD DE TITULACIÓN

"DESIGN OF A CONTROL SYSTEM TO AUTOMATE THE DOSAGE OF COAGULANT IN A PLANT OF WASTEWATER TREATMENT"

Author: Quiroz Quimís Mario Alejandro

Advisor: Ch.Eng. Reyes Venegas Harry Oswaldo, MSc.

Abstract

This investigation is about the design of a control system to automate the dosage of coagulant in a plant of wastewater treatment, therefore, this investigation work managed the design through conceptual engineering of a system able to control the usage of coagulant in the wastewater treatment by a mathematic model of adjustment to frequently regulate the dose of the item through a linear regression polynomial, between the S.S.T, D.Q.O variables and fats of wastewater to be treated. To get the result, it is carefully selected the necessary equipment for circulating current monitoring and chemical dosing pumps, connected to a P&ID control system. With the automatized system proposed it will improve the coagulant dosage response to the changes the water presents in treating, optimizing the usage of the item and reducing the costs of wastewater treatment.

Key words: *Automation, wastewater, coagulation, control, dosage.*

Introducción

La etapa de dosificación de coagulante en toda planta de tratamiento de aguas residuales constituye la parte más crítica del tratamiento, las consecuencias de tener problemas con el control de la coagulación son bien conocidas como pueden ser: la variabilidad del agua a tratar, elevar los costos en productos químicos, incumplimiento a normas ambientales, etc.

La aplicación de productos químicos generalmente es controlada por el personal de operación cuya experiencia adquirida en el tiempo les ha permitido enfrentar los problemas de variabilidad de la calidad de agua residual y las variaciones de caudal pero hay momentos en que está fuera de su alcance el reaccionar con suficiente rapidez para mantener la calidad de agua deseada, siendo muchas veces la tendencia general de dosificar en exceso como medida de seguridad, lo cual genera una merma de esta saliendo contraproducente para la salud.

La planta de tratamiento de aguas residuales presenta la necesidad del diseño de un sistema de control automatizado para la dosificación de coagulante.

El planteamiento de un modelo matemático de simulación relaciona uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de aguas residuales, como son lo sólidos suspendidos totales, y demanda química de oxígeno, con el fin, de conectarlo a un control P&ID.

Para desarrollar el presente trabajo, se ha divido la investigación en tres capítulos. En el capítulo I se presenta el diseño de la investigación y con ello se ejecutará la formulación del problema de investigación para poder efectuar la justificación y los objetivos de la investigación, valiéndose de la metodología del estudio para obtener los resultados deseados. En el capítulo II se describe el análisis, presentación de resultados y diagnóstico de la investigación que describe la situación actual del estudio. En el capítulo III, se presenta la propuesta, recomendaciones y conclusiones de la investigación.

Capítulo I
Diseño de la investigación

1.1. Antecedentes de la investigación

La revolución industrial originó trascendentales cambios tecnológicos, económicos y culturales en la historia, sin embargo, este cambio en la creación de productos causó un sinfín de alteraciones al medio ambiente, tales como, la contaminación de fuentes hídricas, que contribuyen al cambio climático, cuyas consecuencias se mantienen hasta el día de hoy. (BBC, 2012).

La contaminación del agua es la alteración o cambio que sufre el recurso por los contaminantes a que se expone en un proceso o sistema, que genera resultados perjudiciales en el medio ambiente. El vertido de aguas residuales sin tratamiento previo, damnifica al ser humano, la agricultura, acuicultura, fauna, flora, a la vida sustancial y cotidiana, con consecuencias desastrosas como: la falta de agua potable, riesgos a la salud y muerte de ecosistemas.

Durante el transcurso del tiempo han progresado los métodos de depuración de aguas residuales, mostrando más eficiencia en la mitigación de los diferentes contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua a ser tratada.

Con respecto a la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, se apela a los métodos de coagulación y floculación, con el objetivo de desestabilizar las partículas en suspensión llamadas coloides (causantes de la turbiedad y del color del agua), con la finalidad de aglomerar las partículas formando flóculos pequeños; para posteriormente pasar a la etapa de floculación, donde esta mezcla toma contacto con los flóculos ya formados permitiendo el crecimiento y aumento de peso, para la sedimentación de los mismos.

Los sistemas de control y automatización para el tratamiento de aguas residuales industriales, nos permiten acceder a una inmensidad de parámetros de control que son necesarios monitorear para poder generar agua tratada en óptimas condiciones, con la finalidad de verterla a un ecosistema, sin eliminar la vida presente o reutilizarla en procesos productivos o de servicios; de esta manera tener una economía circular. (AGUASRESIDUALES.INFO, 2018).

1.2. Problema de investigación

Dosificación inexacta de coagulante para el tratamiento de agua residual en una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.2.1. Planteamiento del problema.

La carencia de mecanismos de control y automatización en un proceso de tratamiento de aguas residuales para la dosificación de químicos genera incertidumbre en la verificación del cumplimiento de parámetros a seguir por la falta de elementos de medición en tiempo real, puesto que la variabilidad del agua a tratar es muy grande

La dosificación inexacta de coagulante que se genera por la variabilidad del agua residual que se requiere tratar es una de las variables que engloba el proceso de depuración de aguas, además de la carencia de instructivos estandarizados y mantenimientos planificados para el correcto funcionamiento de una planta tratamiento de aguas residuales. Si no se corrige a tiempo se puede incumplir en la legislación ambiental nacional, aumentar los costos en el proceso e incluso tener una baja eficiencia de remoción de los contaminantes, puesto que puede existir un excedente o insuficiencia de químicos para una coagulación exitosa, pero lo más importante es el compromiso socio ambiental.

Para ello se propone diseñar un sistema de control para automatizar la dosificación de coagulante, con la finalidad de estandarizar el suministro de químico con la carga contaminante que ingrese al agua.

Síntomas: Dosificación inexacta de coagulante en el proceso de tratamiento de agua residual.

Causas: Carencia de procedimientos estandarizados para la función de la planta de tratamiento de aguas residuales, por otra parte, la existencia de variabilidad de lotes del agua residual a tratar, así mismo de una carencia de instrumentos de medición y corrección de DQO en tiempo real y la ausencia de planificación de mantenimiento para los equipos, máquinas y herramientas a usar en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Pronóstico: Incumplimiento a la normativa ambiental nacional, aumento de costos en el proceso de tratamiento de aguas residuales y una baja eficiencia de remoción de los contaminantes en el proceso de depuración de aguas residuales puesto que puede existir un excedente o insuficiencia de químicos que repercute en una defectuosa coagulación. El incumplimiento al compromiso socio ambiental que existe entre el medio ambiente en general y la sociedad involucrada.

Control de pronóstico: Diseñar un sistema de control para automatizar la dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales, con la finalidad de estandarizar el suministro de químico a partir de la carga contaminante con la que ingrese el agua residual, disminuir los costos de tratabilidad, mantener una economía circular y formar un sistema socio ambiental.

1.2.2. Formulación del problema de investigación.

¿Cuáles con los factores que influyen para que exista una dosificación inexacta de coagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales?

La carencia de los equipos de medición en tiempo real de parámetros y la variabilidad del agua residual que se va a tratar, es uno de los factores que engloba el proceso de tratamiento de aguas residuales, puesto que la dosificación se realiza manualmente y no hay un equipo que controle la cantidad idónea para cada lote o batch a procesar, además de la carencia de procedimientos estandarizados y un plan de mantenimiento que garantice el correcto funcionamiento de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales.

1.2.3. Sistematización del problema de investigación.

- ¿La planta de tratamiento de aguas residuales, cuenta con procedimientos estandarizados para una correcta operación?
- ¿Se cuenta con instrumentos de medición y corrección de DQO en tiempo real?
- ¿La planta de tratamiento de aguas residuales tiene establecido un programa de mantenimiento?

1.3. Justificación de la investigación.

Diseñar un sistema de control para automatizar la dosificación de coagulante en el proceso de tratamiento de aguas residuales, garantizará la dosificación y remoción de la carga contaminante presente en el agua a ser tratada, generando un compromiso socio ambiental con la empresa, minimizando los costos de tratamiento y cumpliendo con la legislación ambiental vigente en el Ecuador que es la Norma de calidad ambiente y de descarga de efluentes: Recurso agua. Libro VI – Anexo 1 del Acuerdo ministerial 061, evitando sanciones e incumplimientos.

1.4. Objetivos de la investigación.

1.4.1. Objetivo general.

Diseñar un sistema de control en una planta de tratamiento de aguas residuales a nivel de ingeniería conceptual, con la finalidad de cumplir la normativa, reducir la variabilidad de la remoción de contaminantes y minimizar los costos de tratamiento.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Describir la situación actual del proceso de tratamiento de aguas residuales.
- Recolectar la información técnica del proceso de tratamiento para levantar el procedimiento de trabajo.

- Planificar un sistema de dosificación automatizada de coagulante para el tratamiento de agua residual.
- Modelar un sistema de control automatizado para la eficaz dosificación del químico.
- Simular el funcionamiento del sistema de control automatizado.

1.5. Marco de referencia de la investigación.

1.5.1. Marco teórico.

1.5.1.1. Teorías generales.

La Automatización.

En las últimas décadas se ha presentado la tendencia de controlar y automatizar de manera gradual los procesos productivos de todo tipo, persiguiendo los objetivos de mejorar la calidad de los productos y servicios, manteniendo los estándares de producción, mejorando la productividad, reduciendo costos de producción y mano de obra.

Estos objetivos actualmente se han convertido en requisitos para poder competir en el mercado. Se pueden establecer varios niveles en la automatización de los procesos productivos tales como a nivel de maquinaria (considerando máquinas que realizan tareas puntuales), nivel de célula (el conjunto de máquinas automatizadas, procesos más complejos), nivel de planta (considera la automatización de toda la planta de producción) y a nivel de empresa (la parte administrativa y operativa del establecimiento). (Llopis, Pérez, & Latorre, Automatización industrial, 2010)

Encaminados con los objetivos de la automatización industrial que son los mencionados a continuación:

a. Desarrolla la productividad de las compañías, puesto que decrecen los costos de insumos y mejora la calidad de los productos.
b. Mejora las condiciones de trabajo, puesto que suprime el trabajo de alto riesgo para los humanos.
c. Mejora el manejo para los operarios, ya que no requiere grandes conocimientos.
d. Incluye la tecnología e innovación con la producción. (Viloria, 2011)

Controladores automáticos.

Los controladores automáticos comparan un valor real de la salida de un sistema a la entrada de referencia (valor deseado), determinando la desviación o variante y produciendo una señal de control, reduciendo la desviación a cero o a un valor pequeño, generando una acción de control, que es como se denomina. (Ogata, 2010)

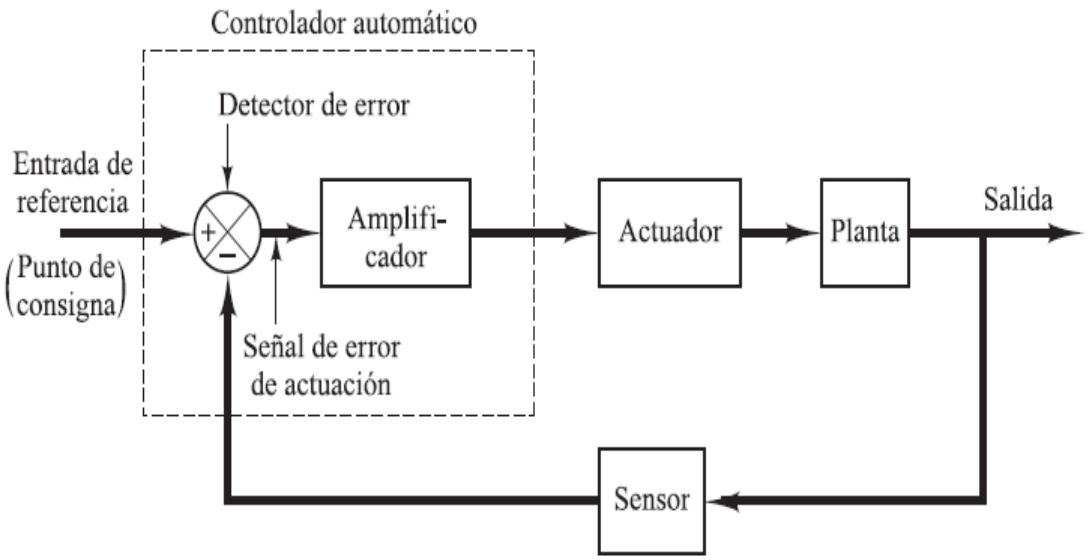


Figura 1.*Diagrama de bloques de un sistema de control industrial. Información tomada del libro de ingeniería de control moderna de Ogata (2010)*

Clasificación de los controladores industriales.

Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

a. De dos posiciones o controladores on-off.
b. Controladores proporcionales.
c. Controladores integrales.
d. Controladores proporcionales-integrales.
e. Controladores proporcionales-derivativos.
f. Controladores proporcionales-integrales-derivativos.

El tipo de controlador que se use debe considerarse basándose en las condiciones del sistema donde se instalará y las condiciones de operación, puesto que si no se consideran estas variables puede fallar en su operación. (Ogata, 2010)

Acciones de control proporcional.

Para los controles proporcionales, la relación es la siguiente: Salida del controlador u(t) y la señal de error e(t) es:

$$u(t) = K_P e(t)$$

Donde K_P se considera la ganancia proporcional.

Cualquiera que sea el mecanismo real de control y la forma de la potencia de operación, el controlador proporcional es, en esencia, un amplificador con una ganancia ajustable en medición continua. (Ogata, 2010)

Control de procesos.

El control de los procesos en la manufactura es muy importante, puesto que, se balancea los costos y el producto final. El control automático de los procesos industriales es una actividad multidisciplinaria en el mundo globalizado de hoy, teniendo en consideración aspectos técnicos (electrónica, electricidad, control y automatización, etc.), científicos (investigación y materiales) y económicos para mejorar la calidad y no perder la competitividad.

Los sistemas de control sofisticados, son instalados con elementos de instrumentación industrial o control industrial automatizado. (Viloria, 2011)

Los objetivos del control de proceso puede resumirse en:

a. Operar los procesos de forma segura.
b. Diseñar sistemas de control para que los operadores puedan interpretar y por ende manipular en forma selectiva las opciones planteadas.
c. Evitar desviaciones y mermas en los procesos.
d. Controlar las cualidades del proceso con valores permisibles dentro de un rango establecido. (Viloria, 2011)

El automatismo.

Se determina que un sistema es automatizado cuando es capaz de reaccionar de forma automática ante las variaciones que se producen en el mismo, realizando acciones adecuadas para cumplir la función para la que se ha sido diseñado.

Los automatismos programados se implementan por medio de un programa que se acciona en un microprocesador que sigue instrucciones determinadas a una función lógica que relaciona las entradas y salidas del proceso o sistema. Se puede implementar de 3 formas: Autómata programable industrial, ordenador (PC industrial), microcontrolador.

Las ventajas de usar los automatismos programados son que permiten realizar modificaciones o ampliaciones del sistema ya instalado, además de que ocupan poco espacio permitiendo implementar funciones de control y de comunicación complejas. (Llopis, Pérez, & Latorre, Automatización industrial, 2010)

La contaminación ambiental.

Es toda sustancia, energía u organismo extraño en un ambiente definido en cantidad, tiempo y condiciones tales que puedan causar un desequilibrio ambiental.

La contaminación ambiental se ve reflejada en la naturaleza como compuestos gaseosos, dióxido de carbono, partículas sólidas suspendidas, vertido de aguas residuales,

temperaturas elevadas en fuentes hídricas, residuos sólidos, pero para esto la contaminación se clasifica en dos tipos:

La contaminación natural; que se debe a los fenómenos naturales que se presentan en tierra, tales como erupciones volcánicas, deslizamientos, etc.

La contaminación antropogénica; que se genera por las actividades realizadas por el hombre por medio de las industrias, con contradicciones severas para la naturaleza. (Díaz, 2002)

La ingeniería ambiental.

Es una rama de la ingeniería que tiene como tarea el diseñar tecnologías encargadas de mitigar y controlar la contaminación del medio ambiente provocada por las actividades de la mano del hombre, así como a revertir sus efectos en los recursos: Agua, suelo, aire.

También considera la restauración y limpieza de áreas contaminadas por desechos sólidos o líquidos, con la finalidad de tener fuentes alternas de energía limpia o producción más limpia. (Díaz, 2002)

1.5.1.2. Teorías Sustantivas.

Aguas residuales.

El agua residual es una mezcla formada por un conjunto de contaminantes de características físicas, químicas y biológicas, disueltos en agua limpia. La concentración de los contaminantes generalmente es poca, ya que se expresa en mg/l, esto quiere decir, cuantos miligramos de contaminación existe por litro de agua residual. (Henry & Heinke, 1999).

Proceso de tratamiento de agua residual.

El tratamiento de aguas residuales industriales se puede llevar a cabo por métodos físicos, químicos y biológicos, por medio de los cuales se logran eliminar sustancias contaminantes que son las encargadas de cambiar las características del agua, pasando por las etapas de captación, mezclado, coagulación, floculación, decantación, clarificación, filtrado, reutilización (si es el caso) y descarga final a un cuerpo de agua dulce o alcantarillado local dependiendo de la ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

A continuación se detalla las etapas descritas para el proceso de tratamiento de aguas.

Características físicas

Las características físicas fundamentales del agua residual son el contenido de sólidos totales, olor, temperatura, color, conductividad eléctrica, sólidos sedimentados, transmisión de sonido, cambios de estados y la turbiedad.

- Sólidos totales: Es la materia que se extrae como residuo luego de someter el agua a un proceso de evaporación a entre 103 y 105 ºC.
- Sólidos sedimentados: Son aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de tiempo entre 60 y 120 minutos.
- Olores: Son los gases liberados en el proceso de descomposición de las sustancias orgánicas. La serie de problemas que genera el olor de las aguas residuales es la principal causa de discordia al momento de la implantación de estaciones de depuración de aguas residuales.
- Temperatura: Es un parámetro de suma importancia dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática, así como para ciertos usos en la industrial.
- Color: En la mayoría de casos el agua residual industrial adquiere color en proceso productivo como gris y negro debido a los metales presentes en el agua residual.
- Turbiedad: Se lleva a cabo por medio de la comparación entre la intensidad de la luz proyectada en una muestra y la materia coloidal dispersa. (EDDY, 1996)

Características químicas.

Las principales características químicas del agua residual se reflejan en lo siguiente:

Materia orgánica: Cerca del 75 por 100 de los sólidos en suspensión y del 40 por 100 de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, éstos son formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno y en determinados casos nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fósforo o hierro.

La medición del contenido orgánico se puede clasificar en dos grupos, los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico (>1mg/l) y para determinar bajas concentraciones (0,001 a 1 mg/l).

La materia inorgánica: Concentración del pH, cloruros, alcalinidad, nitrógeno, fosforo, azufre, metales pesados, gases y oxígeno disuelto son parte de la materia inorgánico. (EDDY, 1996)

Características biológicas.

Las principales características biológicas del agua residual desde el punto de vista biológico están familiarizadas con el grupo de los microorganismos biológicos y organismos patógenos.

Los microorganismos biológicos presentes en las aguas residuales industriales son: las bacterias que proceden del suelo paredes y fosos donde se almacena temporalmente el agua residual, los hongos, las algas, las plantas, los animales, los virus y los organismos patógenos proceden de desechos humanos como los coliformes fecales y los estreptococos fecales, etc. (EDDY, 1996)

Características Físicas, químicas y biológicas del agua residual.

A continuación, se detallan los constituyentes físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales:

Tabla 1. *Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.*

Características	Procedencia
Propiedades físicas	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasas.	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.

Otros Inorgánicos:	
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, aguas de suministro, infiltración de aguas subterráneas.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, aguas de suministro, infiltración de aguas subterráneas.
Metales pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentías.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Azufre	Agua de suministro; Aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
Gases:	
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; Infiltración de agua superficial
Constituyentes biológicos:	
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Protistas:	
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Información tomada del Libro Ingeniería de aguas residuales; Metcalf & Eddy (1995). Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

Etapas generales del tratamiento de aguas residuales

Captación de agua residual.

Primera etapa

Es la primera etapa del proceso de tratamiento de aguas residuales, la captación del agua residual donde cada punto del sistema productivo envía agua residual a un tanque de almacenamiento temporal de agua residual, con la finalidad de efectuar la etapa de homogenización de aguas. (Cárdenas, 2000)

Mezclado de agua residual.

La agitación que se le proporciona al agua residual, durante la adición de los químicos, define, si la coagulación y la floculación se completó, donde la agitación debe de ser uniforme y continua en toda el agua residual a ser tratada, con la finalidad de asegurar la eficiencia de remoción de la contaminación del agua con los productos químicos a ser empleados.

La inadecuada mezcla, dentro de la inyección de productos químicos, puede conllevar a un incremento en el consumo de los mismos, debido a que, no se puede generar una dispersión total de los químicos utilizados dentro del volumen de agua a tratar, es decir, carencia en la formación de micro flóculos. (Cárdenas, 2000)

La coagulación.

Es un proceso químico que se utiliza para desestabilizar partículas coloidales, consiste en agregar un producto químico que aporta iones con carga positiva al agua que contiene coloides con carga negativa. Las reacciones que se producen reducen la tendencia de los coloides a repelerse entre sí. Se requiere un mezclado rápido de alrededor de 30 segundos para dispersar el coagulante. En seguida, se lleva a cabo un mezclado suave de la suspensión, llamado floculación, a fin de favorecer el contacto entre partículas. Esto se consigue por mezclado mecánico mediante el uso de paletas que giran lentamente dentro del tanque reactor. El tiempo de retención en el tanque varía por lo común entre 20 y 40 minutos en tanque de 3 a 4 metros de profundidad.

Por medio del proceso químico y físico combinado de coagulación/floculación, las partículas coloidales que no se asientan por sedimentación simple se aglomeran para formar sólidos más grandes llamados flóculos. Estos tienen aspectos de grumos esponjosos de forma irregular y son capaces de atrapar las partículas pequeñas no coaguladas al asentarse en el fondo. El sulfato de aluminio (Alumbre) es el coagulante más común, pero se puede utilizar también polímeros orgánicos, solo o en combinación con el alumbre, para mejorar la floculación. La suspensión de flóculos se transfiere con cuidado a los tanques de coagulación/floculación a tanques de sedimentación, o directamente a filtros donde se separan los flóculos.

Existen factores que influyen en la coagulación, tales como, el pH, la turbiedad, las sales disueltas, la temperatura del agua, el tipo de coagulante a usar, las condiciones de mezcla.

La relación entre cada uno de ellos permite establecer la cantidad optima de coagulante a dosificar en el agua a tratar, puesto que son los parámetros que se caracterizan por predominar en el tratamiento de aguas residuales y los que más carga contaminante tiene al momento de procesar y por eso, existe la variabilidad del batch a procesar.

La influencia del pH, es la variable más importante a considerar al momento de la coagulación, puesto que, en cada proceso de tratamiento de aguas existe un rango óptimo de pH en el cual tiene lugar una coagulación rápida y efectiva, a consecuencia de que, si la coagulación se realiza fuera del rango óptimo de pH, se debe aumentar la cantidad de coagulante.

La variación de la temperatura del agua a tratar, es también un factor importante en el tratamiento de aguas residuales, puesto que, la diferencia de grados centígrados, puede desestabilizar la decantación o tener una coagulación más lenta, ocasionado que el operador desconfíe del proceso y dosifique más químico para tratar el agua.

La dosificación de coagulante, tiene el dominio en la eficiencia de la coagulación, puesto que la insuficiencia de coagulante puede generar que no neutralice totalmente la carga de la partícula coloidal a tratar, formado limitados micro flóculos y por ende la turbiedad del agua se mantendrá.

Cuando la dosis de coagulante se eleva, se produce una gran formación de micro flóculos con tamaños pequeños que tiene una velocidad de sedimentación baja, produciendo que la turbiedad del agua residual sea igualmente elevada. (Cárdenas, 2000)

Tipos de coagulación

Se presentan dos tipos básico de coagulación: Por adsorción y barrido-.

Donde la coagulación por adsorción se presenta cuando, el agua a tratar presenta una excesiva concentración de partículas coloidales, donde estas partículas son absorbidas por el coagulante y forma lo flóculos de forma rápida.

La coagulación por barrido, se la utiliza para aguas claras, de baja turbiedad con partículas coloidales pequeñas, en este caso las partículas coloidales son atrapadas al momento de saturarse y precipitan al fondo del envase. (Cárdenas, 2000)

Remoción de la turbiedad.

El abastecimiento de una dosis creciente de coagulante al agua a tratar presenta diferentes sectores de coagulación:

Sector 1: La dosis de coagulantes no es suficiente para desestabilizar las partículas coloidales y por ende no se produce coagulación.

Sector 2: Al incrementar la dosis de coagulante, se produce una rápida unión de las partículas coloidales.

Sector 3: Si se continúa incrementando la dosificación, llega un momento en que no se genera una buena coagulación, ya que los coloides se reestabilizan.

Sector 4: Al aumentar aún más la dosis, hasta llegar a producir una super saturación se genera de nuevo una rápida precipitación con efecto de barrido, arrastrando las partículas coloidales que forman la turbiedad.

La siguiente figura, explica los diferentes sectores de la coagulación considerando la turbiedad del agua residual a tratar.

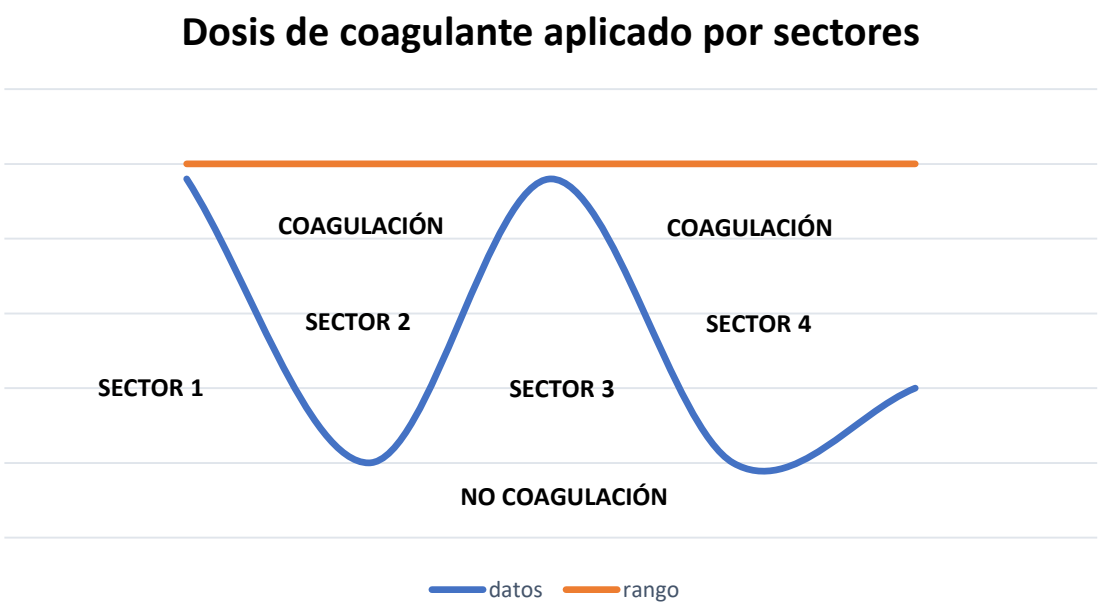


Figura 2. *Dosis de coagulante aplicado por sectores. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

La floculación.

Es el proceso que continua a la coagulación, que consiste en la agitación de la materia coagulada, permitiendo al crecimiento de los flóculos ya formados, aumentado su tamaño y peso adecuado para poder sedimentar sin problemas.

La floculación es favorable cuando se genera un mezclado lento, permitiendo poco a poco la unión de los flóculos, puesto que, si la agitación es intensa puede provocar la ruptura de los enlaces y por ende el retraso en la sedimentación requerida.

Los floculantes son polímeros con pesos moleculares muy elevados, formados por moléculas solubles en agua, que producen lagar cadenas de saturación de partículas. Los

floculantes más utilizados son los orgánicos de síntesis que se clasifican en aniónicos, catiónicos y no aniónicos; esto depende de las características del agua residual a tratar.

Floculación ortocinética.

Está producida por el movimiento de agua, mediante de un agente externo de origen mecánico; con el fin de aglomerar los flóculos formados en la etapa de la coagulación, produciendo la floculación pericinética luego se produce la floculación ortocinética.

1.5.1.3. Referentes empíricos.

Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria (2015).

Es el texto unificado de la legislación secundaria del ministerio del ambiente, es aquel que reúne las leyes relacionadas a protección de los recursos naturales.

El tulsma recopila los siguientes anexos:

- Anexo I-Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Recurso agua.
- Anexo II-Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos contaminados.
- Anexo III-Norma de emisiones al aire desde fuentes fijas.
- Anexo IV-Norma de calidad de aire ambiente.
- Anexo V-Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones.

Cada uno de los anexos enunciados, brindan al lector el conocimiento idóneo para preservar la vida del recurso nombrado. De los anexos mencionados el anexo I del TULSMA habla sobre la calidad ambiente del recurso agua, que es una de las bases del trabajo investigativo.

Anexo I-Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes. Recurso agua.

El objetivo que tiene esta norma es la prevención y control de la contaminación ambiental, en lo relativo al recurso agua, protegiendo la calidad del recurso para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del medio en general.

Las acciones tendientes a preservar, conservar o recuperar la calidad del recurso agua deberán realizarse en los términos de la presente norma de la reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria.

El anexo I, se clasifica en dos criterios, tales como, los de calidad para usos y criterios generales de descarga de efluentes.

1.5.2. Marco Legal.

Dentro de la normativa ambiental vigente que se utilizará para la presente investigación se van a consideran los siguientes enunciados de normativa ambiental, puesto que, son los más representativos en la investigación a desarrollar, en lo que compete al tratamiento de aguas residuales industriales:

Constitución de la República del Ecuador.

Esta constitución fue aprobada mediante consulta pública el 28 de septiembre del 2008 y publicada en el Registro Oficial 449 del 20 de octubre del 2008. En varios títulos y capítulos de esta constitución se hace referencia a la necesidad de conservar el ambiente y ser responsable con el ambiente y de las personas de las actividades productivas que manejamos. Es una constitución que incluye derechos para la naturaleza, lo cual la constituye en una constitución pionera en el tema ambiental. A continuación, los principales artículos:

Título II, Capítulo segundo, sección segunda (ambiente sano).

Artículo 14: Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay.

Artículo 15: Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Capitulo Séptimo (derechos de la naturaleza).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas.

Capitulo noveno: responsabilidades.

Artículo 83, numeral 6: Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. Numeral 13: Conservar el patrimonio cultural y natural del país, y cuidar y mantener los bienes públicos. Título VI, capítulo primero (principios generales).

Título VII, Capitulo segundo, sección primera (naturaleza y ambiente):

Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.

3. El Estado garantizará la participación activa y permanente de las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades afectadas, en la planificación, ejecución y control de toda actividad que genere impactos ambientales.

4. En caso de duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, éstas se aplicarán en el sentido más favorable a la protección de la naturaleza.

Ley de Gestión Ambiental.

Titulo VI de la protección de los derechos ambientales.

Art. 41.- Con el fin de proteger los derechos ambientales individuales o colectivos, concédase acción pública a las personas naturales, jurídicas o grupo humano para denunciar la violación de las normas de medio ambiente, sin perjuicio de la acción de amparo constitucional previsto en la Constitución Política de la República.

Art. 42.- Toda persona natural, jurídica o grupo humano podrá ser oída en los procesos penales, civiles o administrativos, que se inicien por infracciones de carácter ambiental, aunque no hayan sido vulnerados sus propios derechos. El presidente de la Corte Superior del lugar en que se produzca la afectación ambiental, será el competente para conocer las acciones que se propongan a consecuencia de la misma. Si la afectación comprende varias

jurisdicciones, la competencia corresponderá a cualquiera de los presidentes de las cortes superiores de esas jurisdicciones.

Capítulo I de las acciones civiles. Art. 43.- Las personas naturales, jurídicas o grupos humanos, vinculados por un interés común y afectado directamente por la acción u omisión dañosa podrán interponer ante el Juez competente, acciones por daños y perjuicios y por el deterioro causado a la salud o al medio ambiente incluyendo la biodiversidad con sus elementos constitutivos.

Sin perjuicio de las demás acciones legales a que hubiere lugar, el juez condenará al responsable de los daños al pago de indemnizaciones a favor de la colectividad directamente afectada y a la reparación de los daños y perjuicios ocasionados. Además, condenará al responsable al pago del diez por ciento (10%) del valor que represente la indemnización a favor del accionante. Sin perjuicio de dichos pagos y en caso de no ser identificable la comunidad directamente afectada o de constituir ésta el total de la comunidad, el juez ordenará que el pago, que por reparación civil corresponda, se efectúe a la institución que deba emprender las labores de reparación conforme a esta Ley.

En todo caso, el juez determinará en sentencia, conforme a los peritajes ordenados, el monto requerido para la reparación del daño producido y el monto a ser entregado a los integrantes de la comunidad directamente afectada. Establecerá además la persona natural o jurídica que deba recibir el pago y efectuar las labores de reparación. Las demandas por daños y perjuicios originados por una afectación al ambiente, se tramitarán por la vía yerbal sumaria.

Ley de aguas.

Es la Ley que garantiza el derecho humano al agua como el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible para uso personal y doméstico en cantidad, calidad, continuidad y cobertura, entre otros aspectos.

Art. 12.- El Estado garantiza a los particulares el uso de las aguas, con la limitación necesaria para su eficiente aprovechamiento en favor de la producción.

Art. 22.- Prohíbase toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna. El Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, en colaboración con el Ministerio de Salud Pública y las demás Entidades Estatales, aplicará la política que permita el cumplimiento de esta disposición.

Ley orgánica de salud.

Capitulo III.

Derechos y deberes de las personas y del estado en relación con la salud

Art. 7.- Toda persona, sin discriminación por motivo alguno, tiene en relación a la salud, los siguientes derechos:

c) Vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;

Capitulo V.

Medio ambiente y riesgos laborales por factores físicos, químicos y biológicos.

1. En los locales de trabajo y sus anexos se procurará mantener, por medios naturales o artificiales, condiciones atmosféricas que aseguren un ambiente cómodo y saludable para los trabajadores.

2. En los locales de trabajo cerrados el suministro de aire fresco y limpio por hora y trabajador será por lo menos de 30 metros cúbicos, salvo que se efectúe una renovación total del aire no inferior a 6 veces por hora.

6. En los centros de trabajo expuestos a altas y bajas temperaturas se procurará evitar las variaciones bruscas.

7. En los trabajos que se realicen en locales cerrados con exceso de frío o calor se limitará la permanencia de los operarios estableciendo los turnos adecuados.

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Recurso agua.

4.2 criterios generales para la descarga de efluentes

4.2.1 normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua.

4.2.1.1 El regulado deberá mantener un registro de los efluentes generados, indicando el caudal del efluente, frecuencia de descarga, tratamiento aplicado a los efluentes, análisis de laboratorio y la disposición de los mismos, identificando el cuerpo receptor.

Es mandatorio que el caudal reportado de los efluentes generados sea respaldado con datos de producción.

4.2.1.3 Se prohíbe la utilización de cualquier tipo de agua, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados.

4.2.1.4 Las municipalidades de acuerdo a sus estándares de Calidad Ambiental deberán definir independientemente sus normas, mediante ordenanzas, considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. En sujeción a lo establecido en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación.

4.2.1.5 Se prohíbe toda descarga de residuos líquidos a las vías públicas, canales de riego y drenaje o sistemas de recolección de aguas lluvias y aguas subterráneas. La Entidad

Ambiental de Control, de manera provisional mientras no exista sistema de alcantarillado certificado por el proveedor del servicio de alcantarillado sanitario y tratamiento e informe favorable de esta entidad para esa descarga, podrá permitir la descarga de aguas residuales a sistemas de recolección de aguas lluvias, por excepción, siempre que estas cumplan con las normas de descarga a cuerpos de agua.

4.2.1.6 Las aguas residuales que no cumplan previamente a su descarga, con los parámetros establecidos de descarga en esta Norma, deberán ser tratadas mediante tratamiento convencional, sea cual fuere su origen: público o privado. Por lo tanto, los sistemas de tratamiento deben ser modulares para evitar la falta absoluta de tratamiento de las aguas residuales en caso de paralización de una de las unidades, por falla o mantenimiento.

4.2.1.8 Los laboratorios que realicen los análisis de determinación del grado de contaminación de los efluentes o cuerpos receptores deberán haber implantado buenas prácticas de laboratorio, seguir métodos normalizados de análisis y estar certificados por alguna norma internacional de laboratorios, hasta tanto el organismo de acreditación ecuatoriano establezca el sistema de acreditación nacional que los laboratorios deberán cumplir.

4.2.1.9 Los sistemas de drenaje para las aguas domésticas, industriales y pluviales que se generen en una industria, deberán encontrarse separadas en sus respectivos sistemas o colectores.

4.2.1.10 Se prohíbe descargar sustancias o desechos peligrosos (líquidos-sólidos semisólidos) fuera de los estándares permitidos, hacia el cuerpo receptor, sistema de alcantarillado y sistema de aguas lluvias.

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación:

Tabla 2. *Resumen de límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

Parámetros	**Expresado como**	**Unidad**	**Limite Max. Permisible**
Potencial de hidrógeno	pH	-	5-9
Temperatura	ºC	-	<35
Aceites y grasas	Sustancias solubles En hexano	Mg/l	0.3

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	$D.B.O_5$	Mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	Mg/l	200
Sólidos totales	-	Mg/l	1600
Sólidos suspendidos	-	Mg/l	100
Sólidos sedimentables	-	Mg/l	1.0

Información tomada del Anexo 1. Tabla 12 Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes, Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

1.5.3. Marco conceptual.

Automatización: Se determina que un sistema es automatizado cuando es capaz de reaccionar de forma automática ante las variaciones que se producen en el mismo, realizando acciones adecuadas para cumplir la función para la que se ha sido diseñado. (Llopis, Pérez, & Latorre, Automatización industrial, 2010)

PID (Proporcional Integral Derivativo): Es un mecanismo de control, que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, con la finalidad de generar una acción correctora de ajuste a un proceso.

Corriente circulante: Efecto donde las superficies rápidamente asumen las características de cargas de las partículas coloidales inmovilizando temporalmente y la totalidad del líquido es forzada a circular alrededor de las partículas. (Hach, 2019)

Contaminación: Es toda sustancia, energía u organismos extraños en un ambiente definido en cantidades, tiempo y condiciones tales que puedan causar un desequilibrio ambiental. (Díaz, 2002)

Agua Residual: El agua residual es una mezcla formada por un conjunto de contaminantes de características físicas, químicas y biológicas, disueltos en agua. La concentración de los contaminantes generalmente es poca, ya que se expresa en mg/l, esto quiere decir, cuantos miligramos de contaminación existe por litro de agua residual. (Henry & Heinke, 1999).

Tratamiento de agua: De acuerdo con la Norma de calidad de ambiente y descarga de efluente: recurso agua nos menciona que es aquel que está conformado por un tratamiento primario y secundario. El tratamiento primario contempla operaciones físicas, tales como, coagulación, sedimentación, filtración y el tratamiento secundario que emplea procesos

biológicos y químicos para remoción de compuestos orgánicos presentes en el agua residual tanto industrial como doméstica a ser trata, para la eliminación de las partículas coloidales o coloides.

Coagulación: Es un proceso químico que se utiliza para desestabilizar partículas coloidales, consiste en agregar un producto químico que aporta iones con carga positiva al agua que contiene coloides con carga negativa.

Floculación: Es el proceso que continua a la coagulación, que consiste en el crecimiento y acumulación de los flóculos hace poco formados con el fin de incrementar su dimensión y peso preciso para sedimentar con facilidad. (Cárdenas, 2000)

Coloides: Son soluciones estables eléctricamente, por lo tanto, es imposible su sedimentación natural, es la sustancia responsable de la turbiedad y del color del agua residual. (Cárdenas, 2000)

Ensayo de "Prueba de jarra": Es un método que se encarga de simular los procesos de coagulación y floculación a nivel de laboratorio, permitiendo obtener la dosificación optima de coagulante en el agua residual a ser tratada. (Cárdenas, 2000)

Mezcla rápida: Método que se utiliza para la inyección de productos químicos dentro de un tanque mezclador, para conseguir la formación de partículas denominadas floc. Una inadecuada mezcla rápida puede llevar a un incremento de productos químicos. (Cárdenas, 2000).

Decantación: Eliminación de sólidos presentes en el agua residual a tratar por la acción de la gravedad, para posterior retiro por succión de la mezcladora y disposición final. (Cárdenas, 2000)

pH: El pH es una medida de la activad del ion hidrógeno en una solución, y se expresa de la siguiente manera. (Cárdenas, 2000)

$$pH = -\log\{H +\}$$

Turbiedad: Es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; midiendo el efecto de la dispersión presente al paso de la luz, en función de un número, tamaño y forma de partícula.

Solidos: Materia que en lo usual se encuentra en el agua residual y que sigue manteniendo su estado sólido, aunque se encuentre fuera del agua.

Solidos suspendidos totales (S.S.T): Es un sistema visible en las aguas residuales, tanto en la superficie y la profundidad o fondo, que se pueden remover por medios físicos o mecánicos por medio de procesos de filtración o de sedimentación, se los puede evidenciar tomando una muestra del agua residual en un cono Imhoff y dejar sedimentar por una hora.

Solidos disueltos totales (T.D.S): recibe el nombre de aquellos sólidos retenidos en un proceso de filtración con membranas finas, suelen están formados por 40% orgánicos y 60% inorgánicos.

1.6. Formulación de la hipótesis y variables.

1.6.1. Hipótesis general.

Es posible diseñar un sistema de control para automatizar la dosificación de coagulante el proceso de tratamiento de aguas residuales, garantizando la remoción de la carga contaminante presente en el agua a ser tratada y generando un compromiso ambiental con la empresa.

1.6.2. Variables. (Independientes y dependientes)

1.6.2.1. Variable Independiente.

Automatización

1.6.2.2. Variable Dependiente.

Contaminación.

1.7. Aspectos metodológicos de la investigación.

1.7.1. Tipo de estudio.

Documental.

Puesto que se requiere información de textos, tanto como de ingeniería ambiental, automatización y de tratamiento de aguas residuales con el fin de general resultados técnicos en el diseño a implementar.

1.7.2. Métodos de investigación.

La investigación planteada será de carácter exploratorio, para poder detectar las variables, relacione y condiciones para generar el diseño automatizado, además de utilizar le método experimental, puesto que, se simulará el funcionamiento de la planta de tratamiento automatizada.

1.7.3. Fuentes y técnicas para la recolección de la información.

Las fuentes y técnicas a utilizar serán las siguientes:

La observación: con la finalidad de determinar los parámetros del agua a tratar y así generar una correcta simulación del diseño experimental y será de tipo cuantitativo por la recolección de datos para analizar.

1.7.4. Tratamiento de la información.

Para la tabulación del contenido se ingresan los datos en Microsoft Excel y Microsoft Word.

1.7.5. Resultados e impactos esperados.

Disponer de un control automático en la dosificación de coagulante del proceso de tratamiento de aguas residuales, garantizando la dosificación y remoción de la carga contaminante presente en el agua residual, cumpliendo con las regularizaciones ambientales vigentes, además de crear una cultura ambientalista de minimización del consumo: recurso agua.

Capítulo II

Análisis, Presentación de Resultados y Diagnóstico

2.1. Análisis de la Situación Actual.

2.1.2. Generación de efluentes.

Los efluentes generados en las operaciones que se realizan en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales, son transportados hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para someterlos al tratamiento físico-químico (tratamiento primario) y al tratamiento biológico (tratamiento secundario) para la eliminación de los agentes contaminantes.

Tabla 3*. Resumen de efluentes procesado, reutilizados y evacuados.*

Meses	A. Residual Procesada (m3)	A. Residual Reutilizada (m3)	A. Tratada Desalojada (m3)	% Reutilización	% Evacuación
Enero	920	302	618	33%	67%
Febrero	1.098	302	796	28%	72%
Marzo	1.197	356	841	30%	70%
Abril	1.106	302	804	27%	73%
Mayo	1.015	302	713	30%	70%
Junio	1.098	313	785	29%	71%
Julio	1.106	313	793	28%	72%
Agosto	1.303	335	968	26%	74%
Septiembre	1.167	302	864	26%	74%
Octubre	1.061	302	758	29%	71%
Noviembre	1.318	378	940	29%	71%
Diciembre	1.098	302	796	28%	72%
Total	13.489	3.812	4.769	28%	72%

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

Se observa en la tabla anterior los datos de caudal tratados en el 2018, el mismo que en promedio es de 1124 m3/ mensuales, es decir aproximadamente 40 m3/día. Con un porcentaje del 28% de reutilización del agua, para el proceso de la cocina de almidón y un 72% de evacuación o descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

2.1.3. Caracterización fisicoquímica del agua residual.

La variabilidad en las concentraciones del agua residual, se describen en la siguiente tabla:

A continuación, se muestran los resultados de los parámetros físicos, químicos y orgánicos de la planta de tratamiento de aguas residuales, concerniente al afluente.

***Tabla 4**. Parámetros físico químico y orgánicos del afluente.*

Parámetros	Unidad	Afluente Enero	Afluente Abril	Afluente Agosto	Afluente Diciembre	Media
D.Q.O	Mg/l	22900	15414	15275	19850	18360
S.S.T	Mg/l	447	2550	860	4986	2211
Aceites y grasas	Mg/l	16	58.75	17	13	26
pH	-	8.8	7.01	7.5	7.5	7.7
Temperatura	ºC	29.3	28.1	29.2	30.5	29.3

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

Con respecto al **afluente** (entrada al sistema de tratamiento de aguas residuales), se han obtenido concentraciones de variables de los diferentes parámetros analizados, de los últimos meses se estima de un promedio de DQO de 18360 mg/l y 2501 mg/l de DBO_5, tal como se observa en la tabla 4.

***Tabla 5.** Parámetros físico químico y orgánicos del efluente al proceso biológico.*

Parámetros	Unidad	Efluente Enero	Efluente Abril	Efluente Agosto	Efluente Diciembre	Promedio
D.Q.O	Mg/l	668	1770	513	814	941
S.S.T	Mg/l	42	143	58	70	78
Aceites y grasas	Mg/l	0.6	0.5	<0.44	0.8	0.6
pH	-	7.51	6.87	7.75	7.8	7.5
Temperatura	Mg/l	33.3	34.6	33.1	30.3	32

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

El efluente que ha pasado por el tratamiento primario posee una carga promedio de DBO_5 de 412 mg/l y un DQO de 916 mg/l, valores que se encuentran por encima de los límites de vertido, pero cumplen en normal cuando el efluente del proceso primario ingresa al proceso de lodos activados, con un promedio de clarificación en parámetros DQO de 150 Mg/l.

Tabla 6. *Parámetros físico químico y orgánicos de la descarga final.*

Parámetros	Unidad	D. Final Marzo	D. Final Junio	D. Final Julio	D. Final diciembre	LMP TULSMA
D.Q.O	Mg/l	98	194	197	166	200
S.S.T	Mg/l	23	21	37	6	130
Aceites y grasas	Mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	30
pH	-	7.7	7.9	7.7	6.7	6-9
Temperatura	Mg/l	29.1	27.4	26.7	28.6	-

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

La Descarga **(D)** final que ha pasado por el tratamiento secundario o de lodos activados, posee una carga promedio de DBO_5 de 44 mg/l y un DQO de 164 mg/l, valores que se encuentran dentro del límite máximo permisible **(LMP)** de vertido hacia un cuerpo de agua dulce.

2.1.4. Dosificación actual de Coagulante.

El agua residual, es bombeada a un mezclador a razón de 90 glns/min, hasta llenar la capacidad de procesamiento de 7.5 m^3, donde ingresa a las etapas de coagulación, floculación, clarificación, y sedimentación.

Una vez que el mezclador llega a su máxima capacidad de 7.5 m^3 y un agitador mecánico conectado a una caja reductora, mezcla el agua durante un tiempo aproximado de 5 minutos, el coagulante es dosificado por una bomba de forma manual al mezclador por el operador, hasta que se logre observar formar flóculos pequeños y esponjosos, la razón de coagulante empleado es de 1 a 6 litros por Batch o lote. Comprobada la coagulación por el operador, se dosifica mediante bombeo entre 15 a 40 litros de floculante y se deja en reposo un espacio de unos 15 minutos aproximadamente, con la finalidad de que sedimente el lodo formado, y a través de una bomba Neumática se desaloje el agua tratada; para pasar por un filtro de graba y a su vez por un filtro de carbón activado. Luego de su filtración pasa a ser almacenada en un tanque temporalmente, donde es aireada por difusores de membrana fina por un periodo de 8 horas, para proceder al envío al proceso biológico de lodos activados para su ultimo tratamiento antes de ser descargado a un cuerpo de agua dulce.

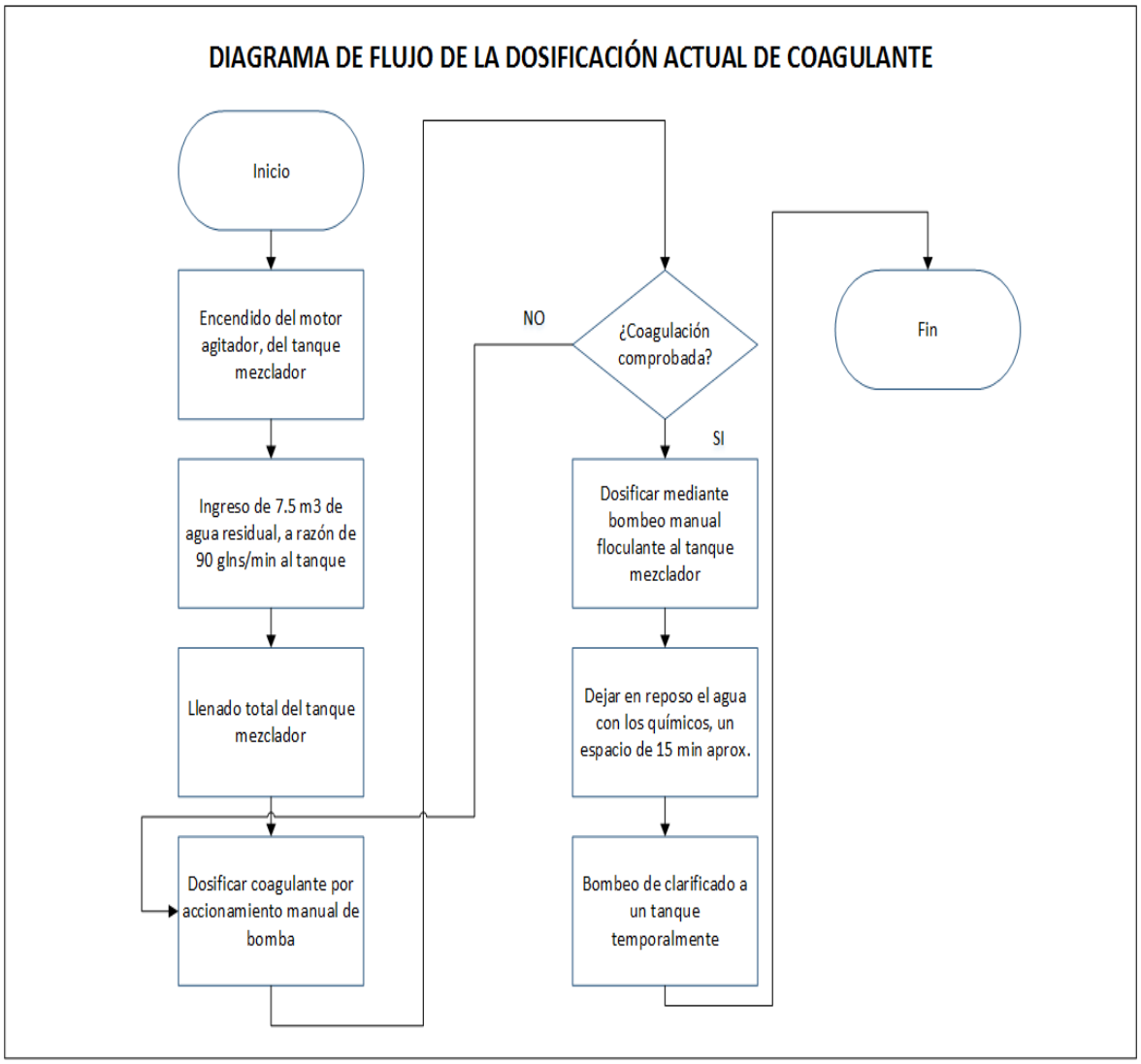


Figura 3. *Diagrama de flujo de la dosificación actual de coagulante. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

2.2. Análisis comparativo, evolución, tendencias y perspectivas.

2.2.2. Análisis del problema.

El análisis de la problemática en el tratamiento de aguas residuales industriales, está posicionado en la dosificación inexacta de coagulante, en el agua a ser tratada, que se genera por la falta de controles internos para el buen funcionamiento del sistema.

Este sistema se puede corregir, modificando la forma manual como se está operando en la actualidad, sustituyendo su mecanismo a la forma automática, en lo que se refiere a la dosificación de químicos.

Es muy importante tener en consideración que una dosificación ideal de químicos, tendrá una mayor remoción de la carga contaminante del agua y por ente un agua con características mejores para pasar el siguiente proceso biológico o de lodos activados y finalmente a un cuerpo de agua dulce.

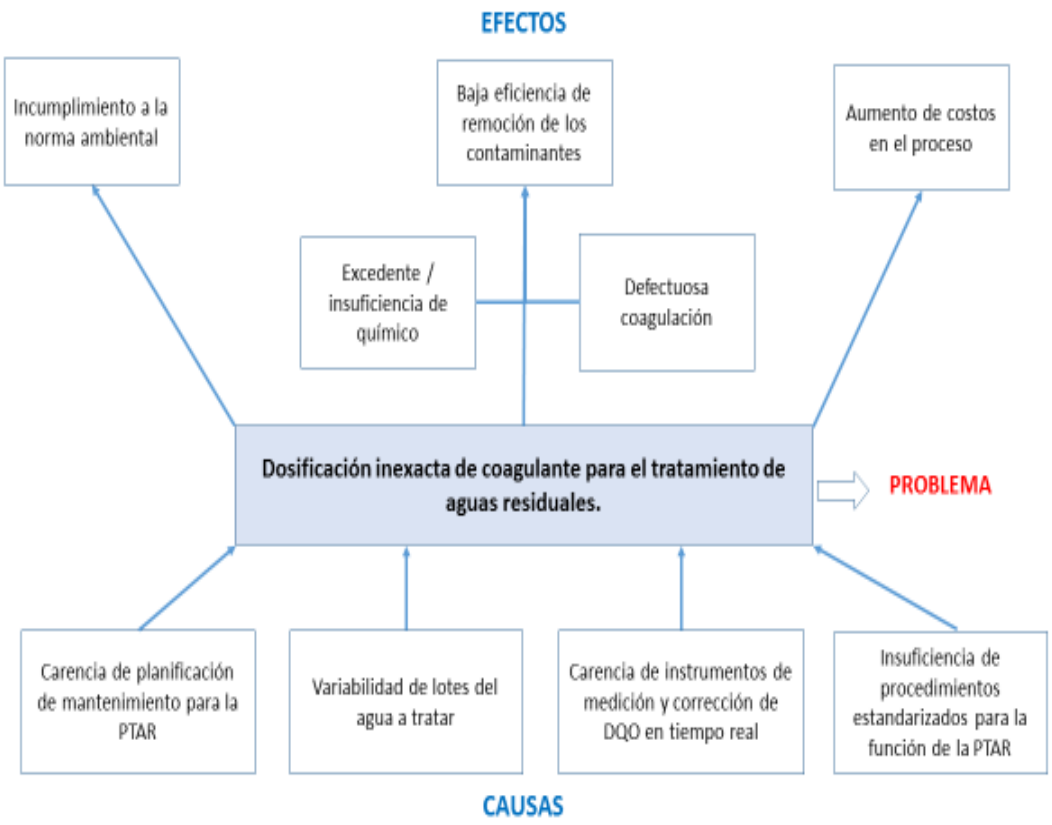


Figura 4. *Árbol del problema de la dosificación inexacta de coagulante. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

Previo a una dosificación exacta, es necesario elaborar ensayos de trazabilidad.

2.2.3. Elaboración de ensayos de trazabilidad.

Se procedió a realizar pruebas de jarras internas para disminuir la variabilidad del consumo de químicos que actualmente se utiliza en al tratamiento primario, para esto se tomaron varias muestras de agua cruda y se regulo el pH, con la finalidad de observar el comportamiento del químico, y la efectividad de la clarificación. Además de la obtención de un pH, adecuado para la siguiente etapa de la depuración de aguas, es decir, el tratamiento biológico o de lodos activados.

2.2.4. Pruebas de jarra (Coagulación).

Se procedió a realizar una prueba de tratamiento químico con un coagulante compuesto por policloruro de aluminio, dicho químico es usado para el tratamiento de aguas residuales en el proceso de tratamiento primario, el mismo que tiene una alta eficiencia remocional de carga contaminante de D.Q.O mayor al 90%.

Después de realizar las diferentes pruebas de coagulación en el agua cruda con carga contaminante presentada en la tabla #4, se obtuvo la mejor jarra de agua clarificada y se analizó internamente sus parámetros de D.Q.O.

Figura 5. *Agua clarificada luego del test de jarra. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

La ilustración muestra cómo debe quedar el agua con un buen tratamiento químico, en este caso la coagulación.

2.2.5. Ejecución de la prueba de jarra.

Muestra de agua residual, sometida al test de jarra.

Figura 6. *Primera prueba: Resultado de la clarificación. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

La figura 5, muestra el clarificado idóneo luego de someter una muestra de agua residual a una prueba de jarra o test de jarra, utilizando la agitación y el coagulante apropiado para el tratamiento primario.

2.3. Presentación de resultados y diagnósticos.

Tabla 7. *Resultados de análisis de la clarificación del test de jarra*

Parámetros	Agua Cruda promedio	Con Tratamiento químico	% de Remoción
D.B.O5	5862 mg/l	741 mg/l	88%
D.Q.O	17250 mg/l	1047 mg/l	94%
S.S.T	2490 mg/l	35 mg/l	98%
Grasas y aceites	281	0.44	99%

Información resultados del análisis del test, Elaborador por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Lo más importante en una prueba de jarra es determinar si la remoción de la D.Q.O es mayor al 55-60%, se esta se da en un rango mayor, se puede decir que la coagulación es eficiente. En este caso la clarificación primaria obtenida en la prueba de jarra, nos da un valor de 1047 mg/l, con una eficiencia remocional de D.Q.O, del 94% y del 98% para el caso de los sólidos suspendidos totales (S.S.T), lo cual es excelente.

Con la obtención de este dato, además de comprobar que el Tratamiento Primario ha sido efectivo, también podemos compararlo con los valores promedio de DQO que se obtienen en la planta de tratamiento de aguas residuales actualmente, los mismos que se sitúan entre los rangos de 890 - 1047 mg/lt de DQO; por tanto, se corrobora que no hay diferencias significativas entre la Prueba de Jarras y el Tratamiento Químico realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales.

2.4. Verificación de hipótesis.

Se cuenta con los químicos apropiados para la desestabilización de cargas eléctricas coloidales, en el mezclador, pero no contamos con una dosificación exacta de coagulante para el proceso, puesto que hay un mayor consumo y un desaprovechamiento de los mismos, cual se puede aprovechar con el fin de, procesar más agua residual del proceso productivo.

El diseño de un control automatizado para la dosificación de coagulante es la solución idónea para resolver el problema de consumo, y estrés laborar para el trabajador.

Capítulo III

Propuesta, Conclusiones y Recomendaciones

3.1.Diseño de la propuesta.

3.1.1. Diagrama de bloque propuesto.

Por medio de la siguiente figura, se indica previamente el funcionamiento del sistema a implementar, describiendo la dosificación y mezcla del coagulante en tanque además del monitor de corriente circulante AF7000, que es el encargado de identificar la dosificación ideal de coagulante a suministrar en el tanque mezclador.

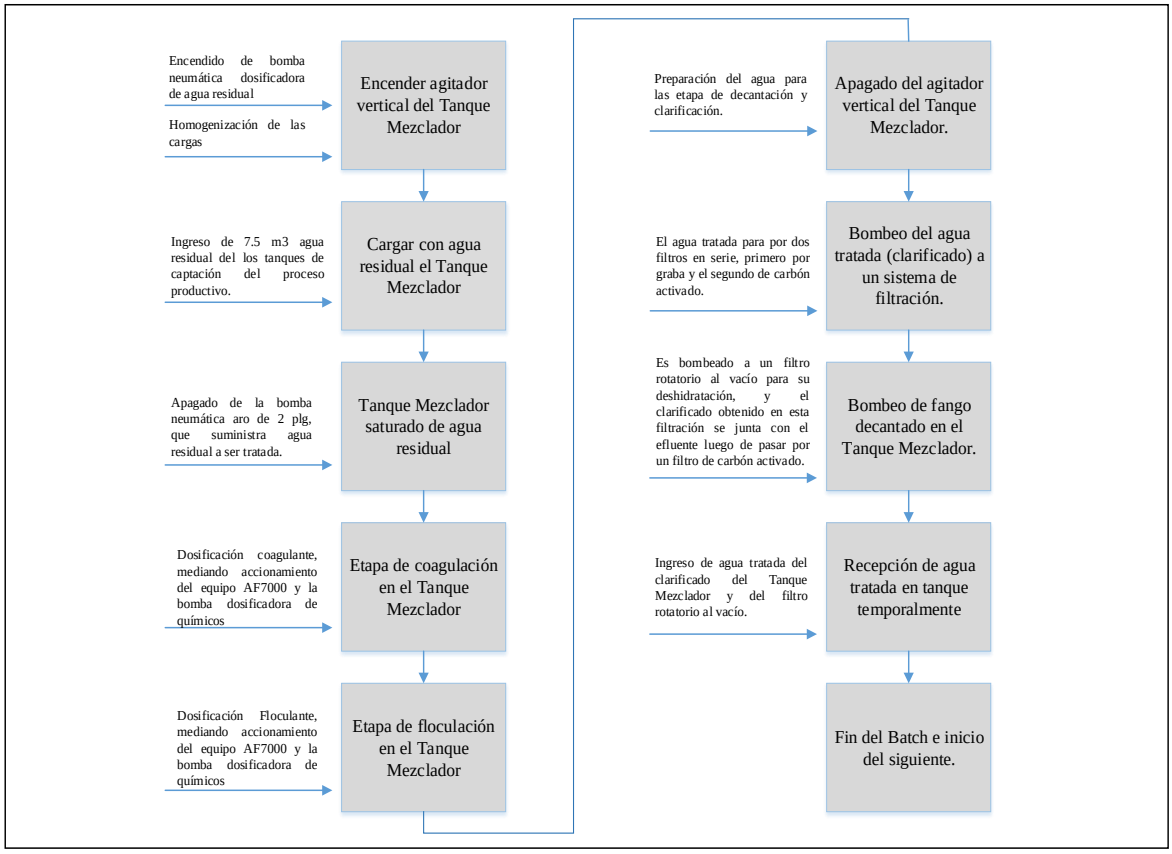


Figura 7. *Diagrama de bloque del sistema propuesto. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

3.1.2. Diagrama de flujo propuesto.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de la dosificación de coagulante propuesto para el tanque mezclador, indicado que cuando el equipo suministra químico al agua en tratamiento, se comprueba la coagulación y el proceso continua secuencialmente sin mermas de coagulante en el agua a tratar, además de la ubicación o instalación del monitor de corriente circulante AF7000 por medio de una tubería que suministra muestras de agua residual al equipo para la medición en línea del parámetros D.Q.O.

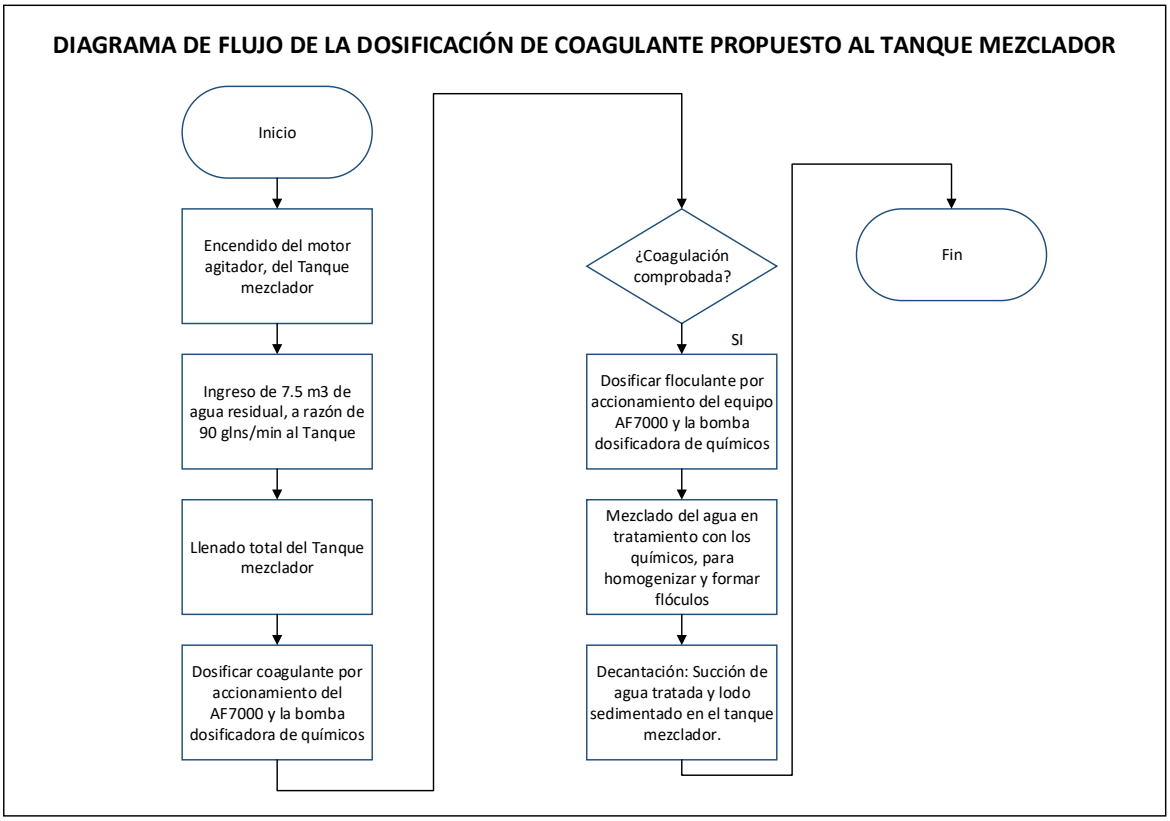


Figura 8. *Diagrama de flujo propuesto. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

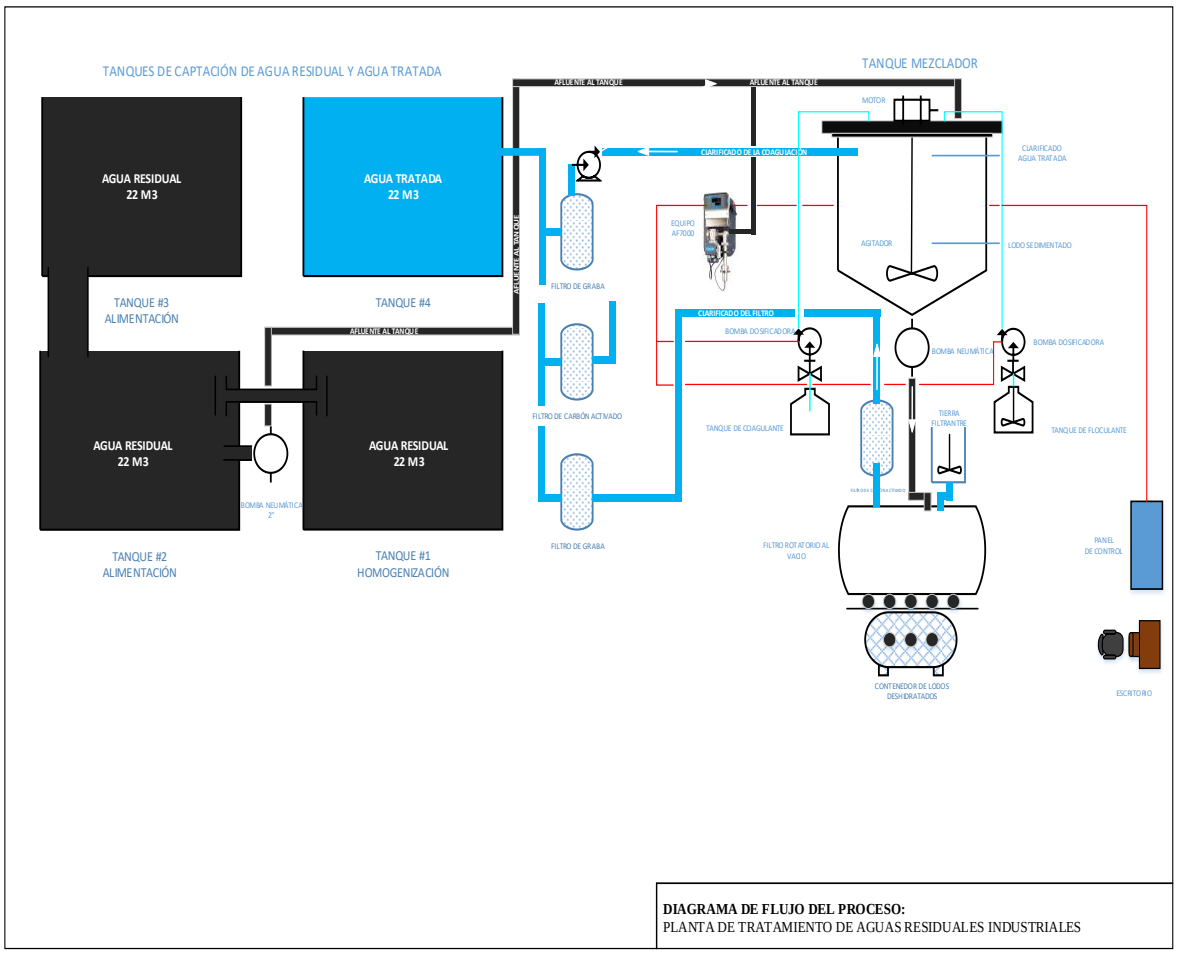


Figura 9. *Diagrama de flujo del proceso propuesto. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

3.1.3. Procedimiento para la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

El buen manejo de la planta de tratamiento inicia desde la captación del agua residual hasta la descarga final cumpliendo con los parámetros de descarga detallados en la tabla 9 anexo 1, acuerdo ministerial 097-A, TULSMA.

Con el objetivo de regularizar las operaciones de tratamiento de aguas residuales se desarrolló un procedimiento a seguir, para la operación de la planta de tratamiento de aguas (**Ver Anexo 1)**, con ello se estandariza las operaciones y se establece un método de trabajo con el llenado de formatos de control (**Ver Anexo 2)**.

3.1.4. Modelo matemático propuesto para el sistema de control automatizado para la dosificación ideal de coagulante.

El nuevo sistema de dosificación se determinó a través de un modelo matemático, relacionando la variable Solidos Suspendidos Totales (S.S.T), puesto que, es la variable que más relación tiene con la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O), debido a que, los S.S.T, en una solución acuosa representan a las partículas coloidales que se encargan de desestabilizar el agua volviéndola turbia y que interfiera un tratamiento primario para la remoción de los contaminantes presentes en el agua residual.

Se utilizaron 14 muestras de datos, ordenar de manera descendente y descartando los valores atípicos para obtener la mayor presión en el valor buscado.

A continuación, se explica el modelo matemático empleado.

Para desarrollar el modelo matemático se aplicó la regresión lineal que, a través de un diagrama de dispersión, se logró definir el tipo de dispersión que existe entre 2 variables cuantitativas, para este caso:

$$Y = D.Q.O \text{ y } X = S.S.T.$$

Por medio del diagrama de dispersión se determina la recta de regresión, que es, la recta que pasa entre los puntos del diagrama, tal que, la distancia que existan entre ellos y la línea recta sea la mínima posible.

$$\hat{y} = a + bx$$

3.1.5. Desarrollo del algoritmo matemático.

Para el desarrollo del algoritmo matemático se utilizará una hoja de cálculo del programa Excel, indicando las variables que se relacionan más con los contaminantes presentes en al agua residual, tales como los sólidos suspendidos totales (S.S.T, demanda química de oxígeno (D.Q.O) y las grasas, como se muestra en la tabla 8 a continuación:

***Tabla 8**. Datos de las variables a usar para desarrollar el algoritmo matemático.*

Datos de las variables seleccionadas en relación a S.S.T-D.Q.O y S.S.T-grasa

	S.S.T	D.Q.O	S.S.T	grasas
N.º	X	Y	X	Y
1	447	22900	447	16
2	2550	15414	2550	16
3	860	15275	860	17
4	4986	19850	4986	13
5	240	10800	240	45
6	2550	15414	2550	58.75
7	113	7554	113	20.31
8	215	20400	215	71
9	305	12340	305	152
10	318	3415	318	78.7
11	353	4765	353	26
12	450	32900	450	52
13	7920	22050	7920	160
14	5473	27550	5473	180

Información tomada del historio de los análisis del laboratorio Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

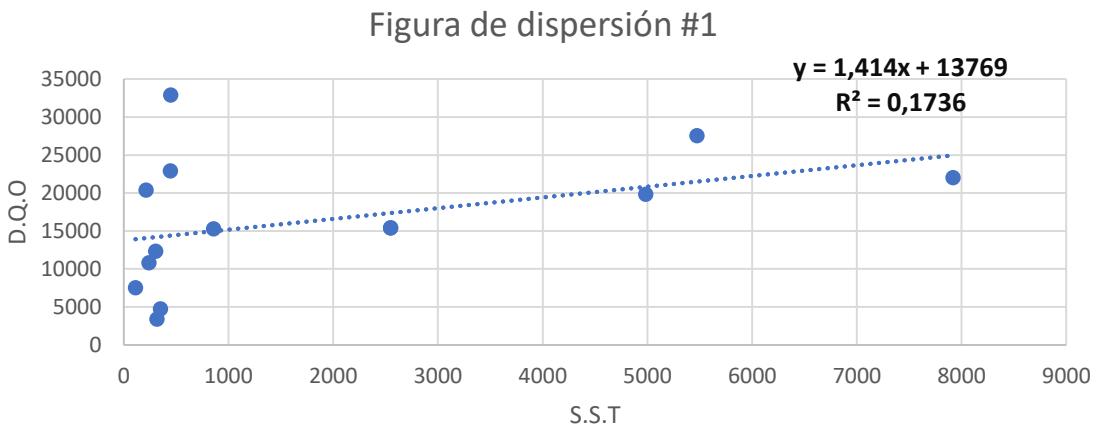


***Figura 10.** Gráfico de dispersión lineal y la ecuación obtenida. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

En la figura 6, se identificada los valores de D.Q.O y S.S.T, para obtener la recta de regresión, muestreándose con valores muy atípicos, por ellos es necesario ordenar y procederá eliminar valores, con el fin, de ajustar la recta de regresión lineal con valores estables.

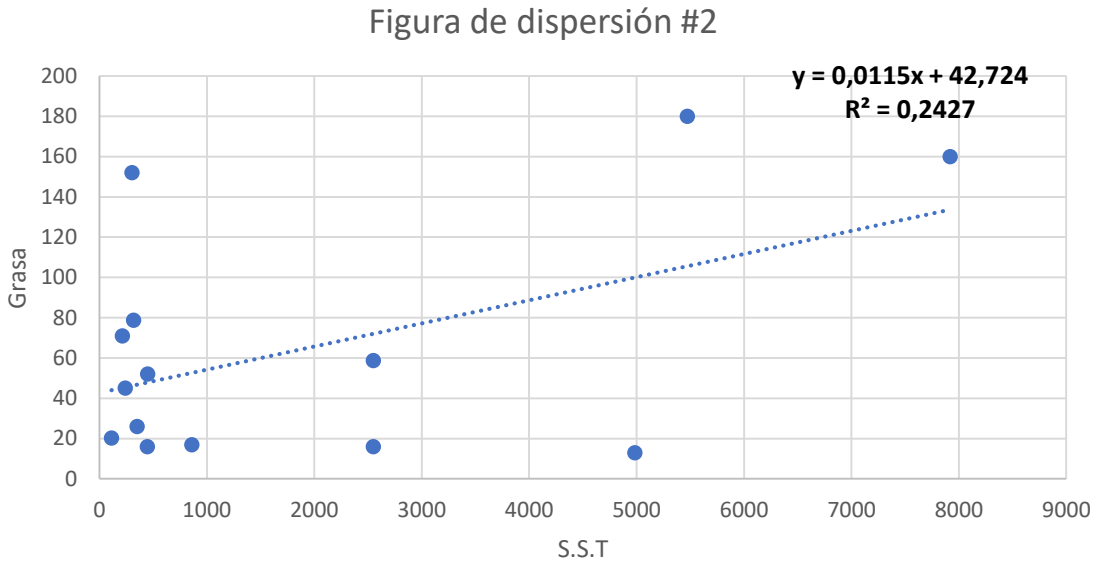


Figura 11. *Gráfico de dispersión lineal y la ecuación obtenida. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

En la Tabla 8, se evidencia los valores de Grasa y S.S.T tal cual, pero existen valores atípicos, por ellos es necesario ordenar y proceder a eliminarlos, con el fin, de ajustar la recta.

Tabla 9*. Orden y eliminación de valores atípicos en la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-grasa*

Orden y eliminación de valores atípicos en la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-grasa				
	S.S.T	D.Q.O	S.S.T	grasa
N.º	X	Y	X	Y
1	113	7554	113	20.31
2	240	10800	215	71
3	305	12340	240	45
4	860	15275	318	78.7
5	2550	15414	353	26
6	2550	15414	450	52
7	4986	19850	860	17
8	5473	27550	2550	58.75
9	7920	22050	5473	180
10	-	-	7920	160

Información tomada de la tabla 7. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

Tabla 10. *Valores atípicos retirados de la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-grasa.*

Valores atípicos retirados de la relación S.S.T-D.Q.O y S.S.T-grasa				
	S.S.T	D.Q.O	S.S.T	grasa
N.º	*X*	*Y*	*X*	*Y*
1	*215*	*20400*	*305*	*152*
2	*450*	*32900*	*4986*	*13*
3	*447*	*22900*	*447*	*16*
4	*318*	*3415*	*2550*	*16*
5	*353*	*4765*	-	-

Información tomada de la tabla 8. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

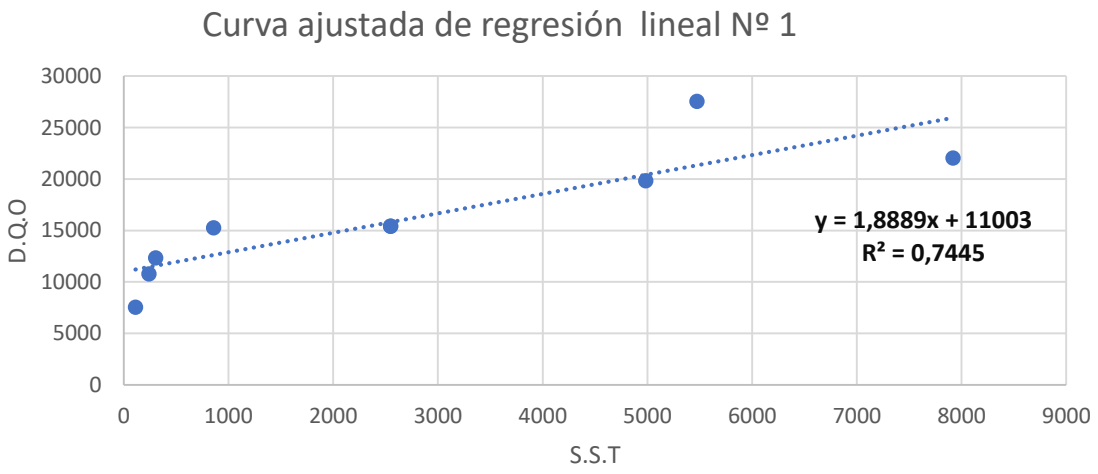


Figura 12. *Curva ajustada de regresión lineal, relación D.Q.O-S.S.T, Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.*

Resumen

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,86283371
Coeficiente de determinación R^2	0,74448202
R^2 ajustado	0,70797945
Error típico	3293,98966
Observaciones	9

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertna de cuadradio de los cua			*F*	*alor crítico de F*
Regresión	1	221296857	221296857	20,3953321	0,00274486
Residuos	7	75952575,2	10850367,9		
Total	8	297249432			

	Coeficientes	*Error típico*	*Estadístico t*	*Probabilidad*	*Inferior 95%*	*Superior 95%*	*nferior 95,0%*	*uperior 95,0%*
Intercepción	11003,2204	1598,49294	6,88349638	0,00023479	7223,3852	14783,0556	7223,3852	14783,0556
Variable X 1	1,88894734	0,41826783	4,51611914	0,00274486	0,89990109	2,87799358	0,89990109	2,87799358

Análisis de los residuales

Observación	*onóstico parc*	*Residuos*	*duos estándares*
1	11216,6714	-3662,67143	-1,18869847
2	11456,5677	-656,567739	-0,2130852
3	11579,3493	760,650684	0,24686471
4	12627,7151	2647,28491	0,85916075
5	15820,0361	-406,036089	-0,13177662
6	15820,0361	-406,036089	-0,13177662
7	20421,5118	-571,511803	-0,18548079
8	21341,4292	6208,57084	2,01495515
9	25963,6833	-3913,68329	-1,27016289

Resultados de datos de probabilidad

Percentil	*Y*
5,55555556	7554
16,6666667	10800
27,7777778	12340
38,8888889	15275
50	15414
61,1111111	15414
72,2222222	19850
83,3333333	22050
94,4444444	27550

Figura 13. *Resumen general de la relación D.Q.O-S.S.T. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

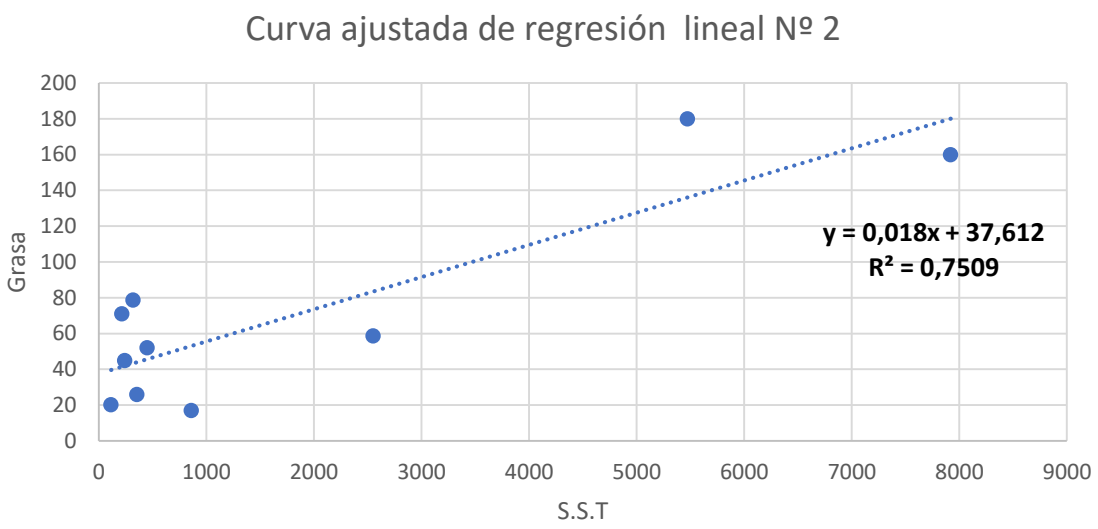


Figura 14. *Curva ajustada de regresión lineal, relación Grasa-S.S.T. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

Resumen

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,866521
Coeficiente de determinación R^2	0,75085865
R^2 ajustado	0,71971598
Error típico	29,8226988
Observaciones	10

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertıa	*de cuadrado*	*io de los cua*	*F*	*alor crítico de F*
Regresión	1	21443,528	21443,528	24,1102856	0,00117846
Residuos	8	7115,14689	889,393361		
Total	9	28558,6748			

	Coeficientes	*Error típico*	*Estadístico t*	*Probabilidad*	*Inferior 95%*	*Superior 95%*	*nferior 95,0%*	*uperior 95,0%*
Intercepción	37,612487	11,6116755	3,23919551	0,01189196	10,8359154	64,3890587	10,8359154	64,3890587
Variable X 1	0,01798806	0,00366339	4,91022256	0,00117846	0,00954027	0,02643585	0,00954027	0,02643585

Análisis de los residuales

Observación		*onóstico parc*	*Residuos*	*duos estándares*
	1	39,6451373	-19,3351373	-0,68766446
	2	41,479919	29,520081	1,04989741
	3	41,9296204	3,07037956	0,10919969
	4	43,3326888	35,3673112	1,25785727
	5	43,9622708	-17,9622708	-0,63883773
	6	45,7071122	6,29288782	0,22380991
	7	53,0822151	-36,0822151	-1,28328321
	8	83,4820296	-24,7320296	-0,87960781
	9	136,061117	43,938883	1,56270979
	10	180,07789	-20,0778898	-0,71408085

Resultados de datos de probabilidad

Percentil	*Y*
5	17
15	20,31
25	26
35	45
45	52
55	58,75
65	71
75	78,7
85	160
95	180

Figura 15. *Resumen general de la relación Grasa-S.S.T. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

3.1.6. Modelo matemático.

Ecuaciones.

Para la relación S.S.T - D.Q.O, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$D.Q.O = 1.8889[S.S.T] + 11003$$

Para la relación S.S.T – Grasa, se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Grasa = 0.018[S.S.T] + 37.612$$

$$S.S.T \equiv D.Q.O$$

$$S.S.T. \equiv Grasas$$

$$D.Q.O = [S.S.T] + [Grasas] + [R.P.M] + [pH] + [ºT]$$

$$\frac{d(D.Q.O)}{d(t)} = 1.8889[S.S.T] + 11003 + 0.018[Grasas] + 37.612 + [R.P.M] + [pH] + [ºT]$$

Donde la R.P.M, pH y la ºT, son constantes con el siguiente valor:

$$R.P.M = 100$$

$$pH = 7.5$$

$$ºT = 30\ ºC$$

Datos de entrada:

Tabla 11.*Valores para desarrollar la simulación del modelo matemático.*

Parámetro	***Unidad***	***Valores para desarrollar la simulación***								
S.S.T	*Mg/l*	*113*	*240*	*305*	*860*	*2250*	*255*	*4986*	*5473*	*7920*
Temperatura	*ºC*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*	*30*
pH		*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*	*7.5*
Grasa	*Mg/l*	*20.31*	*71*	*45*	*78.7*	*26*	*52*	*17*	*58.75*	*180*
R.P.M	*r.p.m*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*	*100*

Información tomada de la tabla 9, para desarrollar la simulación con el modelo matemático. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís.

Simulación:

Para la simulación se tomó una muestra de 9 valores, de los cuales los parámetros S.S.T y Grasa, son resultados de un análisis, es decir son variables y los parámetros temperatura, pH, y r.p.m son constantes, y están mencionados en la tabla 11.

A continuación, se muestra los resultados de la simulación, con los parámetros mencionados.

Ecuación 1

$$D.Q.O = 1.8889\ (113) + 11{,}003 + 0.018(20.31) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$
$$D.Q.O = 11{,}391.92$$

Ecuación 2

$$D.Q.O = 1.8889\ (240) + 11{,}003 + 0.018(71) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$
$$D.Q.O = 11{,}632.73$$

Ecuación 3

$$D.Q.O = 1.8889\ (305) + 11{,}003 + 0.018(45) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$
$$D.Q.O = 11{,}775.04$$

Ecuación 4

$$D.Q.O = 1.8889\ (860) + 11{,}003 + 0.018(78.7) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 12{,}803.98$$

Ecuación 5

$$D.Q.O = 1.8889\ (2550) + 11{,}003 + 0.018(26) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 15{,}995.28$$

Ecuación 6

$$D.Q.O = 1.8889\ (2550) + 11{,}003 + 0.018(52) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 15{,}995.74$$

Ecuación 7

$$D.Q.O = 1.8889\ (4986) + 11{,}003 + 0.018(17) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 20{,}596.47$$

Ecuación 8

$$D.Q.O = 1.8889\ (5473) + 11{,}003 + 0.018(58.75) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 21{,}571.12$$

Ecuación 9

$$D.Q.O = 1.8889\ (7920) + 11{,}003 + 0.018(180) + 37.612 + (100) + (7.5) + (30)$$

$$D.Q.O = 26{,}141.44$$

Culminada la sustitución de valores en el polinomio planteado, los resultados se muestran en la tabla 12, la cual expresa el resumen de los resultados obtenido en la simulación generada.

Tabla 12. *Pronóstico de la simulación*

Ítem	***Resultado***	***Parámetro***
1	11391.92	*D.Q.O*
2	11632.73	*D.Q.O*
3	11755.04	*D.Q.O*
4	12803.98	*D.Q.O*
5	15995.28	*D.Q.O*
6	15995.74	*D.Q.O*
7	20596.47	*D.Q.O*
8	21517.12	*D.Q.O*
9	26141.44	*D.Q.O*

Información del pronóstico de la simulación. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Comentario:

Los resultados pronosticados por el polinomio desarrollado nos proporcionan los números para trabajar el sistema de control diseñado, introduciendo las cifras de S.S.T, para poder obtener parámetros D.Q.O. (**Ver Anexo 3)**

3.1.7. Validación de la regresión lineal. Desviación estándar y chi cuadrado.

Para el parámetro S.S.T, tenemos

Tabla 13. *Desviación estándar del parámetro S.S.T*

N.º	S.S.T	Promedio	Límite Máximo	Límite Mínimo		
1	2550	2777,4	5402,5	152,3	**D. Estand**	2625,1
2	860	2777,4	5402,5	152,3	**Lim. Max**	5402,5
3	4986	2777,4	5402,5	152,3	**Lim. Min**	152,3
4	240	2777,4	5402,5	152,3	**Promedio**	2777,4
5	2550	2777,4	5402,5	152,3		
6	113	2777,4	5402,5	152,3		
7	305	2777,4	5402,5	152,3		
8	7920	2777,4	5402,5	152,3		
9	5473	2777,4	5402,5	152,3		

Información de la desviación estándar del parámetro S.S.T. Elaborada por Mario Alejandro Quiroz Quimís

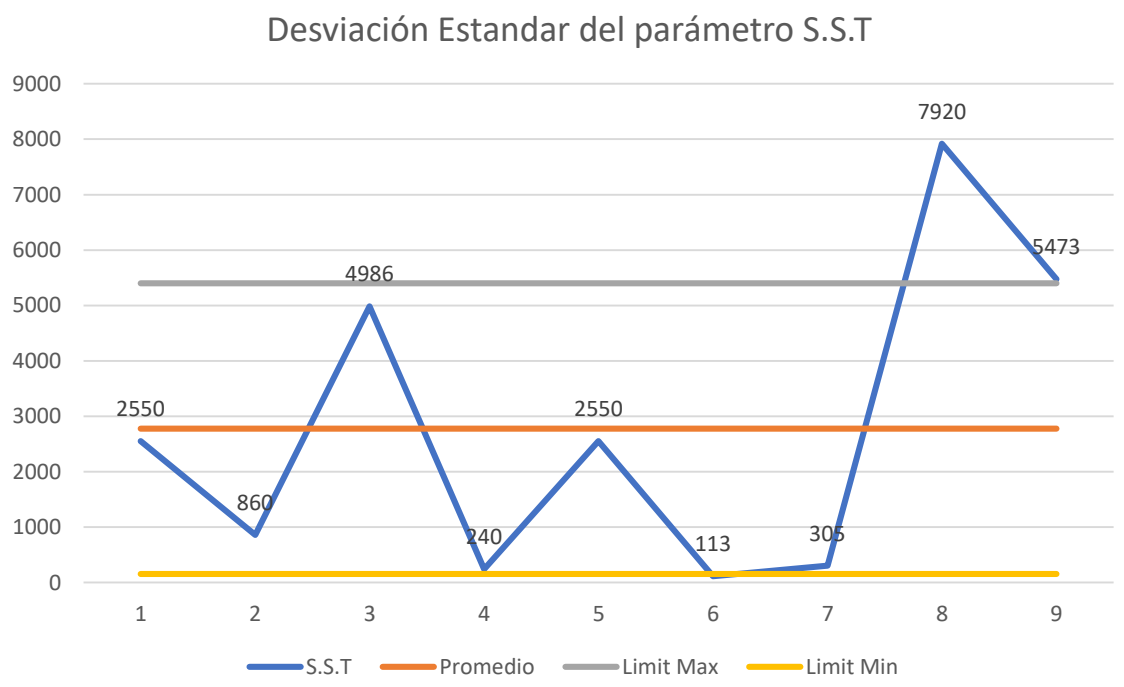


Figura 16. *Gráfico de la Desviación estándar del parámetro S.S.T. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

Para el parámetro D.Q.O, tenemos:

Tabla 14. *Desviación estándar del parámetro D.Q.O*

Nº	D.Q.O	Promedio	Limite Maximo	Limite Mínimo		
1	15414	16249,67	21996,64	10502,69	**D. Estan.**	5746,97
2	15275	16249,67	21996,64	10502,69	**Lim. Max**	21996,64
3	19850	16249,67	21996,64	10502,69	**Lim. Min**	10502,69
4	10800	16249,67	21996,64	10502,69	**Promedio.**	16249,67
5	15414	16249,67	21996,64	10502,69		
6	7554	16249,67	21996,64	10502,69		
7	12340	16249,67	21996,64	10502,69		
8	22050	16249,67	21996,64	10502,69		
9	27550	16249,67	21996,64	10502,69		

Información de la desviación estándar del parámetro D.Q.O. Elaborada por Mario Alejandro Quiroz Quimís

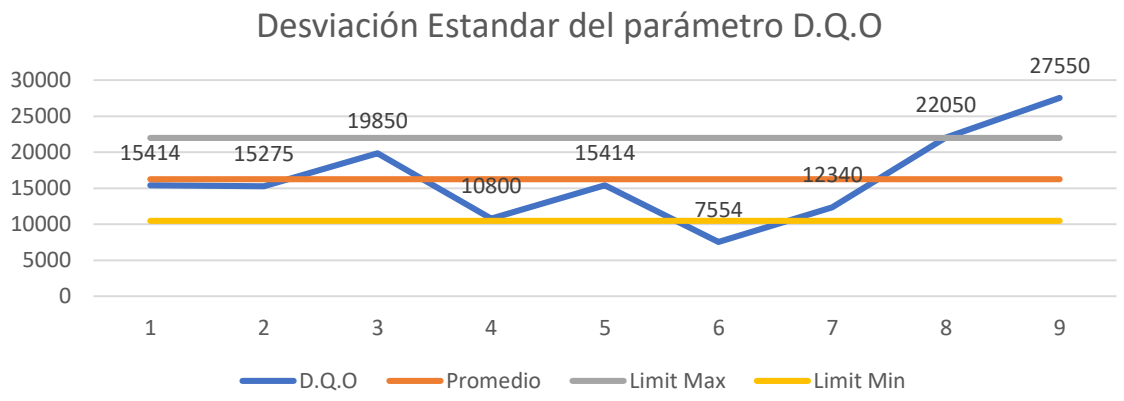


Figura 17 *Gráfico de la Desviación estándar del parámetro D.Q.O. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís*

Para la prueba de hipótesis, se los efectuará con Chi Cuadrado.

Tabla 15. *Prueba de hipótesis de los resultados de la simulación*

Nº	real	Pronostico	Parámetro	Chi.Cuadrado
1	7.554,00	*11.391,92*	*D.Q.O*	0,000
2	10.800,00	*11.632,73*	*D.Q.O*	0,000
3	12.340,00	*11.755,04*	*D.Q.O*	0,000
4	15.275,00	*12.803,98*	*D.Q.O*	0,000
5	15.414,00	*15.995,28*	*D.Q.O*	0,000
6	15.414,00	*15.995,74*	*D.Q.O*	0,000
7	19.850,00	*20.596,47*	*D.Q.O*	0,000
8	27.550,00	*21.517,12*	*D.Q.O*	0,000
9	22.050,00	*26.141,44*	*D.Q.O*	0,000

Información tomada de la tabla 9 y tabla 12. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Generando un grado de confianza de 100%, en respecto a la ecuación de la recta de regresión lineal.

3.2.Conclusiones.

El siguiente polinomio $\boldsymbol{D.Q.O} = [\boldsymbol{S.S.T}] + [\boldsymbol{Grasas}] + [\boldsymbol{R.P.M}] + [\boldsymbol{pH}] + [^{\text{o}}\boldsymbol{T}]$, representa la ecuación para la dosificación ideal de coagulante para el tratamiento de aguas residuales, con el cual se da inicio a la simulación.

En cuanto a la fórmula planteada, se demostró que sus resultados son los apropiados para poder desarrollar un sistema de control automatizado de dosificación de coagulante en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Los valores de S.S.T – D.Q.O y GRASAS, son los elementales para poder desarrollar el polinomio, puesto que, nos representan un nivel de confianza del 95% en la simulación; es decir, el polinomio funciona y se puede regular la dosificación de coagulante en el tratamiento de aguas residuales.

3.3.Recomendaciones.

Usar el polinomio planteado, para obtener la mejora requerida en el sistema de dosificación de químicos, para el tratamiento de aguas residuales.

Revisión del funcionamiento de la dosificación químicos, con la puesta en marcha del polinomio en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Generar calibración al sistema implementado, con el fin, de mantener la mejora en la práctica.

ANEXOS

Anexo 1

Procedimiento: operación de la planta de tratamiento de aguas residuales

1. **Objetivo**: Controlar la correcta operación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

2. **Alcance:** Este procedimiento aplica desde el proceso de recepción de las aguas residuales, hasta la descargar final del agua tratada; cumpliendo con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua dulce.

3. **Definiciones:**

Contaminación: Son todas las sustancias, energía u organismos extraños en un ambiente definido en cantidades, tiempo y condiciones tales que puedan causar un desequilibrio ambiental.

Agua Residual: El agua residual es una mezcla formada por un conjunto de contaminantes de características físicas, químicas y biológicas, disueltos en agua. La concentración de los contaminantes generalmente es poca, ya que se expresa en mg/l, esto quiere decir, cuantos miligramos de contaminación existe por litro de agua residual.

Tratamiento de agua: De acuerdo con la Norma de calidad de ambiente y descarga de efluente: Recurso agua nos menciona que es aquel que está conformado por un tratamiento primario y secundario. El tratamiento primario contempla operaciones físicas, tales como, coagulación, sedimentación, filtración y el tratamiento secundario emplea procesos biológicos y químicos para remoción de compuestos orgánicos.

Coagulación: Es un proceso químico que se utiliza para desestabilizar partículas coloidales, consiste en agregar un producto químico que aporta iones con carga positiva al agua que contiene coloides con carga negativa.

Floculación: Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en el crecimiento y acumulación de los flóculos hace poco formados con el fin de incrementar su dimensión y peso preciso para sedimentar con facilidad.

Coloides: Son soluciones estables eléctricamente, por lo tanto, es imposible su sedimentación natural, es la sustancia responsable de la turbiedad y del color del agua residual.

Ensayo de "Prueba de jarra": Es un método que se encarga de simular los procesos de coagulación y floculación a nivel de laboratorio, permitiendo obtener la dosificación optima de coagulante en el agua residual a ser tratada.

Mezcla rápida: Método que se utiliza para la inyección de productos químicos dentro de un tanque mezclador, para conseguir la formación de partículas denominadas floc. Una inadecuada mezcla rápida puede llevar a un incremento de productos químicos.

Decantación: Eliminación de sólidos presentes en el agua residual a tratar por la acción de la gravedad, para posterior retiro por succión de la mezcladora y disposición final.

pH: El pH es una medida de la activad del ion hidrógeno en una solución.

Turbiedad: es una forma indirecta de medir la concentración de las partículas suspendidas en un líquido; midiendo el efecto de la dispersión presente al paso de la luz, en función de un número, tamaño y forma de partícula.

Solidos: materia que en lo usual se encuentra en el agua residual y que sigue manteniendo su estado sólido, aunque se encuentre fuera del agua.

Solidos suspendidos totales (S.S.T): es un sistema visible en las aguas residuales, tanto en la superficie y la profundidad o fondo, que se pueden remover por medios físicos o mecánicos por medio de procesos de filtración o de sedimentación, se los puede evidenciar tomando una muestra del agua residual en un cono Imhoff y dejar sedimentar por una hora.

Solidos disueltos totales (T.D.S): recibe el nombre de aquellos sólidos retenidos en un proceso de filtración con membranas finas, suelen están formados por 40% orgánicos y 60% inorgánicos.

4. Método:

4.1. Recepción y bombeo.

4.1.1. Operador controla el Ingreso de agua residual del proceso productivo al tanque #1 de captación, homogenización y regularización de pH.

4.2. Homogenización.

4.2.1. Operador controla que se regularice el parámetro pH, con hidróxido de sodio o regulador de pH, con el objetivo de ajustarlo a un valor en torno a 7, con la finalidad de que el agua a tratar, mantenga parámetros estables.

4.3. Tratamiento Físico-Químico.

4.3.1. Operador enciende agitador vertical del tanque mezclador.

4.3.2. Operador controla que, se bombee agua residual al tanque mezclador, la cantidad de 7,5 metros cúbicos por batch a procesar.

4.3.3. Operador controla que cuando termine de llenarse el tanque mezclador, se estacione a razón de 15 min, con la finalidad de bajar la espuma formada por la agitación del agua y evitar que en la etapa de coagulación los flóculos ya formados floten.

4.3.4. Operador verifica la dosificación de coagulante en la parte superior del tanque mezclador, con la finalidad de controlar el proceso automatizado.

4.3.5. Operador verifica la dosificación de floculante en la parte superior del tanque mezclador, con la finalidad de controlar el proceso automatizado.

4.3.6. Operador controla la agitación de los químicos en el tanque mezclador, verificando la formación de flóculos para una correcta decantación.

4.3.7. Operador controla la decantación de los flóculos formados y verifica la clarificación idónea.

4.4. Filtración del agua tratada.

4.4.1. Operador limpia los filtros de carbón activado y graba con agua potable.

4.4.2. Operador bombea el agua clarificada el proceso físico-químico para retener posibles sólidos, olores, color y bajar niveles de DQO.

4.4.3. Operador verifica que el agua tratada ya filtrada ingrese al tanque de almacenamiento temporal de agua, para evitar que ingrese agua sucia por cualquier suciedad neta del filtro.

4.4.4. Operador verifica el vaciado total del agua clarificada el tanque mezclador, hacia el tanque de almacenamiento de agua tratada.

4.5. Tratamiento biológico de lodos activados.

4.5.1. Operador procede con la limpieza del filtro de graba para la filtración del agua tratada del tanque de almacenamiento hacia el proceso biológico de lodos activados.

4.5.2. Operador verifica el correcto funcionamiento de los blowers del proceso biológico de lodos activados.

4.5.3. Operador apertura el paso de agua tratada del tanque de almacenamiento hacia los tanques del proceso biológico de lodos activados.

4.5.4. Operador apertura el paso de agua tratada de ingreso a los tanques del proceso biológico de lodos activados.

4.5.5. Operador apertura el paso de aire de la bomba neumática para succión de agua tratada del tanque de almacenamiento temporal hacia los tanques del proceso biológico de lodos activados.

4.5.6. Operador regula el caudal a ingresar al proceso biológico de lodos activados.

4.5.7. Operador dosifica de nutrientes al proceso biológico.

4.5.8. Operador controla el proceso biológico de lodos activados.

4.6. Toma de muestras de agua.

4.6.1. Operador toma un envase para muestras de aguas residual.

4.6.2. Operador procede a limpiar con agua el envase para retirar sedimentos que pudieron ingresar.

4.6.3. Operador toma muestras de agua residual, tratada y para descarga final.

4.6.4. Operador toma muestras de agua con el cono imhoff para verificar la velocidad de decantación del lodo biológico y verificar el volumen que existe en una muestra de 1000 ml de agua tratada.

4.6.5. Operador entrega las muestras al laboratorista de turno para respectivo análisis del parámetro D.Q.O.

4.7. Descarga de agua tratada.

4.7.1. Operador verifica los parámetros de descarga entregados por el laboratorista de turno, y compara con el límite máximo permisible por TUSLMA-Anexo 1-Tabla 9.

4.7.2. Lider de turno autoriza la descarga del agua tratada del proceso biológico, verificando que se cumpla con los descrito en el inciso 4.7.1.

5. Monitoreos.

Se tiene establecido un programa de monitoreo trimestral para la descarga de agua residual a un cuerpo agua dulce, acuerdo establecido en el plan de manejo ambiental.

6. Registro.

- Control de consumo de químicos.
- Control de niveles de agua residual y tratada en tanque.
- Control de tratamiento de agua residual

7. Referencias.

- Texto único de legislación ambiental ecuatoriana.
- Código orgánico ambiental
- Ley de gestión ambiental
- Acuerdo ministerial 061-A.
- Plan de manejo ambiental.

8. Anexos: n/a

HISTORIAL DEL CAMBIO			
# Revisión	**Fecha aprobación**	**Descripción**	**Aprobado por:**
00		Emisión del documento	Gerente de Planta

Anexo 2

Formato control de consumo de químicos

LOGO DE LA EMPRESA	FORMATO	PTAR
	CONTROL DE CONSUMO DE QUIMICOS	N° REVISION: 00
		Página 1 de 1

SEMANA

Coagulante		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo
1° T	1° Proceso														
1° T	2° Proceso														
2° T	1° Proceso														
2° T	2° Proceso														
3° T	1° Proceso														
3° T	2° Proceso														

Floculante		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo
1° T	1° Proceso														
1° T	2° Proceso														
2° T	1° Proceso														
2° T	2° Proceso														
3° T	1° Proceso														
3° T	2° Proceso														

ACONDICIONADOR PH		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		VIERNES		SÁBADO		DOMINGO	
		Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo	Consumo	Saldo
1° T	1° Proceso														
1° T	2° Proceso														
2° T	1° Proceso														
2° T	2° Proceso														
3° T	1° Proceso														
3° T	2° Proceso														

OBSERVACIONES:

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Formato control de niveles de agua residual y tratada en tanque.

LOGO DE LA EMPRESA	FORMATO	P.T.A.R
	NIVELES DE TANQUE DE AGUA RESIDUAL Y TRATADA	REVISIÓN 00
		PAGINA 1 DE 1

SEMANA

		TANQUE DE AGUA RESIDUAL					TANQUE DE AGUA TRATADA			
DIA	TURNO	Tq. Agua Resid. Inicio Gln	Agua Resid. Ingresada Gln	Agua Resid. Tq. Tratam.	Agua resid. Fin de turno		Tq. Agua tratada Inicio	Agua procesada	Agua recuperada	Agua tratada Fin de Turno T4	Descarga Alcantarilla
LUNES	1°										
MARTES	1°										
MIERCOLES	1°										
JUEVES	1°										
VIERNES	1°										
SÁBADO	1°										
DOMINGO	1°										
	Total										

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Formato control de tratamiento de agua residual

LOGO DE LA EMPRESA	FORMATO		PTAR
	TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL		N° REVISION: 00
			Página 1 de 1

SEMANA #

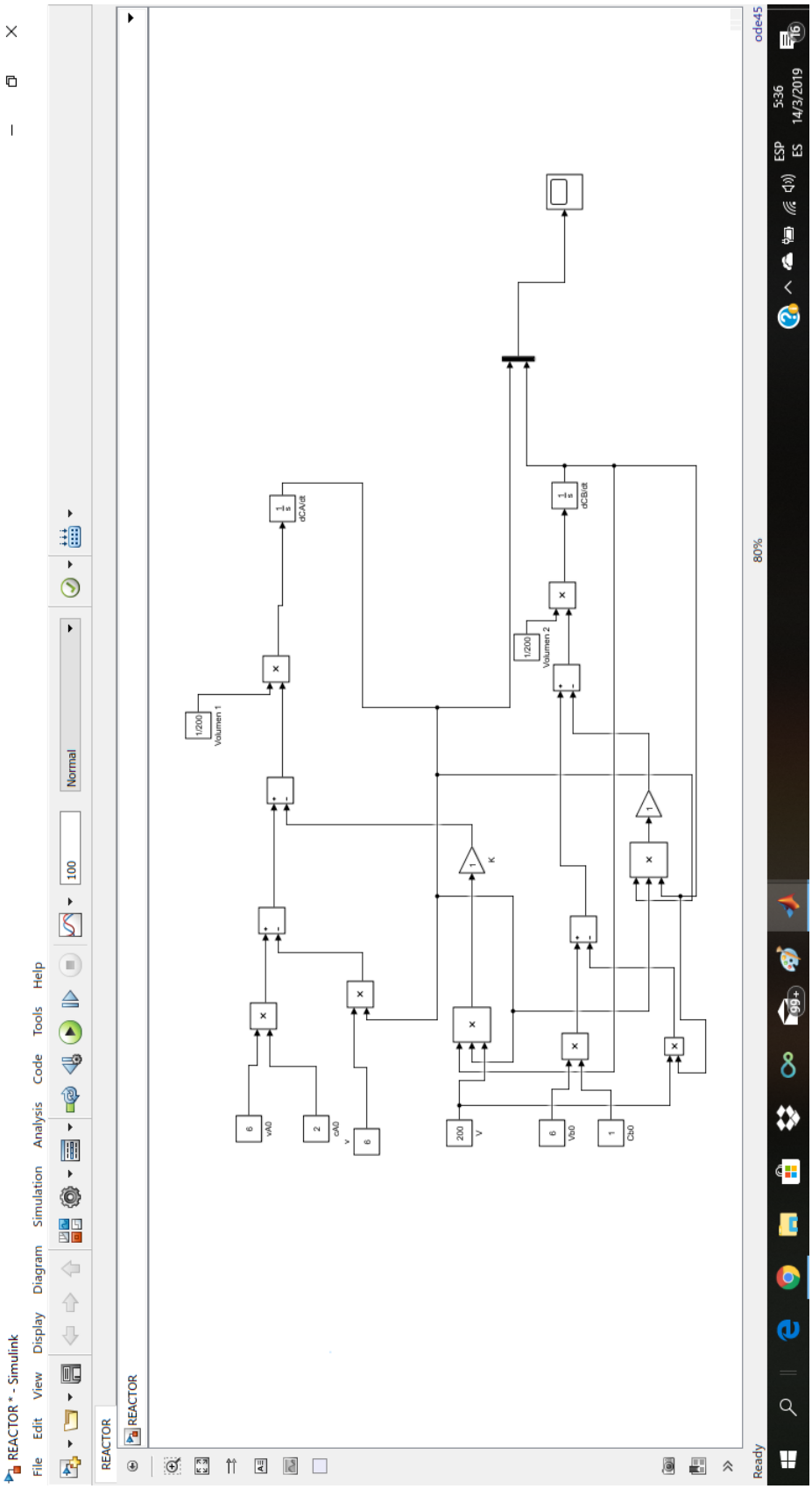
No°	FECHA	OPERADOR	HORA INICIO	HORA FINAL	PH AGUA RESIDUAL COAGULANTE	PH AGUA RESIDUAL COAG-FLOC	PH FINAL	VELOCIDAD	NIVEL TQ. TRATAM. FINAL PROCESO	CANT. QUIMICO COAGULANTE	CANT. QUIMICO FLOCULANTE
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											

OBSERVACIONES:

Información tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

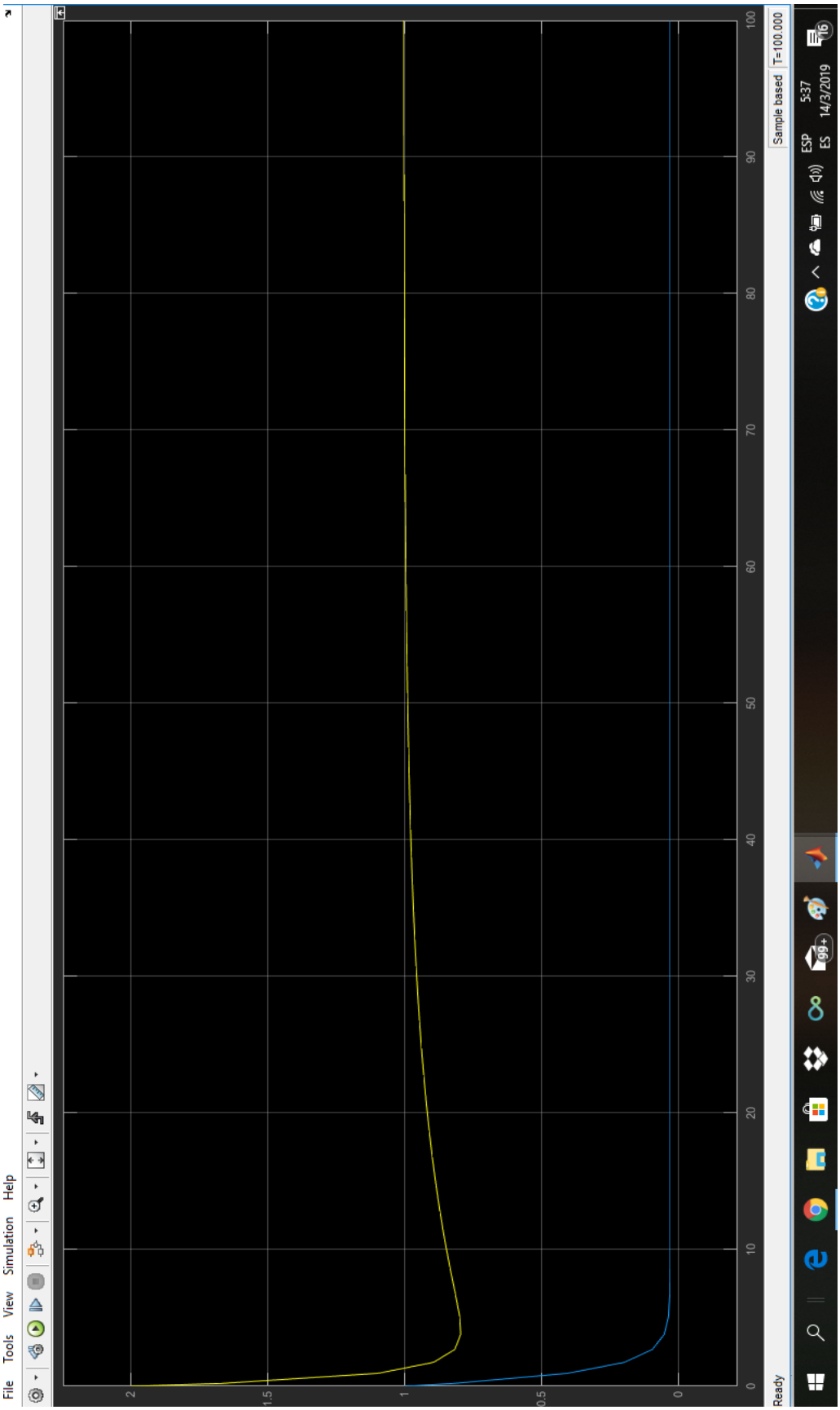
Anexo 3

Simulación en el programa simulink de Matlab



Información de la simulación en el programa Matlab. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Gráficas de la simulación en el programa simulink de Matlab



Información de la simulación en el programa Matlab. Elaborado por Mario Alejandro Quiroz Quimís

Bibliografía.

AGUASRESIDUALES.INFO. (13 de 09 de 2018). *AGUASRESIDUALES.INFO*. Obtenido de AGUASRESIDUALES.INFO: https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/la-importancia-de-los-sistemas-de-control-y-automatizacion-para-el-tratamiento-de-agu-Y6iIQ

BBC. (01 de 07 de 2012). *BBC*. Obtenido de BBC: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2012/07/120626_inglaterra_revolucion_industrial_contaminacion_lp#orb-banner

Cárdenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de agua: Coagulación y Floculación.* Lima: SEDAPAL.

Díaz, J. A. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental.* México, D.F.: Jesús Espinoza Morales.

EDDY, M. &. (1996). *Ingeniería de aguas residuales.* Madrid: McGraw-Hill.

Hach. (Enero de 2019). *Hach*. Obtenido de Hach: https://es.hach.com/

Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). INGENIERÍA AMBIENTAL. En J. G. Henry, & G. W. Heinke, *INGENIERÍA AMBIENTAL* (pág. 422). México: Pearson Educación.

Llopis, R. S., Pérez, J. A., & Latorre, C. V. (2010). Automatización industrial. En R. S. Llopis, J. A. Pérez, & C. V. Latorre, *Automatización industrial* (pág. 6). España: Publicaciones de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.

Llopis, R. S., Pérez, J. A., & Latorre, C. V. (2010). Automatización industrial. En R. S. Llopis, J. A. Pérez, & C. V. Latorre, *Automatización industrial* (pág. 7). España: Publicaciones de la Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna.* Madrid: Pearson Educación.

Viloria, J. R. (2011). *Automatismos Indistriales.* Madrid: Paraninfo, SA.