



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

**Automatización de la etapa mecánica y química en el proceso de
tratamiento de aguas residuales.**

AUTOR:

Espinoza Coba Víctor Manuel

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc Suarez Murillo, Efraín Oswaldo

Guayaquil, Ecuador

16 de septiembre del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Espinoza Coba, Víctor Espinoza** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

F. _____

ING. SUAREZ MURILLO, EFRAÍN OSWALDO

DIRECTOR DE CARRERA

F. _____

M. Sc. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Espinoza Coba, Víctor Espinoza**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación: **Automatización de la etapa mecánica y química en el proceso de tratamiento de aguas residuales**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

f. _____

VICTOR MANUEL ESPINOZA COBA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

AUTORIZACIÓN

Yo, **Espinoza Cobra, Víctor Manuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **Automatización de la etapa mecánica y química en el proceso de tratamiento de aguas residuales**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

f. _____

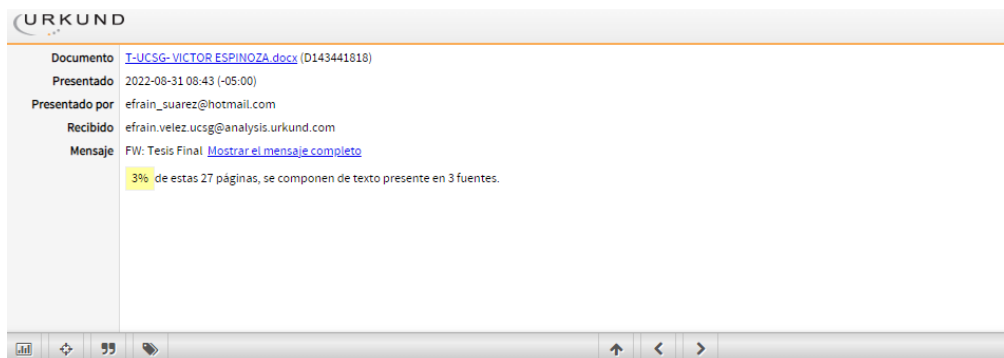
Espinoza Cobra, Víctor Espinoza

REPORTE DE URKUND

REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA URKUND CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TÍTULO: AUTOMATIZACIÓN DE LA ETAPA MECÁNICA Y QUÍMICA EN EL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

AUTOR: ESPINOZA COBA VICTOR MANUEL



The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

- Documento:** T-UCSG-VICTOR ESPINOZA.docx (D143441818)
- Presentado:** 2022-08-31 08:43 (-05:00)
- Presentado por:** efrain_suarez@hotmail.com
- Recibido:** efrain.velez.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** FW: Tesis Final [Mostrar el mensaje completo](#)

A yellow highlight indicates that 3% of the 27 pages consist of text from 3 sources.



Document Information

Analyzed document	T-UCSG- VICTOR ESPINOZA.docx (D143441818)
Submitted	8/31/2022 3:43:00 PM
Submitted by	
Submitter email	efrain_suarez@hotmail.com
Similarity	3%
Analysis address	efrain.velez.ucsg@analysis.orkund.com

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **ESPINOZA COBA VICTOR MANUEL**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet



f. _____

Ing. Suarez Murillo, Efraín Oswaldo
DOCENTE TUTOR

DEDICATORIA

“En Primer lugar a Dios que me ayudo desde el primer día; me ayudo a nunca rendirme, que me brinda buena salud y estabilidad mental, a los cinco miembros principales de mi familia que son los pilares de mi vida y mi razón de vivir, y a María García que estuvo en los peores momentos, pero siempre estuvo ahí para apoyarme cada día”

Víctor Manuel Espinoza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios que me da vida para poder escribir estas palabras, quien le da salud a las personas que amo, quien me permite llegar sano y salvo a mi hogar, quien cada vez que le pido ayuda, me escucha, A mi papa Víctor Manuel Espinoza San Lucas y mi mama Karina Gisella Coba Gurumendi con quienes estoy eternamente agradecido por los principios y valores que me han inculcado, mis padres siempre serán mi modelo a seguir y algún día espero ser una persona tan maravillosa como los son ellos. A mis hermanos y mascota que son mis confidentes y mi apoyo diario, a ellos, que anhelo que cada día se sienta orgullosos de mi como yo lo estoy de ellos. Juntos ellos son el motor de mi vida, porque sé que, si los tengo a ellos, Yo lo tengo todo.

Gracias A mi pareja, mi amiga y compañera María del Carmen García, quien estuvo conmigo en los peores y mejores momentos, con quien libre cada batalla, cada deber, cada lección, cada tutoría hasta alcanzar el éxito en estos últimos 5 años; a mis compañeros de clases, a quienes se fueron y a quienes se quedaron, en especial a Carlos Raciones, David Veliz, Gabriel Restrepo, Víctor Salcedo y Rene Solís quienes me harán recordar con mucho cariño esta etapa estudiantil de esta maravillosa carrera, a quienes, que al día de hoy, puedo llamarlos amigos, amistades que deseo que me duren toda la vida.

Me dirijo a mi tutor de titulación con el mayor agradecimiento posible que ha tenido la paciencia de ayudarme cada vez que lo necesite, quien me ha guiado para poder culminar con mi tesis.

Por último, agradecer a todos mis maestros con los que tuve que compartir clases y me prepararon para este día sobre todo al Ing. Luis Vallejo, Ing. Bayardo Bohórquez, Ing. Néstor Zamora, Ing. Luis Córdova e Ing. Orlando Philco con quienes tuve la mejor relación durante estos cinco años de carrera universitaria.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. VELEZ TACURI, EFRAIN OLIVERIO

COORDINADOR DE TITULACION

M. Sc. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO

DIRECTOR DE CARRERA

ING. ROMERO ROSERO, CARLOS BOLIVAR

OPONENTE

Índice de contenido

INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO DE TITULACION	4
1.1 Problema de investigación	4
1.2 Justificación	4
1.3 Delimitación	5
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Metodología de la investigación	6
1.5.1 Hipótesis	6
1.6 Tareas de investigación.....	6
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Tipos de tratamiento.....	7
2.1.2 Tratamientos físicos	7
2.1.2. Tratamientos químicos	7
2.1.3. Tratamientos Biológicos.....	7
2.2 Coagulación y fluctuación	8
2.3 Operación y mantenimiento	9
2.4 Flotación por agua disuelta.....	9
2.5 Sistemas de automatización	10
2.5.1 Automatización en el Tratamiento de Aguas	10
2.6 Lógicas de control	11
2.6.1 Sistemas SCADA.....	11
2.6.2 Elementos que componen un sistema SCADA	11
2.6.3 Funciones de un sistema SCADA.....	13
2.7 Bombas dosificadoras	13
2.8 Proceso de lodos activados (ASP).....	13

2.9 Tratamiento biológico de separación de membranas (MBR)	14
2.10 Lenguaje de modelo unificado (UML)	15
2.11 Diagrama de uso de caso	15
2.11.1 ¿Para qué se usa un diagrama de caso de uso?	15
2.12 Diagramas de estado.....	15
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA ETAPA FISICA Y QUIMICA PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	17
3.1 Consideraciones generales de la estructura del diseño.	17
3.1.1 Detalle y complementos del sistema de automatización	17
3.1.2 Identificación del sistema	21
3.1.1 Operabilidad del sistema	23
3.2 Estructura del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	23
3.2.1 Estructura del sistema de control y monitoreo.....	24
3.2.2 Estructuración de los sistema de comunicaciones.....	25
3.2.3 Estructura del sistema SCADA a Ethernet.....	26
3.3 Evaluación de un sistema de monitoreo y automatización.....	27
3.3.1 Evaluación del primer subsistema de la etapa física, estabilización de PH	28
3.3.2 Evaluación del segundo subsistema de la etapa fisica, coagulación y floculación.....	30
3.3.3 Evaluación del tercer subsistema de la etapa fisica, remoción de lodos y sólidos disueltos.....	31
3.4 Representación del sistema de control	32
3.4.1. Esquemas de casos de uso	32
3.4.2 Diagramas de cadena secuenciales.....	35
3.4.5 Esquemas del estado de los subsistemas	38
3.4.6 Arquitectura en Redes de Petri	41
3.4.6.1 Diseño RdP del Subsistema: Estabilización de PH	42
3.4.6.2 Red de Petri del primer subsistema de Coagulación y floculación de la etapa física	43

3.4.6.3 Red de Petri del cuarto Subsistema de Remoción de sólidos en la etapa química	45
3.4.6.4 Ecuaciones de la Redes de Petri	46
CAPÍTULO 4: EVALUACION DE RESULTADOS	51
4.1 Muestra de resultados	51
4.1.1 Análisis del estado del arte	51
4.1.2 Resultados de las estructuras	52
4.1.3 Resultados de la estructurade UML y RdP	53
4.2 Análisis de resultados	54
4.2.2 Discusión acerca del desempeño de las exigencias funcionales	54
4.2.3 Cumplimiento de objetivos	55
4.2.3.1 Cumplimento del objetivo general.....	56
4.2.3.2 Cumplimiento de objetivos específicos.....	56
4.2.4 Solución al problema de investigación	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
Bibliografía.....	60

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Etapa física, química y biología de aguas residuales	18
Ilustración 2. Diagrama de flujo del tratamiento física.	19
Ilustración 3. Jerarquía de un estructura de control.....	25
Ilustración 4. Estructura de comunicaciones.	25
Ilustración 5. Estructura de un sistema PLC.	27
Ilustración 6. Diagrama de flujo en bloques del monitoreo de la etapa física de la PTAR.....	27
Ilustración 7. Subsistema de la etapa física del estabilización de PH.....	28
Ilustración 8. Subsistema de coagulación y floculación en la etapa física.....	30
Ilustración 9. Subsistema remoción de lodos y sólidos disueltos de la etapa física.	31
Ilustración 10. Diagrama de caso de uso, primer subsistema de la etapa física	33
Ilustración 11. Diagrama de caso de uso, segundo subsistema de la etapa física.	34
Ilustración 12. Diagrama de caso de uso, del tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química.....	35
Ilustración 13. Diagrama de secuencia del segundo subsistema de regulación de PH de la etapa física.....	36
Ilustración 14. Diagrama de secuencia, del segundo subsistema coagulación y floculación de la etapa física.....	37
Ilustración 15. Diagrama de secuencia, del tercer subsistema de remoción de lodo de la etapa física y química.....	38
Ilustración 16. Esquemas de estados del primer subsistema estabilización de PH de la etapa física.....	39
Ilustración 17. Esquemas de estados del segundo subsistema coagulación y floculación de la etapa física.....	40
Ilustración 18. Esquema de estados del tercer subsistema de remoción de lodos en la etapa física y química.....	41
Ilustración 19. Red de Petri, del primer subsistema de estabilización de PH de la etapa física.....	43
Ilustración 20. Red de Petri del segundo subsistema de coagulación y floculación al final de la etapa física.	44
Ilustración 21. Red de Petri, tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química	45
Ilustración 22. Matriz de inhibición del subsistema de estabilización de PH	46
Ilustración 23. Matriz de inhibición del segundo subsistema de coagulación y floculación de la etapa física.....	47
Ilustración 24. Matriz de inhibición del cuarto subsistema de remoción de la etapa química	47
Ilustración 25. Matriz de marcado del primer subsistema de regulación de PH de la etapa física.....	48
Ilustración 26. Matriz de marcado del subsistema de coagulación floculación	48
Ilustración 27. Matriz de marcado del cuarto subsistema de remoción de la etapa química	48

Ilustración 28. Transiciones habilitadas del primer subsistema de estabilización de PH de la etapa física	49
Ilustración 29. Transiciones habilitadas del segundo subsistema de la etapa física	49
Ilustración 30. Transiciones habilitadas del cuarto subsistema de remoción de la etapa química	49
Ilustración 31. Evaluación de análisis del espacio de estados de red	50

RESUMEN

La proyección de una planta de tratamiento de aguas residuales en el que se tiene un enfoque en las etapas mecánica y química del sistema basado en un sistema convencional con la finalidad de modificarlo para automatizarlo y optimizar de esta manera el proceso, es una investigación que tuvo como propósito analizar los requerimientos implicados para el desarrollo del estudio y funcionamiento del prototipo a partir del diseño del sistema de automatización y evaluación de este. Este estudio sugiere la implementación de un sistema que reduce consumo y costes de energía eléctrica, contribuyendo al cuidado de equipos y a la duración de su vida útil.

Para el estudio se emplearon métodos tecnológicos aplicables al problema en cuestión y se desarrolló la investigación de tipo descriptivo con un enfoque mixto, empleando métodos analíticos por medio de la reelección de información y simulación a partir de la comprobación de resultados.

Se realizaron los análisis pertinentes detallando la información obtenida de forma estructurada para facilitar la comprensión de esta, se modelaron los subsistemas en los que se orientaron las modificaciones y finalmente se evaluó el comportamiento de los mismos donde se logró demostrar su correcto funcionamiento.

Palabras claves: Automatización, sistema, subsistema, software, tecnológicos, funcionamiento.

ABSTRACT

The projection of a wastewater treatment plant in which it is focused on the mechanical and chemical stages of the system based on a conventional system in order to modify it to automate it and thus optimize the process, is an investigation whose purpose was analyze the requirements involved for the development of the study and operation of the prototype from the design of the automation system and its evaluation. This study suggests the implementation of a system that reduces electricity consumption and costs, contributing to the care of equipment and the duration of its useful life.

For the study, technological methods applicable to the problem in question were used and descriptive research was developed with a mixed approach, using analytical methods through the re-election of information and simulation based on the verification of results.

The pertinent analyzes were carried out, detailing the information obtained in a structured way to facilitate its understanding, the subsystems on which the modifications were focused were modeled and finally their behavior was evaluated, where it was possible to demonstrate its operation.

Keywords: Automation, system, subsystem, software, technology, operation.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con un informe del Banco Mundial, alrededor del mundo se vierte aproximadamente un 80% de agua residual sin haber recibido previamente un tratamiento adecuado, perdiendo así la posibilidad de aprovechar este recurso valioso del que se pueden recuperar nutrientes, energía y agua limpia (Rodríguez, Serrano, Delgado, Nolasco, & Saltiel, 2020)

La escases de recursos es un problema a nivel mundial, con respecto al agua se conoce que el 36% de la población humana a nivel mundial reside en regiones donde el acceso al agua es limitado, (Rodríguez, Serrano, Delgado, Nolasco, & Saltiel, 2020) en consideración a esta problemática se considera el tratamiento de aguas residuales una solución factible que además cubre otras problemáticas como la contaminación, la producción de energía y agricultura y la nutrición.

La automatización de sistemas son procesos que tienen como objetivo aumentar la productividad y optimizar el sistema en cuestión, por lo que la automatización de un sistema de tratamiento de aguas residuales tiene como finalidad aumentar la capacidad de tratamiento, reducir el tiempo de inversión y mejorar los resultados, en base a esto se pretende llevar a cabo una investigación en la que se analice la automatización de este procedimiento en su fase mecánica y química.

La división de este proyecto está fundamentada de la siguiente manera:

Siendo el capítulo 1, la descripción del trabajo de investigación, en el que se incluye un resumen de la problemática que se encontró, en este capítulo se encuentra la delimitación del estudio donde se especifican los alcances del trabajo investigativo, los objetivos generales y específicos que se han trazado y la metodología de investigación a utilizar.

En el capítulo 2, se encuentra desarrollada la fundamentación teórica en la que se basó la presente investigación, donde se describen los principales conceptos de interés y que se encuentran relacionados con el estudio para otorgar una mejor comprensión del mismo.

Dentro del capítulo 3, se muestra el diseño del sistema de automatización, en este capítulo se profundizará mucho más la información sobre el sistema debido a que se realizaran las: descripción, característica y los requisitos funcionales que tiene el sistema de desinfección. En la evaluación del sistema se muestran los diagramas de

estados, usos y secuencias del lenguaje modelado UML, que mostrará de manera gráfica y comprensible todo los procesos y actores del sistema y finalmente se realizara un modelado de la Red de Petri en el cual mediante sus ecuaciones se demuestra que el sistema es funcional.

En el capítulo 4, se especifican los resultados y discusión sobre el trabajo investigativo, además de mostrar los resultados de la investigación de los estados del arte, diagramas UML y las ecuaciones de la Red de Petri. Además, se verifico que haya un cumplimiento del objetivo principal y de los objetivos específicos del sistema.

En el capítulo 5, finalmente se realizarán las conclusiones del trabajo investigativo para luego poder desarrollar las recomendaciones que se tienen sobre el sistema de desinfección.

Como conclusión es posible determinar que el diseño de la cabina de desinfección, a través de un proceso sistemático de proyección, diseño, simulación e implementación, para lo cual se utilizó una metodología basada en UML y redes de Petri, garantiza el fiel cumplimiento de los requisitos funcionales y la buena formación del sistema.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES DEL TRABAJO DE TITULACION

1.1 Problema de investigación

Las aguas residuales albergan diversos microorganismos que causan enfermedades tales como la diarrea y la gastroenteritis las mismas que se encuentran entre las principales causas de muerte en el mundo y en la región Latinoamericana. (Keyla Madaly Muñoz Tello & Milagros Vasquez Perez, 2020) al no llevarse a cabo un tratamiento adecuado de las mismas, estos agentes afectan a la población que se encuentra expuesta a su consumo, afectando la salud y economía de la población vulnerable. Por medio de un tratamiento adecuado, este recurso puede reutilizarse evadiendo las afecciones causadas por la contaminación, puesto que se eliminan los agentes nocivos y se recuperan los elementos útiles como nutrientes.

Las aguas residuales por lo general son una mezcla de todo efluente generado por diversas actividades antropogénicas que son derramadas sin tratamiento ocasionando impactos negativos hacia el medio ambiente y la salud humana. Por ello es necesario tomar medidas de prevención mediante diferentes tipos de tratamientos de aguas residuales. (Romero, 2010)

Los sistemas que no han sido automatizados representan mayores costos y precisan constantes inversiones en mantenimiento, dependiendo mucho de la supervisión y trabajo manual, lo que sugiere posible imprecisión y deficiencia tanto en el proceso como en el resultado.

Con respecto a esta información se puede definir como problema de investigación la siguiente interrogante:

¿En qué medida la arquitectura de automatización afecta el control y monitoreo eficiente de las etapa física y química del tratamiento de aguas residuales?

1.2 Justificación

Las plantas de tratamientos de aguas residuales automatizadas representan reducción y ahorro de costes en energía, disminuyen el nivel de riesgos tanto para maquinarias como para trabajadores, otorga información específica y constante para mantener informes históricos sobre la evolución del proceso, supone también una supervisión constante sobre el

funcionamiento de la planta y los resultados que arroja, permitiendo además mantener a los responsables al tanto de su estado y disminuyendo los gastos ocasionados por averías. La automatización de sistemas de tratamiento de aguas residuales no solamente involucra un beneficio de reducción al impacto ambiental, sino que, además, disminuye la vulnerabilidad de la población expuesta al consumo de esta agua, aumentando también la seguridad de los trabajadores que intervienen en este proceso y optimizando la productividad de la entidad encargada del tratamiento.

1.3 Delimitación

El presente estudio está enfocado a la automatización de la etapa mecánica y química del proceso de tratamiento de aguas residuales para minimizar la intervención de las actividades manuales en estas etapas y aumente el nivel de seguridad tanto en el proceso como en el personal involucrado.

1.4 Objetivos

Como objetivos de estudio se presentan los siguientes:

1.4.1 Objetivo general

Proyectar una planta de tratamiento de aguas residuales en el que se encuentren las etapas mecánica y química, desarrolladas en base a un sistema convencional que involucre participación manual de operadores para proponer una modificación en dicho sistema automatizándolo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el funcionamiento de las etapas mecánica y química a partir de una lista de chequeo en la que se pueda realizar una verificación de la necesidad de automatización
- Diseñar un sistema de automatización enfocado en las etapas mecánica y química del proceso de tratamiento, para la optimización de ambas etapas
- Evaluar el sistema desarrollado a partir de una simulación por redes de Preti

1.5 Metodología de la investigación

El enfoque de esta investigación es mixto, puesto que durante el proceso de análisis intervienen datos tanto cuantitativos como cualitativos hasta la etapa de desarrollo, mientras que el tipo de investigación a emplear es descriptivo, puesto que se pretende detallar la propuesta de este estudio. El método de investigación a utilizar es de tipo analítico, puesto que se requiere recolectar la información necesaria para el desarrollo de la investigación, otro método a emplear es el de la simulación, con el que se busca comprobar los resultados pretendidos en el presente estudio.

1.5.1 Hipótesis

La automatización de las etapas química y mecánica durante el tratamiento de aguas servidas optimizan el proceso, aumentan la productividad y minimizan los riesgos y costos que representa el sistema convencional.

1.6 Tareas de investigación

Para lograr los objetivos planteado en este estudio se determinaron las siguientes tareas como planificación de la investigación:

- Verificar el funcionamiento del sistema convencional de tratamiento aguas residuales
- Diagnosticar las áreas en la etapa mecánica y química del sistema que requieran automatización
- Diseñar un programa que tenga la capacidad de automatizar ambas etapas del proceso
- Calibrar y configurar los sensores empleados para el proceso de automatización
- Sincronizar todas las etapas del proceso para evitar fallas en el sistema

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Tipos de tratamiento

2.1.2 Tratamientos físicos

Son aquellos métodos en los que se aplica una separación física, generalmente de sólidos. Estos métodos suelen depender de las propiedades físicas de los contaminantes, como la viscosidad, tamaño de partículas, flotabilidad, etc. Entre ellos podemos encontrarnos el tamizado, la precipitación, separación y filtración de sólidos.

2.1.2. Tratamientos químicos

Son aquellos métodos que dependen de las propiedades químicas del contaminante o reactivo incorporado al agua. Podemos destacar la eliminación del hierro y del oxígeno, la eliminación de fosfatos y nitratos, la coagulación, los procesos electroquímicos, la oxidación, intercambio de iones, etc.

2.1.3. Tratamientos Biológicos

En estos métodos se utilizan procesos biológicos, de manera que se pretende eliminar los contaminantes coloidales. Son microorganismos que actúan sobre la materia en suspensión transformándola en sólidos sedimentables. Pueden ser procesos aeróbicos o anaeróbicos, como los lodos activos, los filtros percoladores, la biodigestión anaerobia o las lagunas aireadas.

Entre los procesos que se realizan encontramos en primer lugar la filtración en filtros de arena, que retiene gran parte de la materia en suspensión. El carbón activo que sobra retiene el resto de las toxinas.

El tratamiento en lagunas proporciona la sedimentación necesaria, además de una ventaja biológica adicional. Es básicamente una imitación de los procesos naturales de autodepuración que realiza un río o un lago. Además de ser lagunas extremadamente aerobias, lo que genera un crecimiento habitual de cañadas, los invertebrados de alimentación filtrante también ayudan al proceso de eliminación de sólidos. Por otro lado, los humedales artificiales consisten en una serie de camas de caña o similar que generan un proceso de fitorremediación (descontaminación de suelos).

La eliminación de nutrientes también se realiza en esta etapa. El nitrógeno se elimina mediante oxidación biológica de bacterias como las Nitrobacter o la Nitrosomus, que convierten el NH_3 en nitratos, y después en N_2 . En este proceso de desnitrificación, los nitratos y nitritos son empleamos por dichas bacterias en

condiciones anaerobias, formando CO₂ y agua como productos finales, además de nitrógeno gaseoso

El fósforo se elimina a través del proceso de retiro biológico realizado de fósforo en el cual, bacterias acumuladoras de polifosfatos van recogiendo el fósforo del agua dentro de ellas. El fango resultante es complicado de operar, lo cual resulta un ligero inconveniente frente a la mejora de eficiencia del proceso de eliminación de fósforo.

En último lugar, se realiza una desinfección del agua residual para reducir el número de organismos que se han creado en las etapas intermedias. Los métodos más comunes utilizados son la ozonización, tratamiento con luz UV o tratamiento con clorina., aunque la desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección, sobre todo en Estados Unidos, mientras que en Reino Unido la UV se está volviendo la forma más común de desinfección.

Todos los estudios actuales demuestran que, sea cual sea el proceso al que se someta anteriormente descrito, la eficiencia de eliminación de los parabenos en las plantas de tratamiento de aguas residuales es superior al 90%, lo cual reduce significativamente la concentración, pero no evita que se vaya acumulando de manera periódica, ya que se devuelve al ciclo del agua con unos compuestos que no contenía inicialmente. (Jorge, 2020)

2.2 Coagulación y fluctuación

Para separar las partículas disueltas y suspendidas del agua se utilizan procesos de coagulación y floculación. Estos son relativamente sencillos y rentables, siempre que haya sustancias químicas disponibles y que la dosificación se adapte a la composición del agua. Independientemente de la naturaleza del agua tratada y del sistema integral de tratamiento aplicado, generalmente se incluye el proceso de coagulación-floculación como pretratamiento (por ejemplo, antes de la filtración rápida en arena) o como etapa posterior al tratamiento después de la sedimentación (en plantas de tratamiento de aguas centralizadas).

La mayoría de los sólidos suspendidos en agua poseen una carga negativa, por lo que se repelen unos a otros. Este rechazo evita que las partículas se aglomeren, haciendo que permanezcan en suspensión. La coagulación y la floculación ocurren en pasos sucesivos destinados a superar las fuerzas que estabilizan las partículas suspendidas, permitiendo la colisión entre ellas y el crecimiento de masas o flóculos,

que luego pueden separarse o eliminarse del agua por medio de la sedimentación o la filtración.

2.3 Operación y mantenimiento

La operación de coaguladores, floculadores y clarificadores requiere operadores capacitados. El trabajo de mantenimiento debe realizarse regularmente. Los aspectos clave de operación y mantenimiento de coaguladores, floculadores y clarificadores son:

- Inventario químico: debe haber un buen inventario, al menos suficiente como para un mes de operación.
- Control de dosificación: la dosificación correcta de sustancias químicas coagulantes es muy importante para la eliminación eficiente y efectiva de los sólidos suspendidos. Por este motivo, se deben realizar regularmente muestras de agua sin tratar para ser analizadas con una gama de concentraciones de coagulantes (prueba de jarras) y, así, determinar la tasa de dosis óptima de coagulante.
- La mezcla rápida del agua y los productos químicos coagulantes en el punto donde estos últimos se agregan es esencial.
- La floculación debe lograrse a través de una mezcla o agitación suave para maximizar el número de colisiones entre las partículas suspendidas y los flóculos, sin romperlos o disolverlos mediante una mezcla rápida.
- Diseño de la planta: el floculador y los clarificadores deben ubicarse uno cerca del otro y el agua debe fluir lentamente entre ellos para no romper los flóculos. (Félicien Mazille, 2018)

2.4 Flotación por agua disuelta

La flotación por aire disuelto o DAF (dissolved air flotation) es uno de los procesos más empleados en tratamiento de aguas de todo tipo -residuales industriales, urbanas, reutilización de aguas y procesos de desalinización-. La flotación por aire disuelto tiene cabida en diferentes puntos de la línea de tratamiento de aguas debido a las múltiples posibilidades de diseño de los flotadores.

En muchas ocasiones, la unidad de flotación por aire disuelto se coloca en cabeza del proceso de depuración, inmediatamente después del pretratamiento para la remoción de aceites y grasas. También es frecuente encontrar un flotador a la entrada del biológico para reducir la carga contaminante. En otras ocasiones se sitúa al final de la línea de aguas como clarificador final antes de enviar el vertido a un filtro

verde o al medio natural. En desalinización -donde la fibra de vidrio está consolidándose como material de construcción- funciona como protector de las membranas ante la presencia de algas en el agua. De la misma manera, los flotadores por aire disuelto se pueden instalar en la cabeza de la línea de fangos como espesadores de lodos, para reducir su volumen.

Estas burbujas se adhieren a las partículas sólidas y las confiere una velocidad de ascensión muy rápida. Una vez en la superficie, los sólidos -los fangos- son arrastrados mecánicamente hasta una tolva. Se calcula que la flotación por aire disuelto proporciona una velocidad de ascensión 5 veces mayor que la velocidad de decantación que se produce en un decantador convencional. Con el consiguiente ahorro de tiempo y espacio que esto supone. (Equipment, 2018)

2.5 Sistemas de automatización

Se emplean para optimizar y mejorar el funcionamiento de una planta industrial, pero de igual manera puede utilizarse la automatización en un estadio, una granja o hasta en la propia infraestructura de las ciudades.

2.5.1 Automatización en el Tratamiento de Aguas

La tecnología de la automatización permite ahorrar costes energéticos, aunque para conseguir este objetivo conviene analizar los niveles de automatización involucrados:

- Básico, control PID: Reaccionan al error ya producido de forma proporcional (P), integral (I) y derivativa (D) para identificar cuando algo anda mal.
- Control predictivo avanzado: Permite ajustar automáticamente los parámetros del modelo predictivo a la relación causa-efecto del proceso y a sus variaciones con el tiempo, el control adaptativo predictivo (AP).
- Gestión de energía, o conjunto de algoritmos de análisis robustos y probados que proporciona una gestión del sistema eléctrico en tiempo real de alta velocidad de operación, disponibilidad y de entorno de modelado integral.

La razón utilitaria de un sistema de automatización en un sistema PTAR, es ajustar en tiempo real las instalaciones de los objetos de estudio desde el control, con el fin de optimizar:

- Optimizar costos provenientes de la explotaciones de la plantas del tratamiento de aguas residuales.

- Las tareas de que encarga de la supervisión y operación rutinaria.
- El correcto funcionamiento la integración de los equipos en un sistema PTAR.
- Beneficios de la automatización de plantas de tratamiento de aguas.
- Soluciones concebidas de principio a fin en función de los requerimientos y necesidades de los clientes.
- Gestión integral de sistemas eléctricos y electrónicos con la implementación de sistemas de protecciones eléctricas y dispositivos de protección contra sobretensiones.
- La automatización concebida como un todo, aplicando la normativa existente.
- Experiencia en sistemas de monitoreo, control y automatización de procesos y tareas, teniendo en cuenta la expectativa del usuario final y el uso de la información generada por los sistemas.
- Proyectos concebidos para operar en el largo plazo con posibilidad de realizar expansiones futuras.

(CONTYQUIM, 2022)

2.6 Lógicas de control

2.6.1 Sistemas SCADA

se refiere a un sistema que recoge datos de campo en varios sensores conectados a una estación maestra en una fábrica, planta o en otras ubicaciones remotas y luego envía estos datos a un ordenador central a través de un sistema de comunicaciones que los gestiona y controla.

El sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos ayuda a gestionar este complejo procedimiento industrial manteniendo la eficiencia, impulsando decisiones más inteligentes mediante técnicas de procesamiento de datos y la comunicación de los problemas del sistema para atenuar el tiempo de inactividad. (SICMA, 2021)

2.6.2 Elementos que componen un sistema SCADA

Los sistemas SCADA son sistemas de software, aunque necesitan de algunos elementos de hardware para aumentar las prestaciones.

Dentro del software encontramos:

HMI (Human Machine Interface)

Mediante una interfaz determinada se pueden unir o vincular los datos al programa de SCADA. Así, obtenemos información de la gestión general de forma detallada, el mantenimiento o el diagnóstico de las fases e información logística.

Gracias a esta vinculación, de forma gráfica, pueden representarse dichos datos de forma que puedan controlarse los datos del proceso por un operador humano.

Configuración

La configuración permite definir el entorno de trabajo en función de las pantallas y los niveles de acceso de los usuarios, además del número de accesos. En el momento que se debe configurar, se aconseja incorporar un driver que optimice el enlace que se genera a través de la comunicación de ondas en la conectividad y el sistema implementado; o indicar las variables a visualizar, procesar o controlar, facilitando así la programación posterior.

Interfaz gráfica del operador

Permite al operador las funciones de control y supervisión, mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador, los cuales se generan desde el editor de SCADA.

Módulo de proceso

En este caso, el módulo de proceso ejecuta las acciones programadas en función de las variables leídas. En el sistema SCADA juntamos estos conjuntos de elementos que se encuentran en el sistema operativo para que pueda trabajar automáticamente y puedan atender a varios tipos: acciones de mando, maniobras de acciones de mando, animación de figuras.

Gestión y archivo de datos

Almacena y procesa de forma ordenado los datos, según formatos para elementos periféricos de hardware o de software. Una vez procesados los datos, se presentan en forma de gráficas, histogramas o representaciones tridimensionales, entre otras. Así, es posible analizar la evolución global del proceso. (Opertek, 2019)

2.6.3 Funciones de un sistema SCADA

- Controlar los procesos industriales de forma local o remota.
- Monitorear, recopilar y procesar datos en tiempo real.
- Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, motores y la interfaz HMI.
- Grabar secuencialmente en un archivo o base de datos, acontecimientos que se producen en un proceso productivo.
- Crear paneles de alarma en fallos de máquinas por problemas de funcionamiento.
- Gestionar el mantenimiento con las magnitudes obtenidas.
- El control de calidad mediante los datos recopilados.

(Automatización, 2021)

2.7 Bombas dosificadoras

Las bombas dosificadoras se utilizan para mover, inyectar o dosificar un químico en cualquier tipo de fluido, ya sea en línea o en un tanque de almacenamiento.

Una bomba dosificadora siempre debe permitir el ajuste del caudal de una manera lineal y su diseño debe garantizar la reproductividad, la repetitividad y la presión del volumen desplazado, en pocas palabras debe ser precisa con el volumen que dosifica.

En el mercado existen diferentes tipos de bombas para distintas aplicaciones con diferentes grados de error máximo en su dosificación, así como diferentes materiales para las piezas de la bomba, flujos y contrapresión máxima de trabajo.

Por lo general estos equipos son bombas volumétricas oscilantes. Estas succionan un volumen de líquido definido y lo introducen en la tubería de dosificación. Se pueden hacer diferentes ajustes para conseguir una dosificación exacta constante. (Carbotecnia, 2022)

2.8 Proceso de lodos activados (ASP)

El proceso de lodos activados es un proceso para tratar las aguas residuales y los residuos comúnmente conocidos como efluentes utilizando bacterias (para degradar los orgánicos biodegradables) y aire (oxígeno para la respiración).

Los lodos activados se refieren a una mezcla de microorganismos y sólidos en suspensión. El cultivo bacteriano se realiza en el proceso de tratamiento para descomponer la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y otros compuestos inorgánicos. El proceso típico de lodos activados tiene los siguientes componentes básicos:

1) Clarificador primario para separar los sólidos transportados junto con las aguas residuales/afluentes.

2) Un reactor en el que los microorganismos se mantienen en suspensión, aireados y en contacto con los residuos que están tratando.

3) separación líquido-sólido.

4) un sistema de reciclaje de lodos para devolver los lodos activados al inicio del proceso. (SG, 2021)

2.9 Tratamiento biológico de separación de membranas (MBR)

La tecnología de membranas (TM) es un método de filtración de solutos disueltos en un fluido, cuyo fundamento es la separación por la diferencia de los pesos moleculares y el tamaño de partícula. La tecnología de membranas (TM) ofrece ventajas significativas en la industria en general, debido a que:

1) la separación se realiza de forma continua.

2) el consumo de energía es pequeño,

3) los procesos son fácilmente combinables con otros procesos de separación.

4) el escalado de los procesos es sencillo.

5) las propiedades de las membranas son ajustables.

6) no es preciso añadir aditivos.

7) se recuperan productos de valor.

8) se requieren bajos costos de inversión.

9) se reduce la emisión de residuos que atentan contra el medio ambiente.

(C.A. Solís, 2017)

2.10 Lenguaje de modelo unificado (UML)

El lenguaje de modelado unificado (UML) es un estándar para la representación visual de objetos, estados y procesos dentro de un sistema. Por un lado, el lenguaje de modelado puede servir de modelo para un proyecto y garantizar así una arquitectura de información estructurada; por el otro, ayuda a los desarrolladores a presentar la descripción del sistema de una manera que sea comprensible para quienes están fuera del campo. UML se utiliza principalmente en el desarrollo de software orientado a objetos. Al ampliar el estándar en la versión 2.0, también es adecuado para visualizar procesos empresariales. (IONOS, Digital Guide IONOS, 2018)

2.11 Diagrama de casos de uso

Los diagramas de casos de uso permiten visualizar las interacciones que podría tener un usuario o un cliente con un sistema. Anteriormente se usaban en la programación de computadoras, sin embargo, los diagramas de casos de uso se han hecho populares en las industrias minoristas y en las de atención al cliente para explicar la interacción de los clientes con una empresa o negocio.

2.11.1 ¿Para qué se usa un diagrama de caso de uso?

Aunque aún son utilizados principalmente para la programación de computadoras u otros campos técnicos, los diagramas de casos de uso se han extendido a otras áreas de negocios, y son muchas las organizaciones que crean diagramas de casos de uso para ayudar a visualizar todas las formas en las que una persona puede interactuar con su empresa.

En un contexto de negocios, las organizaciones pueden crear un diagrama de caso de uso o emplear ilustraciones para visualizar el flujo de ventas y marketing, describir las interacciones típicas con su tecnología y aplicaciones o analizar un flujo de trabajo complejo. (Gaskin, 2022)

2.12 Diagramas de estado

Un diagrama de estado UML (también llamado diagrama de estado, diagrama de transición de estados o diagrama de máquina de estados) muestra los estados por los que pasa una máquina de estados finitos, es decir, un modelo de comportamiento que consiste en acciones y estados o transiciones a otros estados.

El diagrama proporciona un estado inicial y uno final, así como al menos un estado intermedio para cada objeto. El diagrama de estado permite, de este modo, representar el ciclo de vida completo de cualquier sistema, subsistema o componentes o clases de este, como podrían ser una máquina de café, un lector de libros electrónicos o un componente tecnológico de un vehículo. (IONOS, Digital Guide IONOS, 2020)

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA ETAPA FÍSICA Y QUÍMICA PARA UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Dentro de este capítulo se expresa las generalidades con respecto a la estructura del diseño, descripción, características y funciones necesarias para el control de las etapas físicas y químicas de un sistema de tratamiento de aguas residuales por medio de la simulación de modelado.

3.1 Consideraciones generales de la estructura del diseño.

Actualmente las industrias del mundo se han puesto como objetivo rescatar, limpiar y proteger el medio ambiente, es por este motivo que están incorporando procesos y actividades para reutilizar los recursos, la planta de tratamiento es una de estas estrategias permite reutilizar el agua líquida vital, a través de prescindir de edificadores se hayan dentro del agua y poder monopolizar sus usos sin malgastarlo o derrocharlos.

Este proceso de Tratamiento de Aguas Residuales está compuesto por varias etapas para la producción las cuales deben ser verificados discretamente, no obstante, posee un procedimiento con un índice de mayor dificultad por lo que debe llevarse a cabo una vigilancia constante, esta es la etapa física conjunto con la química, que es el enfoque del diseño mencionado. Expondremos las premisas y la importancia de esta estructura para la vigilancia en tiempo real y la eficiencia del sistema.

3.1.1 Detalle y complementos del sistema de automatización

El sistema con el cual tratan las aguas residuales mediante los proceso físico y químicos, previamente mencionado, se puede establecer una composición de procesos en cadena, los cuales realizan una secuencia, de forma que cada uno aporta el funcionamiento del proceso.

El proceso de las etapas física y química, como se comprobó en el marco teórico, instaura una mezcla procesos que están conectadas en serie creando un sistema en cadena, lo que, a su vez, permite que se complemente cada secuencia con su etapa posterior creando así el sistema de "Aguas Abajo".

Esta secuencia de etapas unitarias que están conectados en forma de cadenas que conlleva que, al culminar esta sucesión del tratamiento, el agua resultante admita un índice de rango óptimo para la distribución y reincorporación al público.

Pese a que, en su gran mayoría, las industrias integran a sus Plantas sistemas de tratamientos de aguas residuales de gran volumen, se puede encasillar cada proceso en segmentos; iniciando por la etapa de pretratamiento, continuando por la etapa Físicas (primaria), siguiendo por la etapa química (secundaria) y finalizando por la etapa biológica (terciaria), como se puede observar en la ilustración 1.

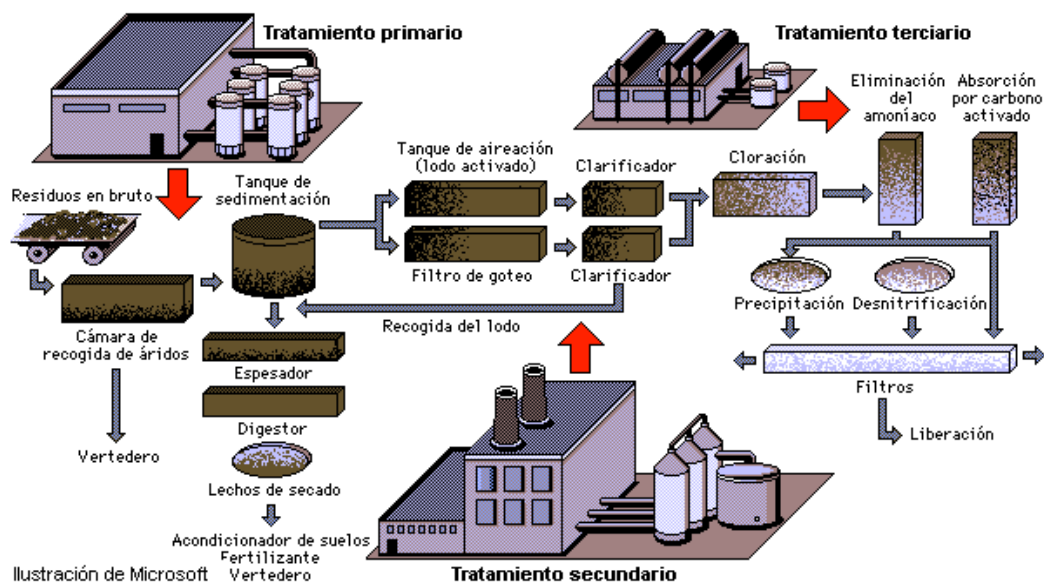


Ilustración 1. Etapa física, química y biología de aguas residuales

Fuente: (Residuales, 2017)

El proceso de la etapa física inicia en el instante que el agua entra al tanque de sedimentación que tiene como objetivo separar los residuos sólidos de los líquidos para no obstruir con las tuberías de las etapas posteriores como observamos en la ilustración 1.

En la ilustración 2 observamos un diagrama de bloques donde explica como por medio de la coagulación y floculación desechará el exceso de residuos para que el agua tratada avance a la siguiente etapa (etapa química).

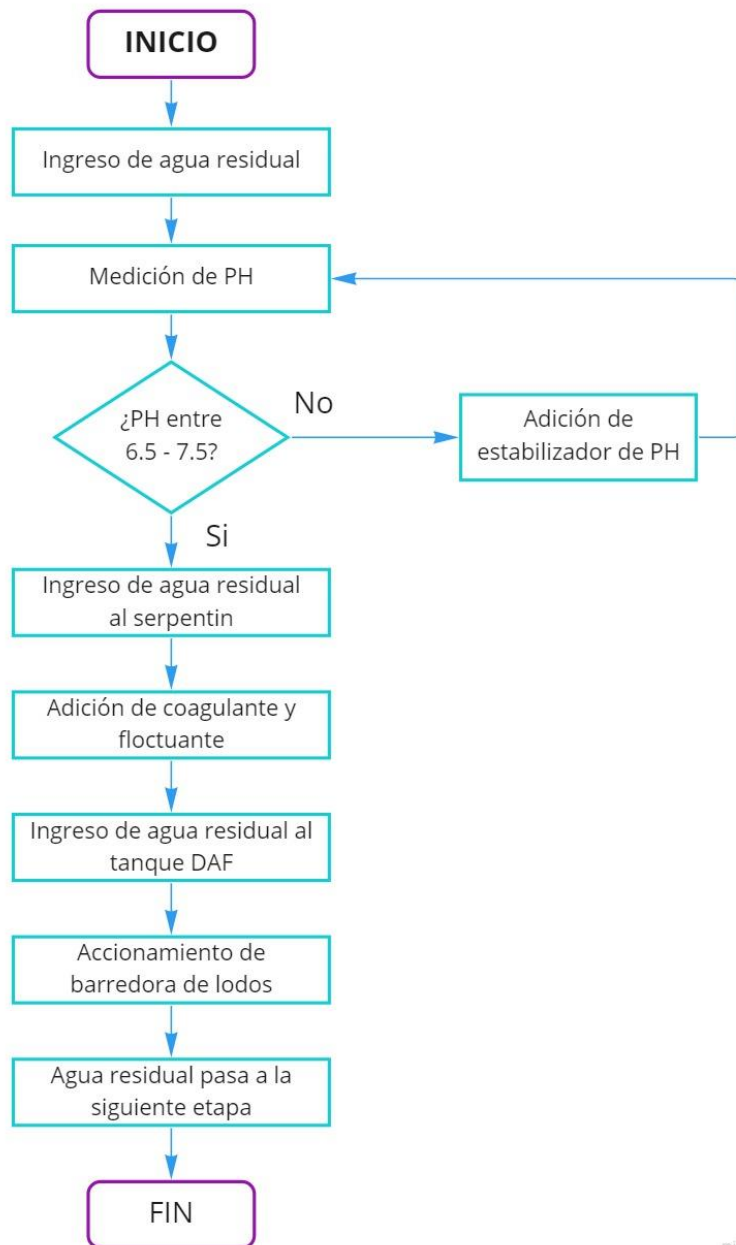


Ilustración 2. Diagrama de flujo del tratamiento física.

Fuente: Elaborado por el autor.

En cuanto a las primeras operaciones de coagulación de químicos el final, el trabajo de estos sólidos solubles es efectivo cuando el pH de las aguas residuales neutrales o aproximadamente 7, funciona con una serie de 6.5 - 7.5. Por lo tanto, es necesario realizar una medida de pH en Internet, con agua que va primero, con la ayuda del sensor industrial, esto ayudará a descubrir la acidez de los desechos o alcalinos. Hay industrias que realizan este proceso de medición utilizando un dispositivo móvil que puede ser electrónico, y el análisis de dominios, caídas o medicamentos, que se utilizan principalmente a nivel industrial para verificar el pH del pH, entre sí, los analistas lo son Reducido, incluido un tubo pequeño en él, se recoge una muestra de aguas residuales y se agrega de 3 a 5 gotas de reactivos, luego el color se obtiene con la placa provista. Una de las desventajas de este dispositivo es que el operador tiene que tomar la medida constantemente y en su ausencia no hay forma de controlar este parámetro.

Después de medir el pH, dependiendo de la acidez o el alcalino, permite la adición de la playa el pH a la playa. En el caso de las aguas residuales con pH ácido o dentro de 1 a 6.4, se puede agregar un tipo específico de alimentación de la piel como soda o hidróxido de sodio es alcalino a partir de la disminución y neutralización alternativa de 7.6 del pH. Después de realizar el tratamiento el agua en la etapa física, el agua tratada debe estar con un índice de calidad de pH que oscila entre 6.5 a 7.5 y una vez aprobada por el sistema, se transporta al siguiente proceso que donde trabaja una turbina que posee una hélice de seis periodos invariables, En esta etapa se le agrega un coagulante dentro de la turbina, quizás sulfato de aluminio granular grado A, y en el cuarto anillo se le agrega un floculante, que puede ser del tipo aniónico tal como poliacrilamida. A continuación, el agua restante entra en el depósito DAF, donde, gracias a la flotabilidad del aire disuelto que generan determinados aireadores, se introducen burbujas en el agua, de forma que las burbujas mantienen en suspensión exceso de residuos químicos, sebos, materias, grasas o aceites para que el agua que está siendo tratada cumplan con el requisito de tener una consistencia menor a estos residuos que son separado en este proceso de la etapa química. Una vez que el agua cumpla con el rango de calidad establecida, se culmina este proceso y pasamos la etapa posterior.

3.1.2 Identificación del sistema

En esta fase especificaremos los mecanismo, terminales y módulos que garantizara el correspondiente funcionamiento del uso del sistema de sistema de monitoreo y vigilancia que están a cargo de todas las Etapas Físicas y Químicas:

- Dispositivo de monitoreo y vigilancia:

El objetivo primordial es que este módulo de control pueda admitir las señales que ingresen al sistema de monitoreo para que obtengan la información y enviarla a su respectivo nudo para encender los actuadores de salida y logren detener el sistema si se detecta una anomalía en algún momento determinado. Suelen tener una interfaz muy fácil de usar y su programación es basada en íconos, operan con tensión de alimentación de 110-220V AC, frecuencia de 50/60Hz, tienen entradas digitales de 24VDC, entradas analógicas de 0-10VDC o 4-20mA, permiten salidas digitales a través de relés controlados por motor, como bombas dosificadoras y barredoras automáticas de lodos. Con protección IP-65 y conexión Ethernet, PROFIBUS, RS485, RS232, MODBUS.

- Sensores y actuadores:

La función de los sensores y su diseño es proveer la mayor cantidad de datos posible al sistema central de monitoreo. Incluso existen sensores de ultrasonidos tiene la habilidad de poder captar objetos en rangos específicos, pero para un sistema de tratamientos de aguas residuales se ocupa un sensor especializado en la detección de presión, de aumento de pH y temperatura. En general, el sensor de PH tiene resistencia a altas temperaturas, detección rápida de cambios en proceso, rango de medición de pH de 0 a 14, precisión de $\pm 0,001$, tiempo de respuesta de 1 segundo, presión de hasta 100 PSI según el modelo, conductor de plomo estañado y cable con una longitud de 1 m a 6 m, se puede utilizar un cable de extensión adicional. Tienen compensación de temperatura PT-1000, el voltaje de alimentación para la mayoría de estos sensores es de 12-24 VCC.

Un Sensor magnético de corriente continua tiene un rango de funcionamiento de alrededor de 0,3%, cuando está en un montaje en línea, este dispositivo está compuesto material de un acero inoxidable, lo que permite lograr

una implementación en los dispositivos encargados en los contactos de 4-20 mA dentro de los sistemas de Modbus, RS485 Profibus PA/DP, PROFIBUS, tensión de alimentación 12-24 Voltios de corriente continua, con IP65 protección, IP67, con una presión máxima de 600 bares, de temperatura como máximo 70°C. Sensor de nivel ultrasónico para aplicaciones de lodos tiene como rango definido una medición de 0,4centímetros a 15metros con una eficiencia de 0,01m, también se definió que capte en una profundidad máx. de inmersión 3metros, y que asuma una presión máxima 0,3 bares, con una conexión eléctrica con una conductor bifilar, malla y conector, material acero inoxidable, alimentación 24VDC, protección IP68. En el caso de los actuadores, se debe implementar bombas dosificadoras de funcionamiento electromagnéticas, incluso podrían ser de marcha mecánicas que permitan un trabajo más eficiente al momento de iniciar el proceso de dosificación y un mejor rendimiento. Al ajustar la tasa por minuto, se determinan la tasa y el caudal de la dosis química. Opera con un voltaje de suministro monofásico de 115-220V CA, dependiendo del químico que se dosifique, se debe considerar la compatibilidad de los elementos químico con el recipiente y recubrimiento que se vaya a integrar a la bomba para evitar una continua contaminación y mezcla con el agua que ya ha sido tratada previamente, adicionalmente impedimos un deterioro de los equipos como los contactores, sensores o actuadores. Asimismo, cuando se utilizan polímeros, se debe tener precaución a la hora de garantizar que el sistema de bombeo pueda suministrar la fuerza correspondiente para darle marcha al sistema de la etapa química teniendo en cuenta los niveles de viscosidad que se van a verter dentro de estos tanques. Una particularidad que tiene los aparatos implementos en este proceso químico es que funcionan a partir de un corriente que va de un rango de 4-20mA que activa la conexión con la unidad de control, asegurando que la dosificación se realice a la velocidad requerida por el proceso. Además, los conectores se pueden utilizar para señales externas, de apagado, pulsadas o auxiliares.

- DAF

Como la capacidad de procesamiento de la planta de tratamiento es de 100 m/s, consideramos esta unidad calificada DAF, que tiene un cuerpo de acero inoxidable, como la fuente del agua residual a tratar. Equipos de pesca, incluido un sistema de separación automática de lodos o sólidos en suspensión mediante un escáner mecánico de superficie.

3.1.1 Operabilidad del sistema

La Etapa Física y la etapa química del sistema automatizado del tratamiento de aguas residuales está conformada por pequeños procesos en cadena que están conectadas entre sí con un respectivo flujo y debe llevarse a cabo correctamente, de acuerdo con un orden específico de acciones y funciones. Entre las funcionalidades vitales del sistema de monitoreo y vigilancia se encuentran las siguientes:

1. Ingreso de toda el agua contaminada por residuos al pozo de almacenamiento.
2. Detección de los niveles óptimos del PH en el agua residual (rango entre 6.5 – 7.5).
3. Automatización del encendido y apagado de las bombas dosificadoras de químicos al reconocer el ingreso del agua.
4. Control de ingreso del agua residual al serpentín conjunto al Accionamiento de la sedimentación de lodos.
5. Monitoreo de la salida del serpentín del agua residual tratada y a su posterior ingreso a la etapa química.
6. Diagnóstico de fallo o desgaste de conductores, actuadores y sensores.

Funciones posteriores al finalizar la etapa física:

- I. Creación de base de datos con los resultados de los sensores logrados a la culminación de dicha etapa.
- II. Horas de encendido (Entrada) y apagado (Salida) del sistema.
- III. Generación de reportes con advertencias.

3.2 Estructura del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

Por las funciones variadas que ofrece este sistema y sus dispositivos integrados, el control y monitoreo del sistema, debe poseer una estructura para la correcta comunicación y una inspección efectiva en los aparatos relacionados con la automatización de la etapa física y química para el procesamiento de datos de aguas residuales industriales.

3.2.1 Estructura del sistema de control y monitoreo

En la ilustración 3 se indica la estructura a realizar del monitoreo de cuatro niveles en su respectivo orden jerárquico, comenzando por el nivel más bajo correspondiente a los dispositivos de campo proporcionados a los sensores de mediciones, actuadores de encendido y apagado, conductores, motores de bombeo, etc. En el nivel siguiente hallamos al cerebro programable que controla todo el sistema, en la mayoría de caso se implementa un PLC, el cual se encarga de recibir, interpretar y almacenar información de los dispositivos de campo y tomar decisiones a su vez en base a parámetros predeterminados, de igual manera este dispositivo se encarga de brindar la señal de salida. que facilita y corrige el funcionamiento del sistema. Por ejemplo, dependiendo del rango optimo que programemos para la detección del pH, se pondrá en alto (Encender) un relé para que ponga en marcha el funcionamiento del sistema y empiece a estabilizar el pH del agua (al rango previamente establecido) a través de la bomba dosificadora.

En la cima del orden jerárquico encontramos dispositivos de comunicación que provea una conexión estable directamente desde el puerto o módulo de ethernet. El segundo nivel pertenece a los sistemas SCADA, quien es el cerebro programable que se maniobra a través de HMI que le da acceso al trabajador o empleado a vigilar y regular en todo momento lo que el sistema está realizando, mostrando resultados y advertencias que quedan guardadas en su memoria interna. Un PLC Scada es una lógica programable de la unidad de control, por ejemplo, lectura del sensor de pH, estado de alarma, salida de disparo, error, selección de estado entre manual y automático. En esta última etapa de la jerarquía se encuentra el ambiente Enterprise Resource Planning (ERP), el cual se enfoca en mejorar la calidad de los procesos, evitando la duplicidad de información y atrasos, pero sobre todo brindando información y avisos sobre el estado de los equipos y maquinarias, optimizando la planeación y lo que reduce la reparación y el mantenimiento Equipo preventivo, proporciona ciclos de vida más largos, reduce el tiempo de inactividad de la máquina y el error humano.

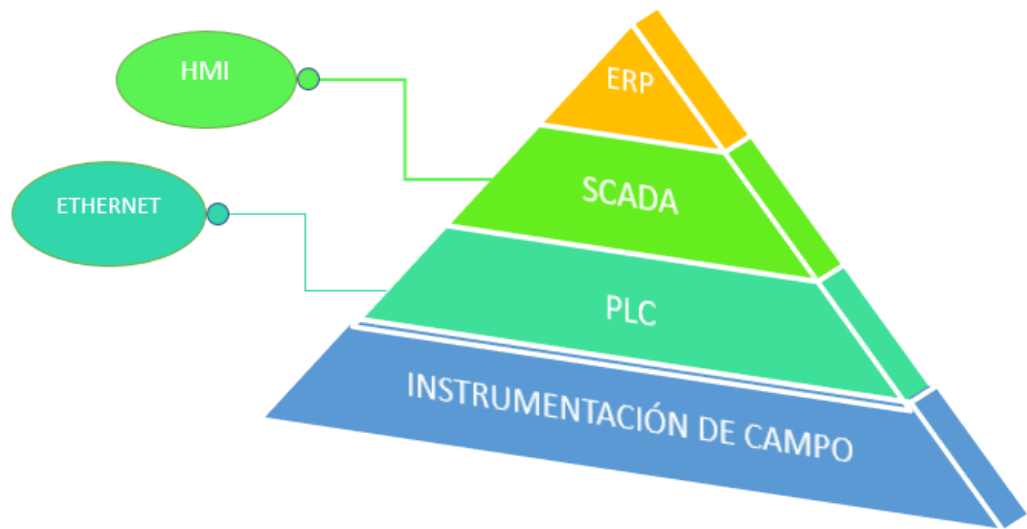


Ilustración 3. Jerarquía de una estructura de control.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.2 Estructuración de los sistema de comunicaciones

Una vez que la automatización se acopla a un sistema industrial, podemos enlazarlo a una red con cables bidireccionales, cuyo trayecto incluye un trayecto de ida o envío y otro de salida o retorno que facilita el envío y recepción de información que está siendo procesada en tiempo real, como se muestra en la ilustración 4. Además de ser simple en su estructura, es muy fácil de implementar en cualquier estructura que incorpore un módulo de ethernet.

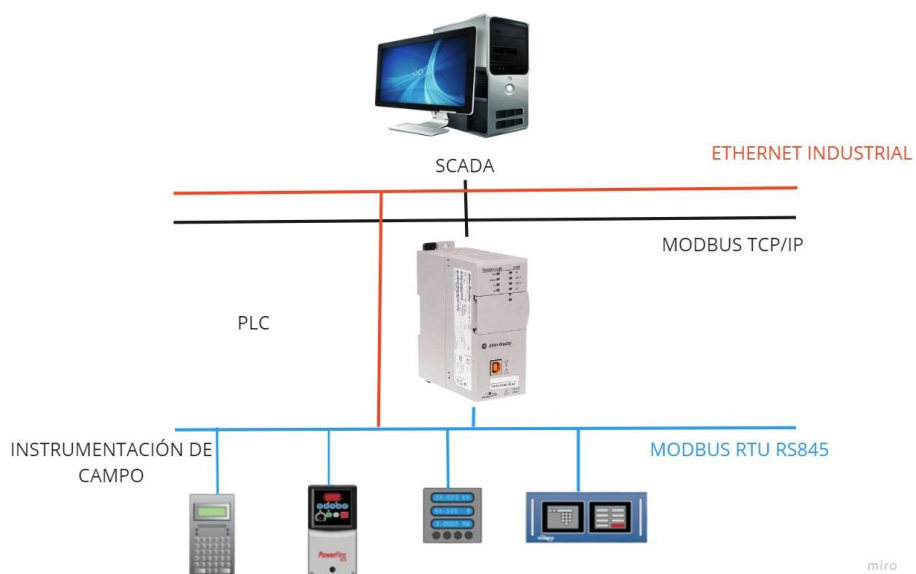


Ilustración 4. Estructura de comunicaciones.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la ilustración 4, cuando se implementa el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP permite una comunicación, no solo rápida y confiable, es de las eficiente a la hora de incorporarlos en los sistemas SCADA y así como en los dispositivos de monitoreo y vigilancia. Para poner intercambiar datos entre los dispositivos que se encuentran en campo tales como sensores, actuadores, relés y los controladores se utiliza el protocolo estándar “MODBUS RTU RSJ485”, el cual es muy utilizado en ambientes industriales donde se busca las automatizaciones completas porque este permite conectar múltiples dispositivos al un bus unificado, como podemos observar en la ilustración 4. Una de las exigencias antes de poner integración total a la red y se lleve a cabo de manera efectiva, es que los nodos que están dentro del mismo rango tengan direcciones IP Fijas. Para proceder a incorporar una capa física, hay que acoplar en un solo segmento al PLC junto a protocolo industrial MODBUS TPC teniendo en cuenta que el PLC debe tener una dirección MAC única y no puede ser repetida para su funcionamiento, Estas direcciones físicas tienen como características que en su estructura está conformada de 6 bytes y lo que lo hace indispensable para generar esta capa de enlace entre el PLC y el protocolo MODBUS.

3.2.3 Estructura del sistema SCADA a Ethernet

En la Estructura del Receptor al servidor y viceversa, se unen en un punto en común, a saber, que la estructura de comunicación y la estructura de control. El PLC o sistema SCADA es el dispositivo vital para que función de enviar y de recibir señales a los dispositivos que se encuentran en el campo y así poder vigilar y manipular durante el tiempo de encendido en cada etapa. Entre más PLC se incorporen al sistema automatizado, se podrá obtener mejores resultados en cada área donde se implemente el sistema industrial y esto no afectará el monitoreo de las dichas etapas.

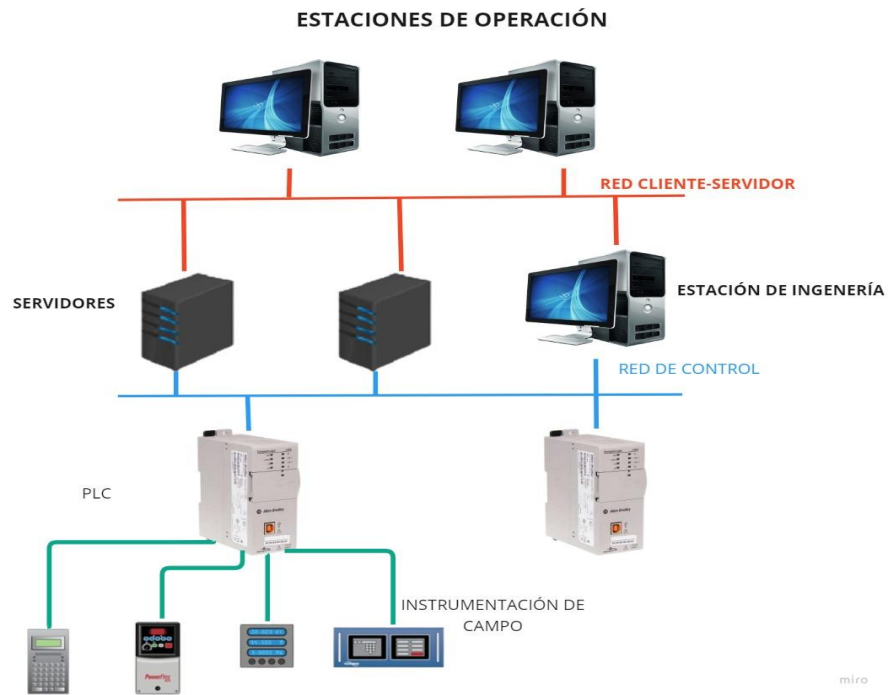


Ilustración 5. Estructura de un sistema PLC.

Fuente: Elaborado por el autor.

Como podemos observar en la ilustración 5, la estructura de un sistema PLC pertenece al primer nivel jerárquico que abarca todos los dispositivos de campo, el PLC que pertenece al nivel de control que es el segundo nivel jerárquico de una estructura de control, y la interfaz HMI está interconectada con esta red, que puede denominarse tecnología o desarrollo de terminales. En su extremo la estación del operador, que permite al operador o usuario final, llamado cliente, a través de la red cliente servidor, vigilar el proceso, entrando al servidor a través de la red de comunicación conjunta a la conexión de ethernet integrada.

3.3 Evaluación de un sistema de monitoreo y automatización

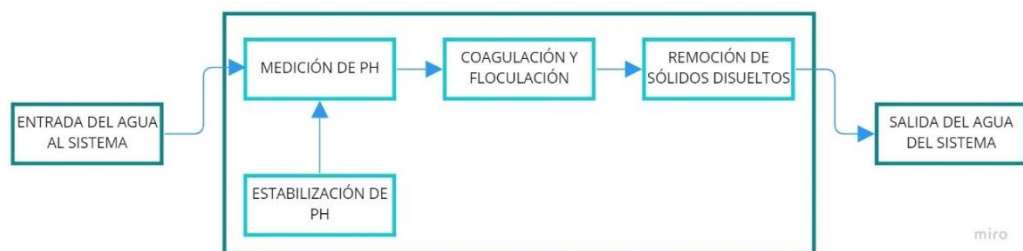


Ilustración 6. Diagrama de flujo en bloques del monitoreo de la etapa física de la PTAR.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la ilustración 6 podemos observar un diagrama de flujo representado en bloques del sistema de monitoreo de la etapa física para una planta de tratamiento de aguas residuales, enfatizando en el funcionamiento de los dispositivos de su correspondiente etapa del sistema automatizado. Iniciando con el ingreso del agua contaminada o con residuos dentro del tanque, Una vez el agua está en el tanque, iniciamos el primer paso que es la medición del pH del agua remanente, si ocurre algún error se tomará la retroalimentación del sistema estabilizando el pH del agua, es decir, el agua en el sistema vuelve a su composición original tantas veces como sea necesario, para que coincida con el parámetro deseado (rango de pH 6,5 - 7,5). Una vez que el sistema alcanza el rango de pH óptimo, pasa al segundo componente, conocido como coagulación y floculación, durante el cual solo se requiere monitoreo y no se realiza ninguna corrección. En la tercera etapa, los sólidos disueltos y los lodos se eliminan de las aguas residuales mediante tecnología DAF, y el agua tratada final se traslada a la etapa química del proceso del tratamiento. Luego se analiza cada subsistema de control de este proceso, interpretando los esquemas.

3.3.1 Evaluación del primer subsistema de la etapa física, estabilización de PH

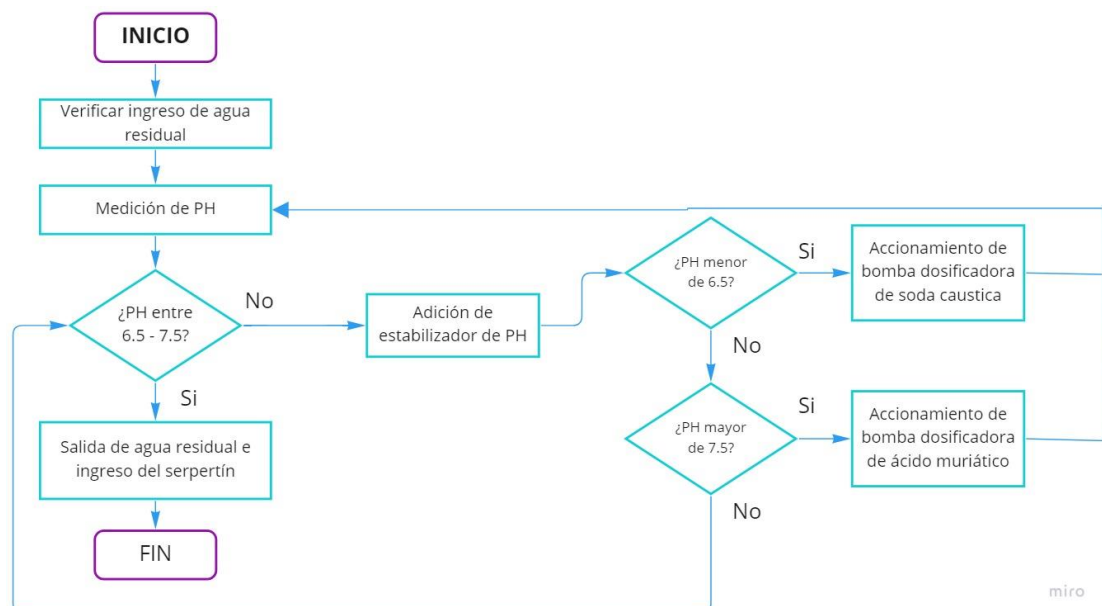


Ilustración 7. Subsistema de la etapa física del estabilización de PH

Fuente: Elaborado por el autor.

La Ilustración 7 muestra el primer subsistema de control, que corresponde a la medición y estabilización del pH del agua remanente. Primero, probaremos

el flujo de agua restante en el sistema y luego mediremos los parámetros de PH, utilizando un sensor de PH con una escala de 0-14. Si la medición está en el rango óptimo, de mínimo 6.5 a un máximo de 7.5, el agua que queda en el sistema es suficiente para drenar al segundo subsistema de la etapa física para iniciar el sistema de procesos de floculación y proceso de coagulación. Si el agua residual tratada, está fuera de su rango óptimo de pH, existen dos casos, el primer caso cuando el pH del agua restante es inferior al rango establecido de 6,5, Entonces el ese sistema manda una señal de encendido para activar la bomba dosificadora que contiene de sosa cáustica, para aumentar los niveles de pH y llegar al punto de pH deseado. Por otro lado, el segundo caso, si el pH del agua supera el rango máximo de pH establecido en 7,5, el ese sistema manda una señal de encendido para activar la bomba dosificadora de ácido clorhídrico para para disminuir los niveles de pH llegar al punto de pH deseado. En cualquier caso, el sistema automatizado ejecuta una decisión que se amerite en el momento, el retorno del agua nuevamente al primer subsistema de la etapa física se debe al cumplimiento o no del rango de calidad del pH que se decida. Este proceso se puede activar repitiéndolo un numero infinito de veces hasta que el parámetro PH sea ideal para hacer avanzar el proceso. Luego se analiza cada subsistema de control de este proceso, interpretando los esquemas.

3.3.2 Evaluación del segundo subsistema de la etapa física, coagulación y floculación

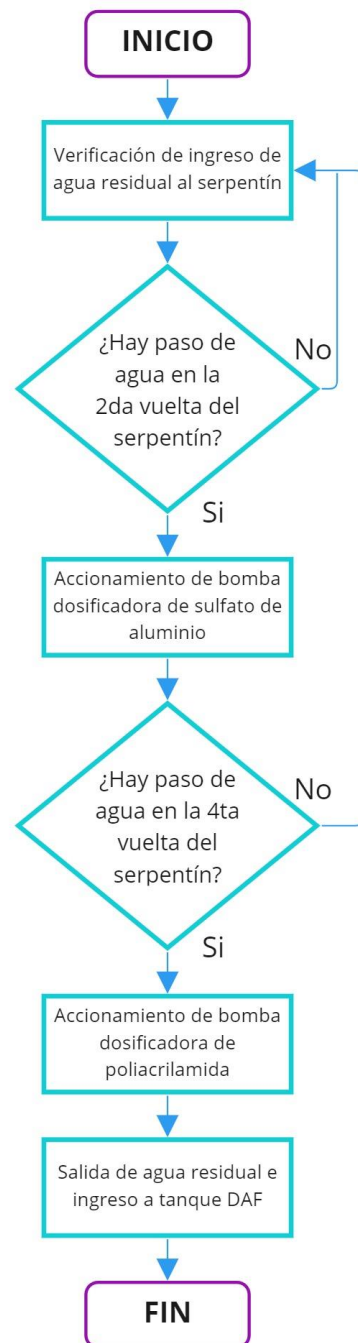


Ilustración 8. Subsistema de coagulación y floculación en la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

En La Ilustración 8 podemos observar el segundo subsistema de la etapa física que está enfocado al desarrollo del proceso floculación y del proceso de coagulación, cuya iniciación consiste en intervenir para evitar que haya una fuga excesiva agua al serpentín que ya ha sido trabajada por el primer subsistema de la etapa física. En este proceso Las bobinas de este subsistema se

encuentra colocada es de arriba hacia abajo, es decir, el número de vueltas se enumera de abajo hacia arriba. Por lo tanto, verifique si hay agua circulando por el segundo ciclo del serpentín, de ser así, la bomba dosificadora de sulfato de aluminio, también conocida como coagulante, está activada. Luego se requiere que se realice nuevamente una comprobación del correcto flujo del agua, en caso de que, se detecte que aún hay un flujo de agua en la cuarta ronda, el sistema automáticamente devuelve este flujo de agua hacer el proceso nuevamente (verificar la entrada al serpentín). Por lo contrario, si el sistema detecta que el agua fluye a través de serpentín en la cuarta ronda, continua a la bomba de dosificación de un material llamado “poliacrilamida”.

3.3.3 Evaluación del tercer subsistema de la etapa física, remoción de lodos y sólidos disueltos.

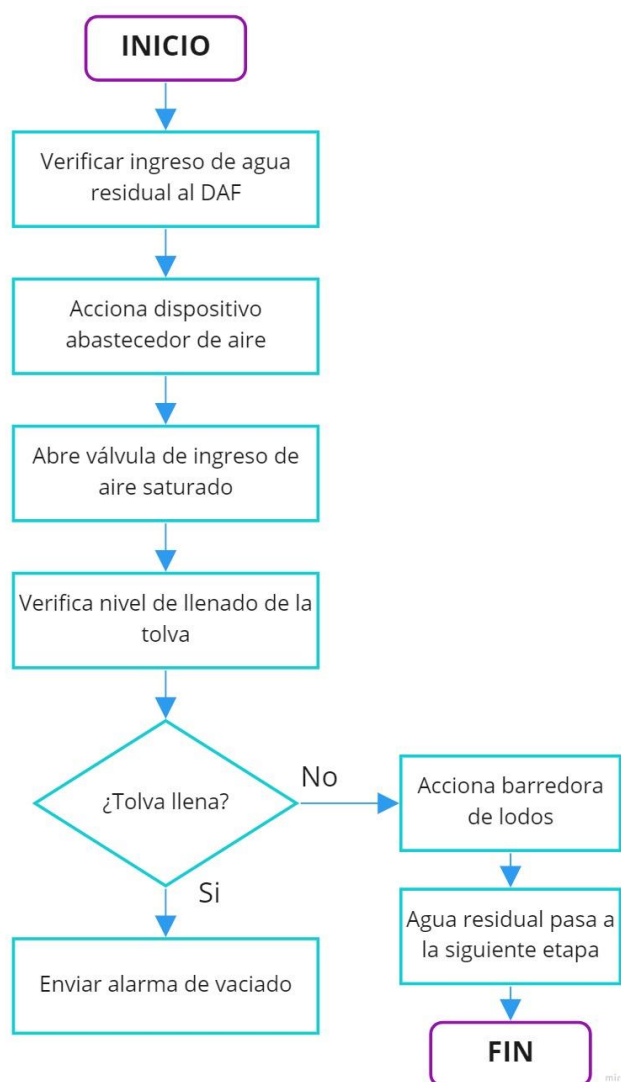


Ilustración 9. Subsistema remoción de lodos y sólidos disueltos de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

La Ilustración 9 muestra un tercer subsistema de la etapa física correspondiente a las operaciones de eliminación de TDS y acumulación de lodos, comenzando con la prueba de fuga de agua en el tanque DAF. Debido a esto, es posible realizar una comprobación y comparación con la penetración del aire saturado proporcionado por un compresor de aire que tiene integrado el tercer subsistema de la etapa física, mediante este compreso podemos generar unas muy delgadas espumas encargada unir los sólidos que están disueltos en las aguas tratadas por sus dos etapas anteriores, esta espuma logra llevar estos residuos a la superficie. Por consiguiente, el sistema automatizado enciende la barredora de lodos que tiene su función enfocada a limpiar estos residuos de la superficie del tanque DAF para poder culminar este subsistema. Una vez que se recolectan los TDS, las aguas residuales son aptas para descargar a la Etapa Biológica del tratamiento de aguas residuales, lo que decreta el final del sistema automatizado de la etapa física y química.

3.4 Representación del sistema de control

Esta sección introduce el modelado de sistema de control y monitoreo utilizando diagramas UML que permiten comprender la función del sistema y sus interacciones entre los componentes, y representa visualmente a dispositivos de campo y fases coexistentes, certificando una arquitectura en la base de información. Actualmente englobamos a 3 categorías de diagrama de caso: el primero lo llamaremos "Diagrama de casos de uso", el segundo está enfocado en los "diagramas de Cadena o sucesión" y finalizando con los "diagramas de caso". Cada diagrama anteriormente mencionado va dirigido a su debido subsistema del sistema automatizado de la etapa física y química.

3.4.1. Esquemas de casos de uso

Al realizar un esquema con primer caso de diagrama (caso de uso), los proveedores externos, sean personas, softwares o algún sistema desconocido pueden interactuar conjunto con el sistema, se refieren lo unos con los otros como casos. El caso de uso representa una o un conjunto de acciones que va a efectuar dentro del sistema.

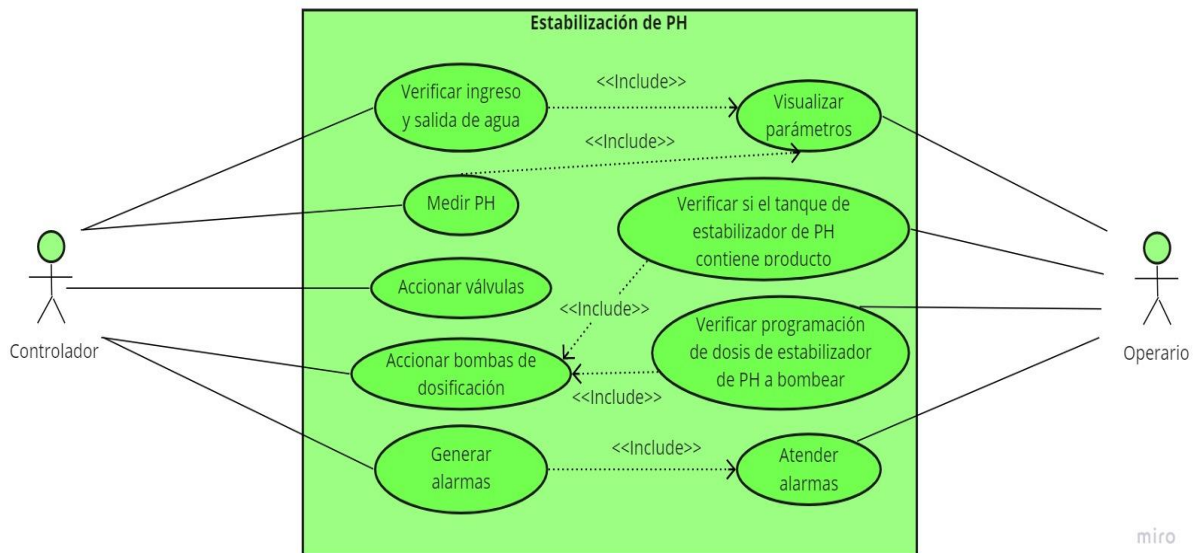


Ilustración 10. Diagrama de caso de uso, primer subsistema de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Ilustración 10 podemos observar como el diagrama de caso de uso esta empleado en la primera fase de estabilización de PH que pertenece a la etapa física en el cual interactúan dos personas representativa fundamentales en el funcionamiento del sistema automatizado: Por un lado el controlador del sistema PTAR, que crea procedimientos que verifican parámetros, activa el dispositivo y emite alarmas, y por otro lado encontramos a el operario, que es responsable de monitorear y responder a las alarmas que provienen del sistema del tratamiento de aguas residuales.

Coexisten diagramas de casos de usos que comprometidos con otro dispositivo mediante el comando “incluir” o la hora de programar como <<include>>. Para ejemplificar podemos referirnos al diagrama de caso de uso como el origen para habilitar la acción de “Encender bombas dosificadoras” en un determinado momento que requiere que un operario pueda establecer de una manera manual los dos “caso de uso”, en este caso, se debe comprobar si el tanque donde se realiza el procedimiento de obtención del rango óptimo de pH tenga el o los productos necesario para su funcionamiento y comprobar conjuntamente que la programación de las porciones o cantidades que se van a utilizar para que el motor que esta dentro del tanque pueda bombear el respetivo producto para estabilizar el pH. Estos dos procesos solos pueden ejecutarse de forma manual ni tampoco comprobar únicamente un de los dos caso de uso ya mencionados.

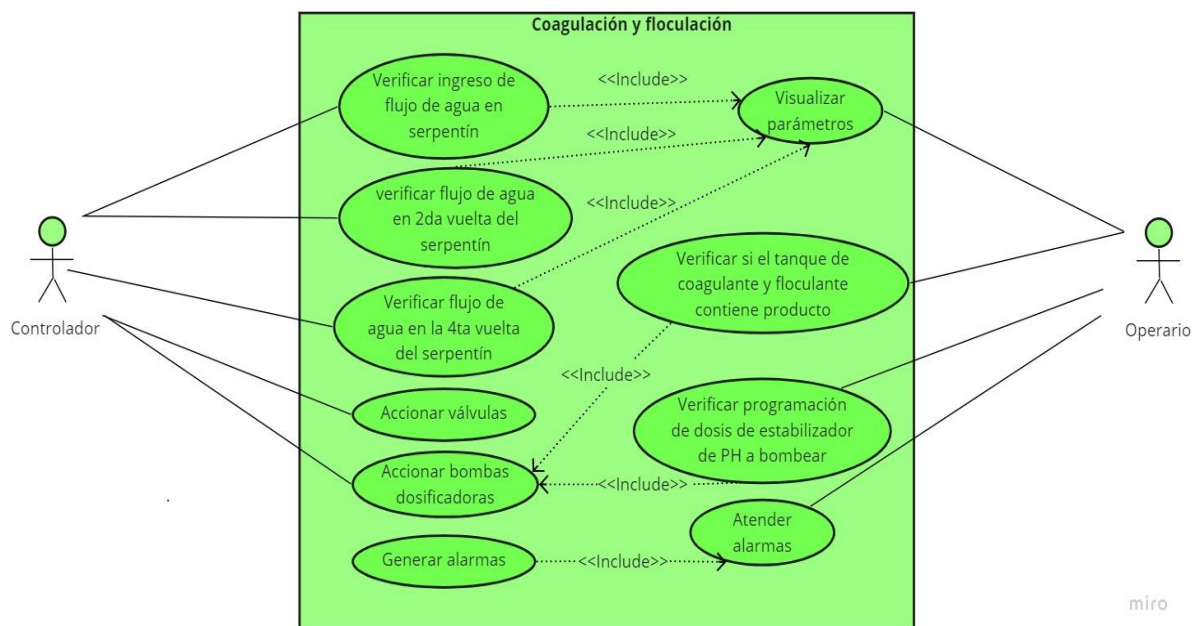


Ilustración 11. Diagrama de caso de uso, segundo subsistema de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

Para desarrollar el segundo subsistema de la etapa física se ocupa de realizar el proceso de floculación y el proceso de coagulación, este subsistema se utilizan las mismas funciones que el subsistema anterior (Estabilizar el nivel de pH), como operar el sistema de bombeo y el sistema de conductos dosificadores y generar reportes de advertencia. Pese a, se han añadido dos nuevos casos de uso para la primera etapa del segundo subsistema, debido a que el encargado de controlar y monitorear es el garante de asegurar el flujo del agua, por lo que realiza dos comprobaciones de flujo adicionales en el archivo para que el sistema funcione correctamente. Para el segundo agente, el operador vuelve a realizar las funciones mencionadas en el primer subsistema de la etapa física, ya que corresponden al monitoreo, vigilancia y respuesta a alarmas. Los casos de uso, como el control del sistema de las debidas dosis que se verterán en el tanque a la hora que, de inicio al proceso automatizado, en este segundo subsistema de la etapa física y química se busca implementar el proceso con productos químicos diferentes al anterior, incluyen coagulantes. Y un bastoncillo de algodón.

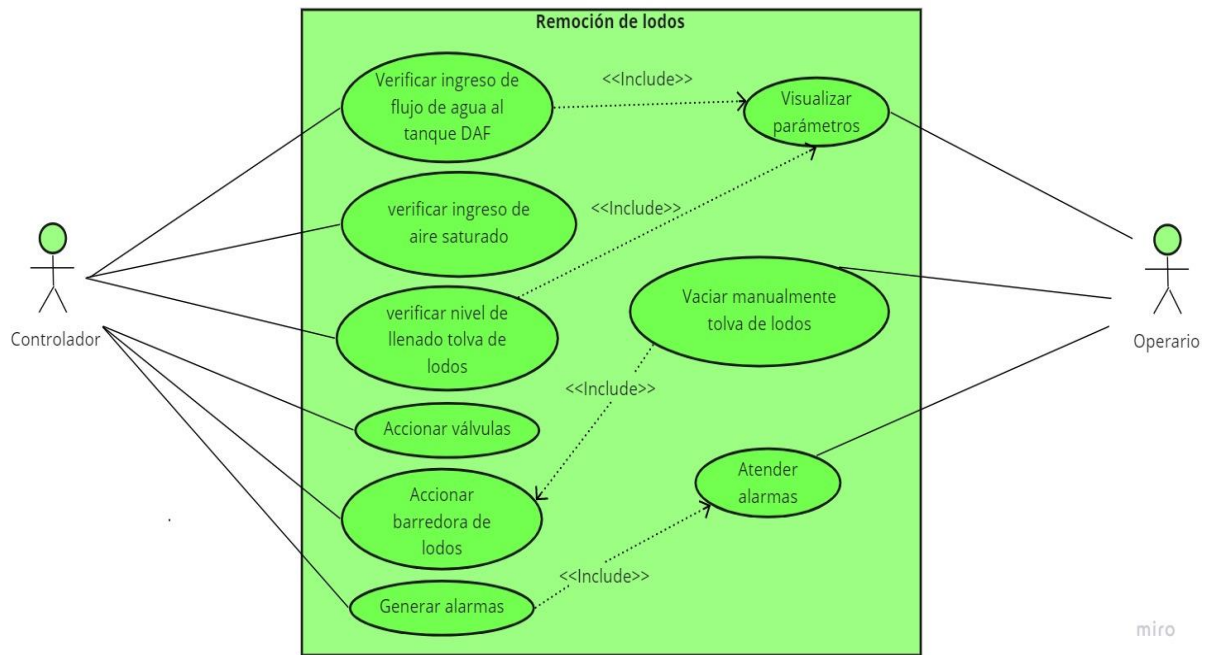


Ilustración 12. Diagrama de caso de uso, del tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química.

Fuente: Elaborado por el autor.

Como se podemos observar la ilustración 12, podemos hallar el diagrama detallado del caso de uso del tercer subsistema de la etapa física y química del sistema, tiene como objetivo la remoción de lodos de la superficie donde el operador principal acarrea tres diferentes ocupaciones para la aprobación de distintos parámetros previamente establecido: empezando por el más vital, que es el respectivo flujo de agua que ya ha sido tratada por dos subsistemas previamente, en segunda instancia, se encarga del introducción de aire comprimido y para finalizar su última tarea esencial es regular los niveles de llenado del recipiente o tanque. Por otra parte, el controlador también debe realizar operación manuales para poder iniciar el proceso de encendido de los actuadores, así como también los conductores de dosificación y barredora de la superficie de lodos, para la última función a cargo del controlador tenemos que implementar un “diagrama caso de uso incluido” que radica en el accionamiento de un trabajo que el operario encargado debe efectuar es el vaciar de forma mecánica o manual las tolvas de lodos. Las otras operaciones que debe realizar se enfocan más en el monitoreo y vigilancia de todos los ciclos.

3.4.2 Diagramas de cadena secuenciales

Mediante la arquitectura del modelado con diagramas de cadenas secuenciales se cuenta que la manera de interactuar de los dispositivos integrados

del sistema con respecto a los señales u ondas que envían y reciben entre sí. Por este aspecto, el sistema está representados por una figura rectangular, cuya línea está en sentido vertical y también ubicada en la parte inferior, esto representa el ciclo de encendido en la que dicho objeto trabaja.

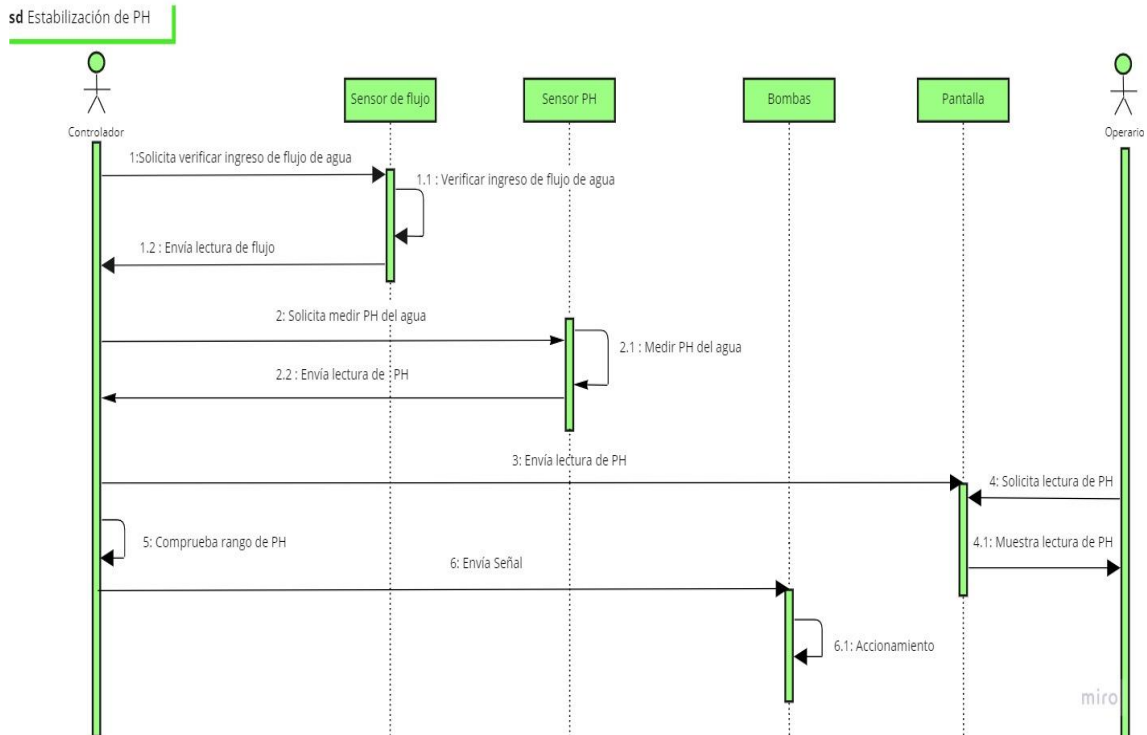


Ilustración 13. Diagrama de secuencia del segundo subsistema de regulación de PH de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Ilustración 13 podemos observar como el diagrama de secuencia del segundo subsistema de estabilización de PH de la etapa física, hallamos 3 segmentos, dos de estos son los sensores de flujo y los sensores de medición de pH. Por ejemplo, designamos a un controlador que se encargue de solicitar al sensor que se encarga de encarrilar el flujo del agua por medio de una señal, que verifique si ingreso debidamente de flujo de agua, pasado un determinado tiempo, el sensor ejecuta la tarea asignada y verifica si el flujo del agua está recorriendo el respectivo trayecto sin desperdiciarse y sensor envía una señal de respuesta para indicar al controlador que la función ya ha sido verificada por lo tanto, avanzaremos con el siguiente proceso. Otro ejemplo de lo que puede realizar un controlador es encargarse de vigilar y monitorear en tiempo real el estado de cada sensor a través de la pantalla, esta genera una base de datos con todas lecturas que hayan realizados los sensores que puede revisarse en cualquier momento, incluso con sus respectivas advertencias, lo que permite que haya un control de todo lo que está ocurriendo en cada ciclo de tratamiento de aguas residuales.

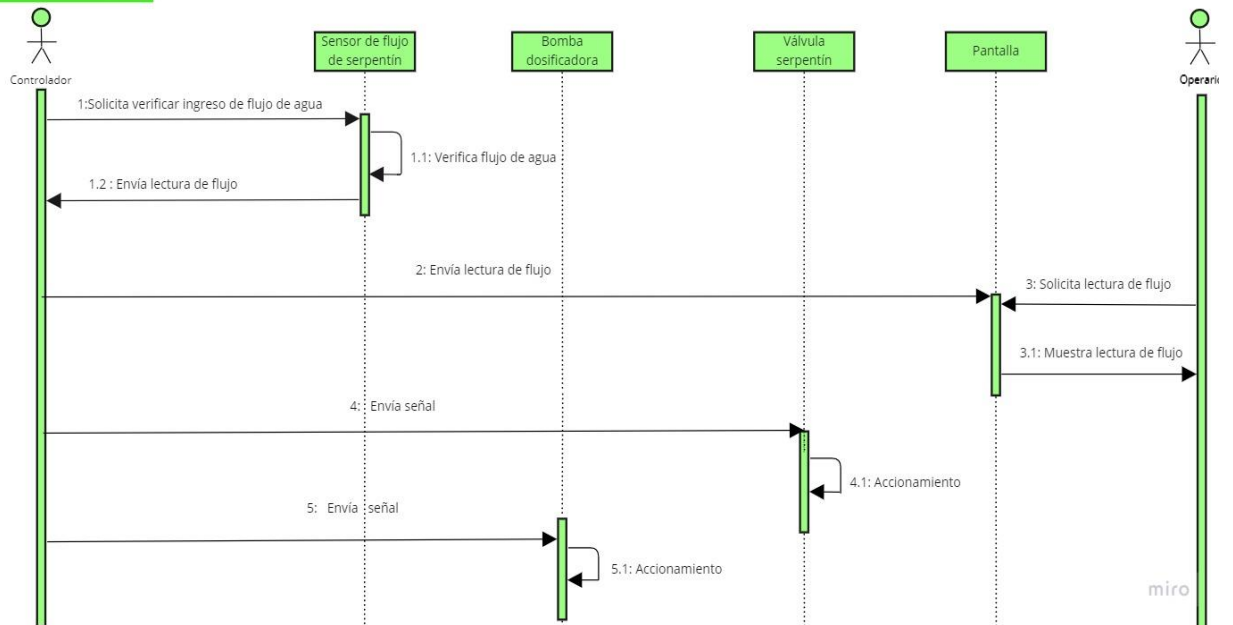


Ilustración 14. Diagrama de secuencia, del segundo subsistema coagulación y floculación de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

En la Ilustración 14 podemos observar el diagrama de secuencia del segundo subsistema de coagulación y floculación de la etapa física los cuales se encargan de brindar la mayor información posible a través de señales que tienen como objetivo dar órdenes o dar un status a los subsistemas anteriores. Incluso tiene la capacidad de dar paso o bloquear el paso a su propio subsistema, si este aún está en funcionamiento y a pesar de que subsistema anterior quiera que su agua tratada avance al siguiente ciclo.

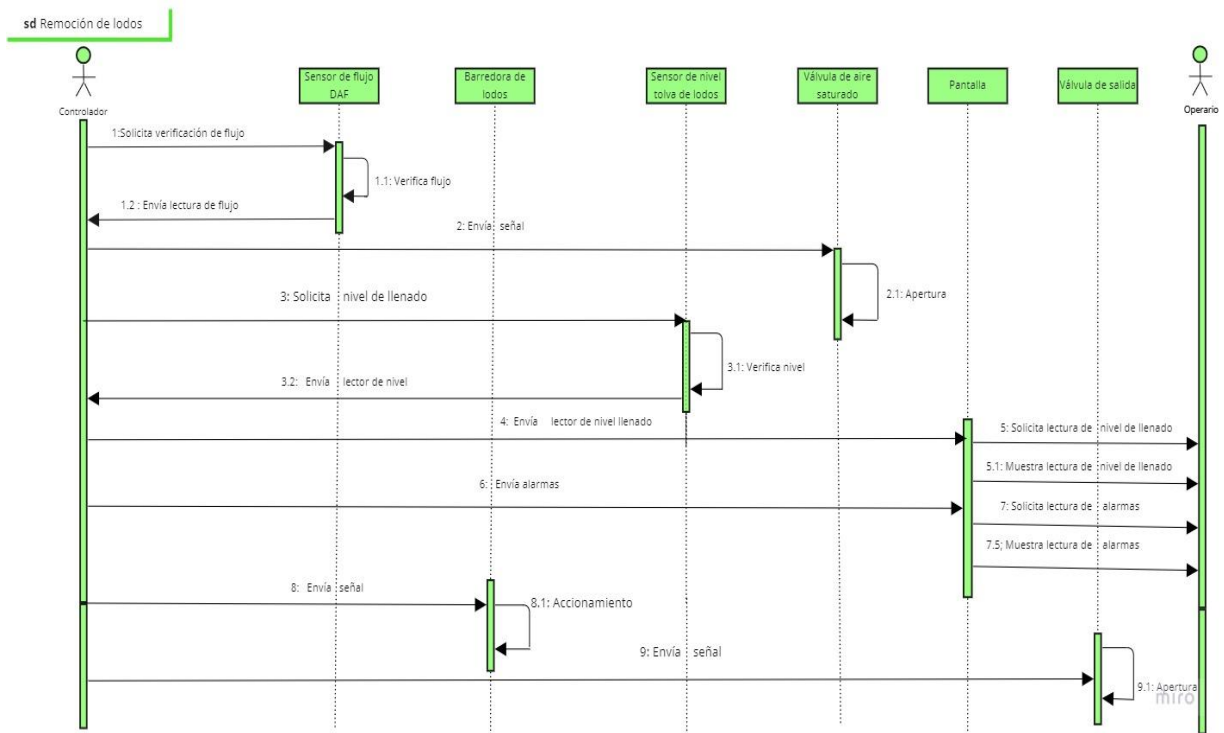


Ilustración 15. Diagrama de secuencia, del tercer subsistema de remoción de lodo de la etapa física y química.

Fuente: Elaborado por el autor.

Como los dos subsistemas anteriores del proceso de tratamiento de aguas residuales, este tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química presentado en la ilustración 15, se definen seis objetos: empezando con el sensor de flujo DAF, la barredora de lodo que es la más esencial en este tercer subsistema, sensor de nivel de tolva para que no haya un excesos y no desgastar prematuramente los dispositivos integrados, la pantalla para monitorear en tiempo real el estado de ciclo y sus elementos y por último la válvula de salida para darle paso a la siguiente etapa de sistema automatizado. Todos estos elementos u objetos integrados trabajan al mando del controlador que dispone de una verificación de estado de todos sus componentes estén listos para iniciar un nuevo ciclo, esta verificaciones y aprobaciones se realizan a través de señales a la pantalla de mando para el monitoreo del agente controlador correspondiente.

Mediante las válvulas es que permitimos la entrada y salida de los líquidos en el momento que el controlador a cargo envié la señal de activación, para que cada dispositivo integrado empiece a realizar su función.

3.4.5 Esquemas del estado de los subsistemas

Los esquemas del subsistema de estados revelan cómo el dispositivo tiene una transición de un estado a otro cuando entra en reposo o puede asumir nuevas

funcionalidades una vez que a culminado el ciclo de la etapa de respectivo subsistema.

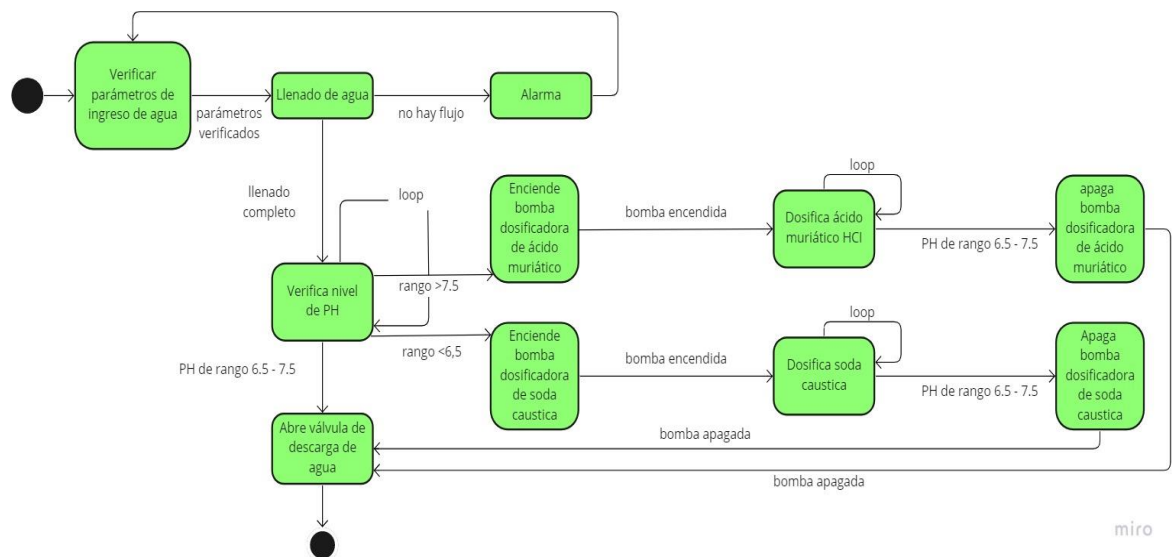


Ilustración 16. Esquemas de estados del primer subsistema estabilización de PH de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

Como podemos observar en la Ilustración 16 se detalla la estructura del esquema de la maquinaria y sus estados cuando está en funcionamiento para el subsistema de estabilización de PH de la etapa física que tiene como objetivo principal regular el pH a un rango óptimo al agua residual que ingresa en esta primer proceso, Este sistema está diseñado en ciclos infinitos hasta que el pH se haya estabilizado en su rango establecido de un valor mínimo de 6.5 hasta un valor máximo de 7.5, si cumple este parámetro, puede continuar a la siguiente etapa.

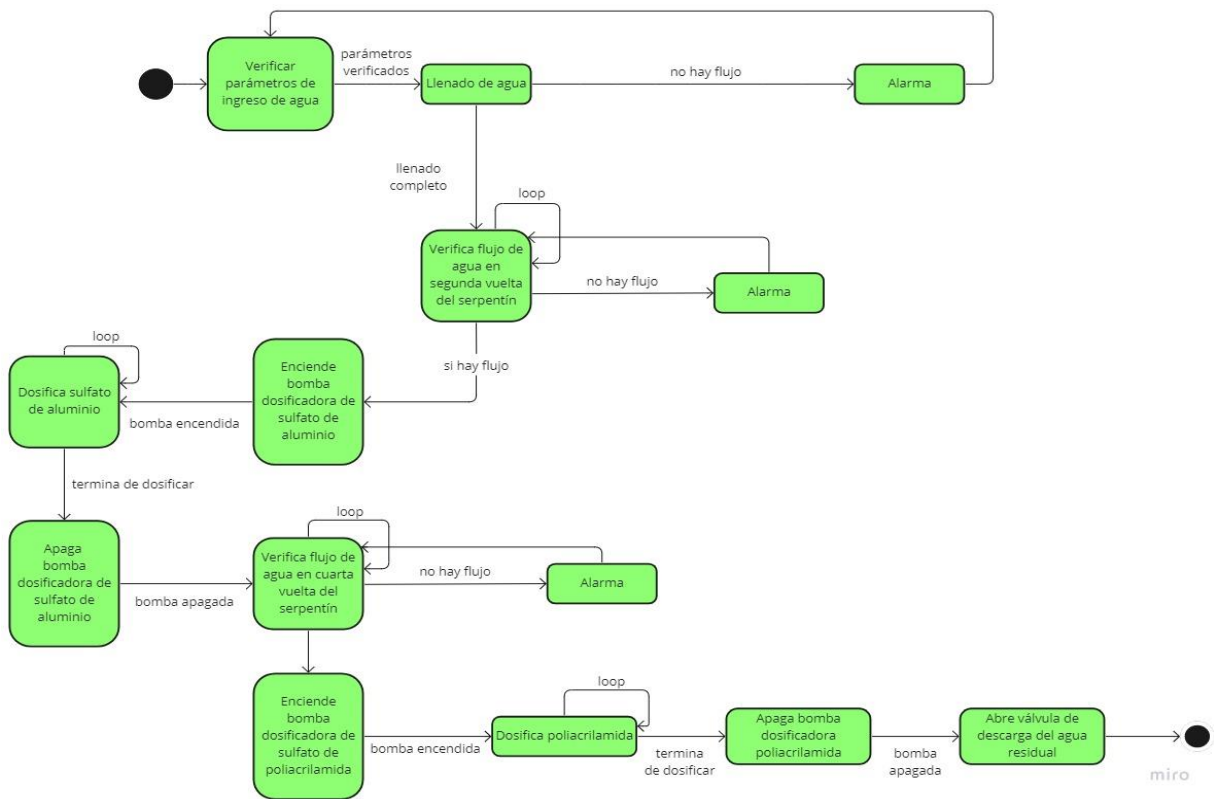


Ilustración 17. Esquemas de estados del segundo subsistema coagulación y floculación de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

Continuando con el esquema de maquinaria y sus estados del segundo subsistema de floculación y coagulación de la etapa física que podemos observar en la ilustración 17, donde se detalla los funcionamientos primordiales del subsistema que generan señales para poder validar que el flujo de agua en la segunda y cuarta vuelta del serpentín estén trabajando de una manera eficiente, una vez que es verificado, inicia dosificación por medio de una válvula de productos químicos como coagulantes y floculantes.

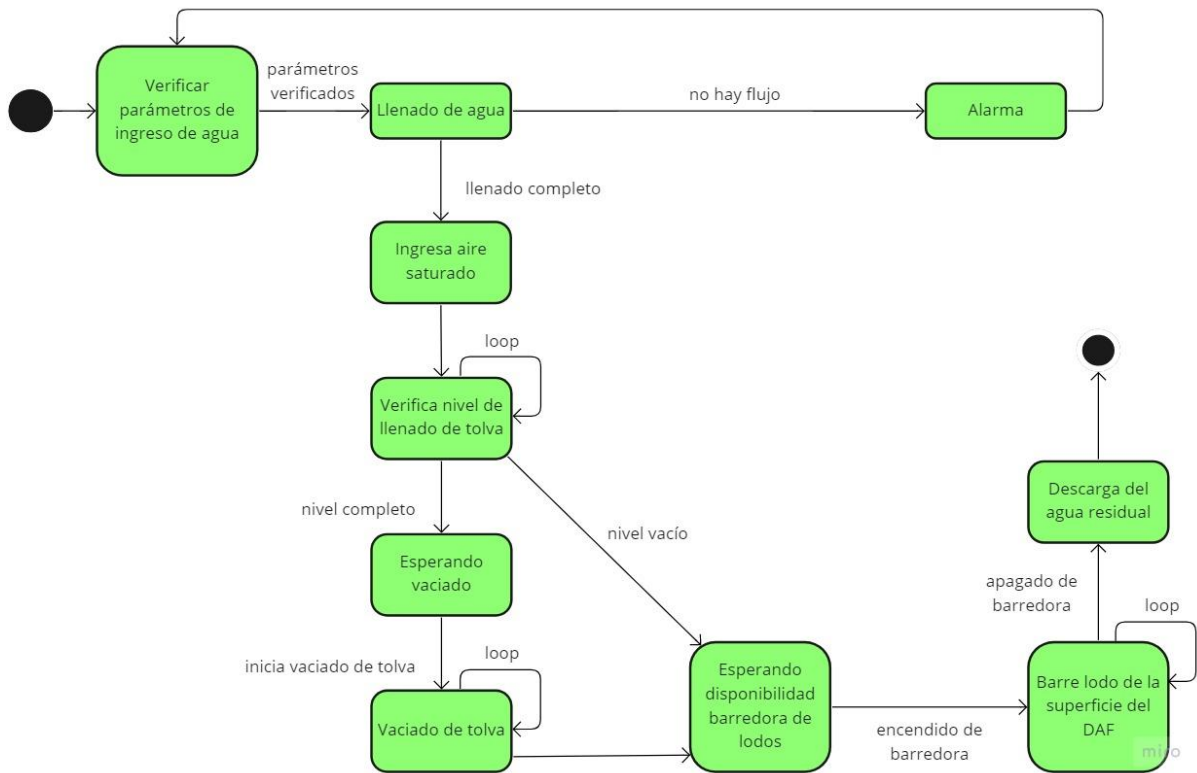


Ilustración 18. Esquema de estados del tercer subsistema de remoción de lodos en la etapa física y química

Fuente: Elaborado por el autor.

El esquema de maquinaria y sus estados del subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química, que detalla todas las funcionalidades que se ejecutan en ciclos durante el todo sistema automatizado sigue trabajando simultáneamente. Incluso el esquema está diseñado para poder solicitar una validación acerca nivel óptimo de llenado de la tolva, independientemente de la validación, este subsistema avanzara con los procesos para optimizar los tiempos, pero va generar un reporte con advertencias. Entre los elementos que seguirán trabajando constantemente es la barredora para ir limpiando la superficie Es de suma importancia que estas validaciones sean constante para no rebosar y perder agua que ya ha pasado por varios ciclo de purificación.

3.4.6 Arquitectura en Redes de Petri

La arquitectura de las RDP o más conocidas como redes de Petri se basan en una estructura determinada basado en grafico con dos módulos llamados nudos, que se implementa en este diseño, validación, evaluación y genera de prototipos y automatización en sistemas de monitoreo y vigilancia. En la arquitectura de este trabajo, se implementa equipos y herramientas digitales

óptimas para el desarrollo de la red de Petri, que son vitales al asumir un rol central en la arquitectura de su estructura.

Como hemos mencionado previamente, la red de Petri manifiesta diferentes diseños que habilitan el emparejamiento de los dispositivos y elementos activos y pasivos, Para poder tener una idea más sobre los gráficos que se presentara a continuación hay que tomar en cuenta las ilustraciones de 16, 17 y 18 que muestra los esquemas de estados.

Principalmente se han segmentado los elementos integrados de una manera grafica que serán representado con forma circular. El lugar p significa se ajusta un elemento pasivo. Las “P” tiene como objetivo puede acumular y demostrar algún punto. Una “P” está ubicada en estados que no sean muy llamativos. Por otro lado, existe las de tipo “T” que son las transiciones que estarán representada con figura rectangulares. Las “T” en una red de Petri, significa que detalla los elementos activos, todo lo que este enfocados a producción o transportación.

Estos dos nudos (P y T) son lugares están enlazados entre sí por medio de arcos. Estos arcos se los va a representar con una flecha. Esta flecha nunca modela un elementos que estén integrados los sistema independizados.

3.4.6.1 Diseño RdP del Subsistema: Estabilización de PH

Como podemos observar en la ilustración 19 que muestra la Red de Petri del subsistema de Regulación de PH de la etapa física, donde el punto de partida es su estado inicial que es la validación del nivel de pH este en su rango optimo. Este diseño implementara tres estados para su funcionamiento:

- Llenado del Tanque de líquido: El primer paso se encarga de verter el agua residual al tanque hasta llenar a una zona delimitada.
- Verificando nivel óptimo de PH: En este estado se establece un rango de nivel óptimo de pH que va desde el 6.5 como valor mínimo y 7.5 como valor máximo permitido. En caso de no cumplir estos requisitos el sistema inicia la dosificación para reducir o aumentar hasta estar dentro del rango, cabe recalcar que este sistema es un ciclo infinito hasta que el agua residual, llegue a su punto de calidad.

- Descarga de líquido con pH óptimo: En este estado concluye el primer subsistema de la etapa física y enviando el agua tratada al siguiente sistema automatizado.

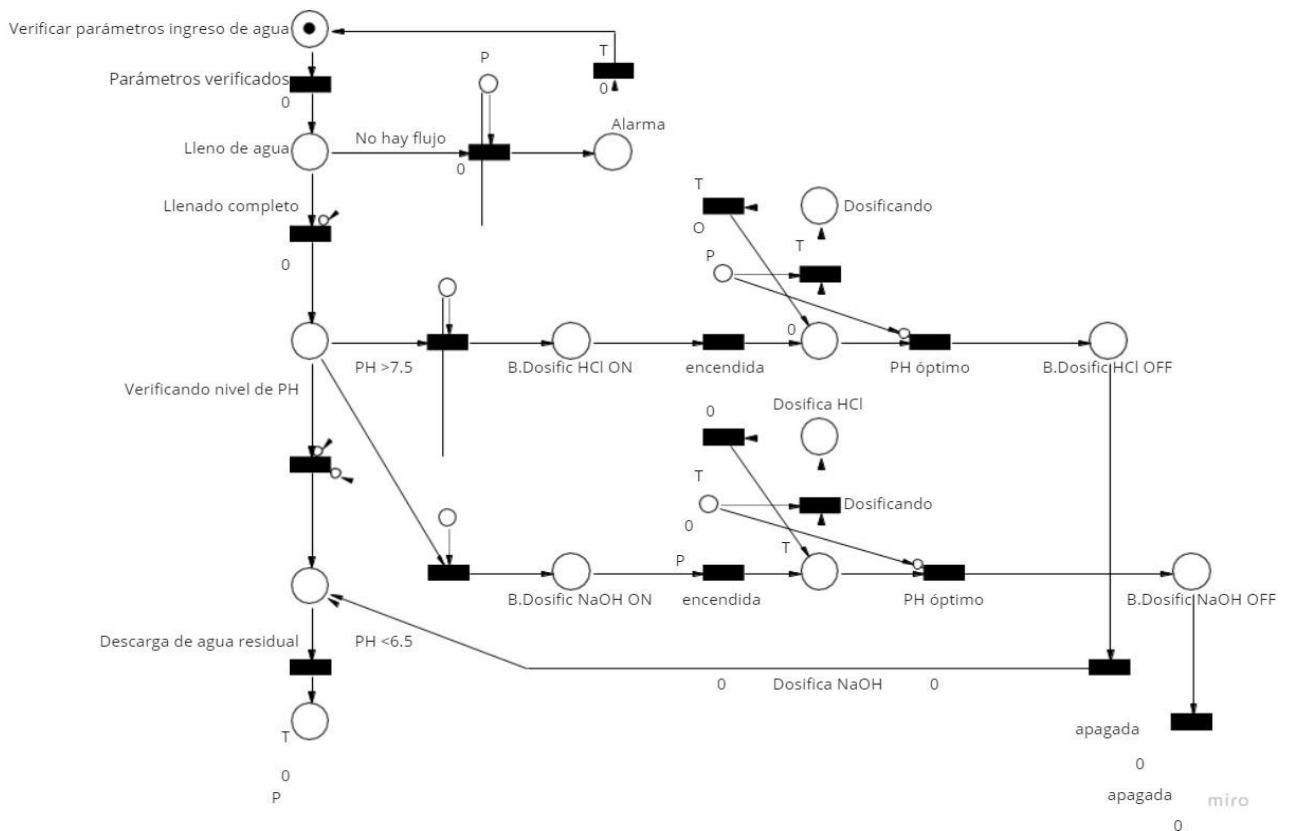


Ilustración 19. Red de Petri, del primer subsistema de estabilización de PH de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor.

3.4.6.2 Red de Petri del primer subsistema de Coagulación y floculación de la etapa física

A continuación, la ilustración 20 muestra la Red de Petri del segundo subsistema de coagulación y floculación al final de la etapa física, el cual consta de diez estados principales. Esta red, del mismo modo que la red previa, inicia o parte del estado de validación de los parámetros de entrada de las aguas residuales.

Conviene enfatizar que realiza dos comprobaciones de flujo adicionales, con el propósito de asegurarse y garantizar la viabilidad de continuar al siguiente estado de dosificación. Dada la situación de que el token se coloca en el estado Dosificando, se mantiene activo durante el tiempo considerado necesario, deteniéndose solo cuando la transición de dosificación se ha completado.

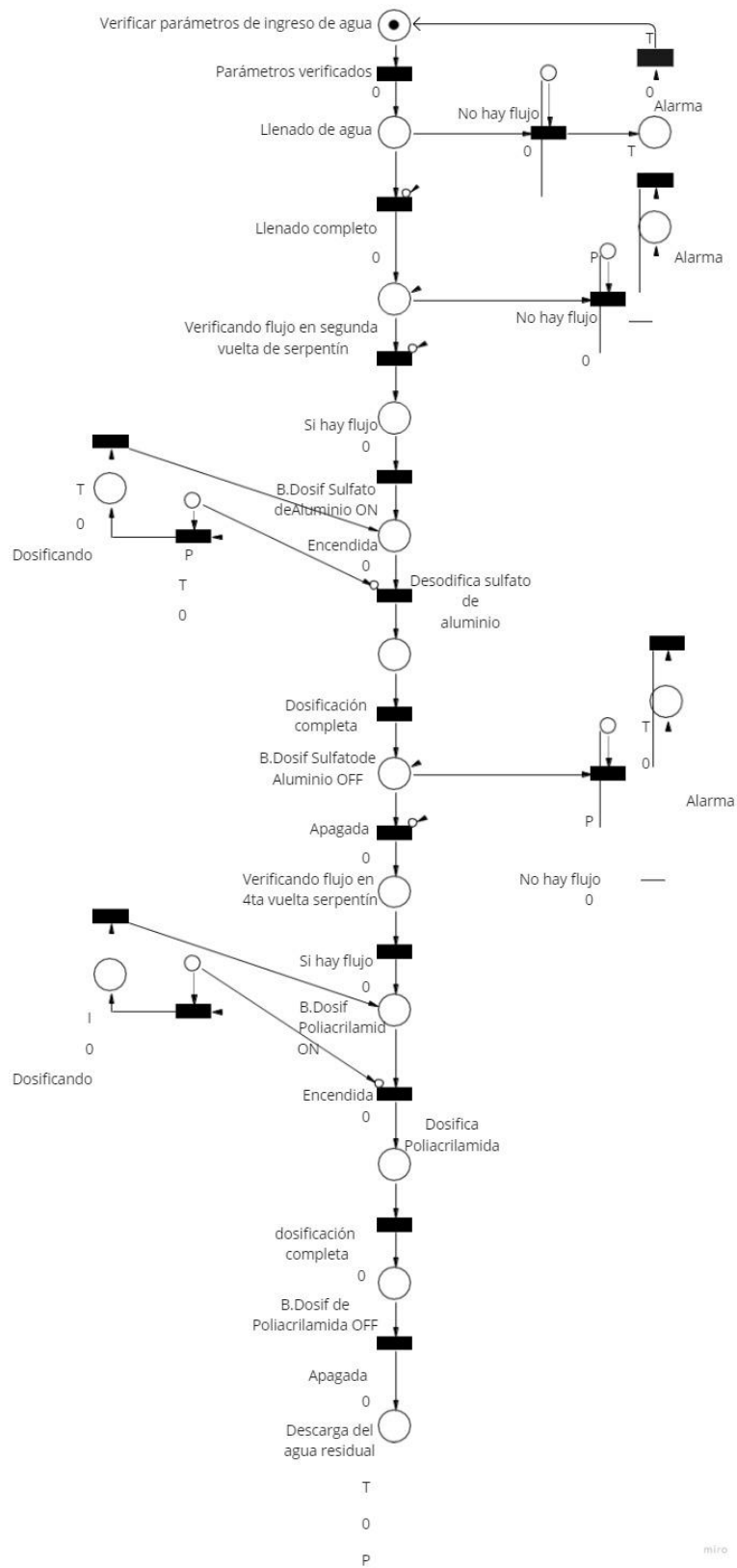


Ilustración 20. Red de Petri del segundo subsistema de coagulación y floculación al final de la etapa física.

Fuente: Elaborado por el autor

3.4.6.3 Red de Petri del cuarto Subsistema de Remoción de sólidos en la etapa química

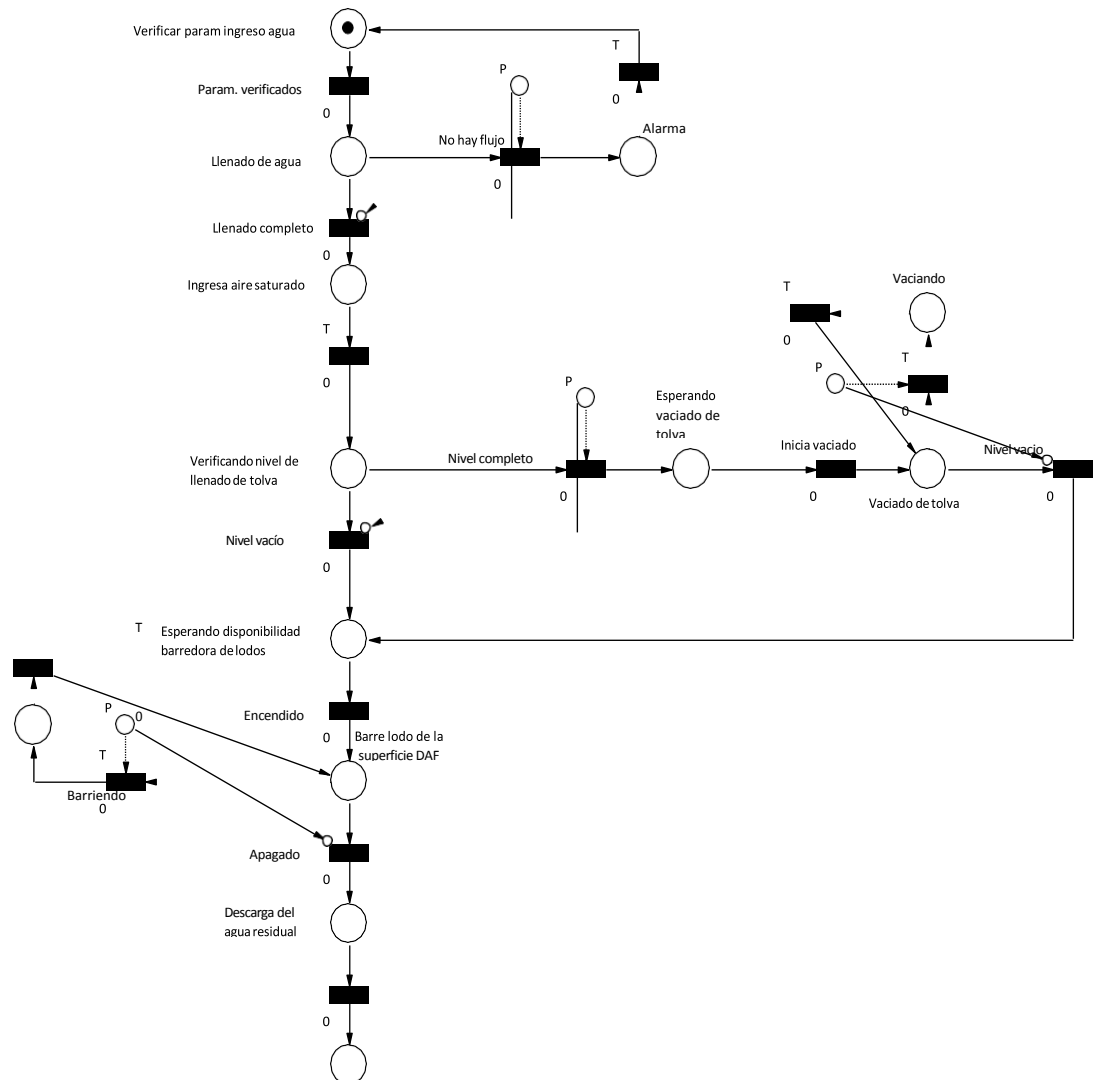


Ilustración 21. Red de Petri, tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química

Fuente: Elaborado por el autor.

En conclusión, en la ilustración es visible la Red de Petri del tercer subsistema de remoción de lodos de la etapa física y química, la cual consta de seis estados principales, comenzando con la verificación de los parámetros de ingreso, para que de esta forma continúe con los siguientes estados, hasta alcanzar la verificación del nivel de llenado de tolva, en caso de que el nivel se encuentre vacío, el sistema podrá proseguir sin impedimentos, en caso de no ser así, se acontece una transición de comenzar vaciado con el objetivo de que la tolva se encuentre despejada, de esta forma podrá reunir los lodos que se producen por el estado de Barrido en la superficie

DAF. Cuando la barredora ha cumplido su función, se apaga y el agua residual pasa a la etapa Química.

3.4.6.4 Ecuaciones de la Redes de Petri

Se hace uso de una matriz creada por el software PIPE, para de esta forma poder verificar el correcto funcionamiento de las Redes de Petri. Esta herramienta puede asemejar sencillamente restricciones o limitaciones del sistema, marcados, inhibiciones, puntos muertos, bloqueo de paso, etc.

Por lo tanto, se exponen las matrices adquiridas por cada subsistema, de acuerdo con los parámetros a indicar.

Matriz de inhibición H: Por medio de esta matriz se puede constatar la propiedad de la limitación, considerando de esta forma a la red como segura, debido a que los números son solo binarios, esto significa que “0” simboliza que el lugar se encuentra vacío y “1” que simboliza que el lugar se encuentra ocupado. Por lo tanto, se muestran las tres matrices de inhibición, las cuales corresponden a las ilustraciones 22, 23 y 24.

Inhibition matrix H																				
	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P17	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Ilustración 22. Matriz de inhibición del subsistema de estabilización de PH

Fuente: Elaborado por el autor.

En tales circunstancias de exponer un número distinto a los expuestos, se comunica que la red no cumple con el límite de calidad requerido.

Inhibition matrix <i>H</i>																						
	T0	T1	T10	T11	T12	T13	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T3	T5	T6	T8	T9
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P18	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 23. Matriz de inhibición del segundo subsistema de coagulación y floculación de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

Inhibition matrix <i>H</i>																		
	T0	T1	T11	T12	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T9	
P0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P17	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		
P6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0		
P7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
P9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		

Ilustración 24. Matriz de inhibición del cuarto subsistema de remoción de la etapa química

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Marcado.** En esta matriz se indican las marcas iniciales del sistema, al igual que aquellas que efectúan labores externas.

En la ilustración 25, se exponen tokens en distintas ubicaciones, la marca en P0 concierne al inicio del primer subsistema y marcas en P10 y P16 ejecutan un proceso externo que se encuentra ensimismado en un subsistema.

		Marking																		
		P0	P1	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial		1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 25. Matriz de marcado del primer subsistema de regulación de PH de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

De igual forma, la ilustración 26 presenta la posición inicial de “P0”, adicional de las posiciones de P11 y P22 de los dispositivos suplen al segundo subsistema de la etapa física.

		Marking																						
		P0	P1	P10	P11	P12	P13	P14	P17	P18	P19	P2	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P3	P4	P7	P8	P9	
Initial		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 26. Matriz de marcado del subsistema de coagulación floculación

Fuente: Elaborado por el autor.

Del mismo modo, en la ilustración 27, es visible una marca en P17, correspondiente a una acción integrada al segundo subsistema de la etapa física y la marca en P0 que indica inicio.

		Marking																
		P0	P1	P10	P13	P15	P16	P17	P18	P19	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Initial		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ilustración 27. Matriz de marcado del cuarto subsistema de remoción de la etapa química

Fuente: Elaborado por el autor.

- **Transiciones habilitadas.** Como es visible en la Ilustración, la marca “T2” se

presenta como habilitada, esto a causa de que la transición es la prosigue luego de la marca “P0” denominada como la verificación de parámetros para el ingreso de agua residual, los cuales conciernen al inicio del subsistema de la etapa física.

Enabled transitions																	
T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes	no	no	no	no	no	no	no

Ilustración 28. Transiciones habilitadas del primer subsistema de estabilización de PH de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

De igual modo, la denominada transición “T2” se encuentra adecuada o habilitada en el segundo subsistema de la etapa física de coagulación-floculación tal como se muestra en las ilustraciones.

Enabled transitions																					
T0	T1	T10	T11	T12	T13	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T3	T5	T6	T8	T9
no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Ilustración 29. Transiciones habilitadas del segundo subsistema de la etapa física

Fuente: Elaborado por el autor.

Enabled transitions																
T0	T1	T11	T12	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T9
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	yes

Ilustración 30. Transiciones habilitadas del cuarto subsistema de remoción de la etapa química

Fuente: Elaborado por el autor.

Verificación del espacio de estados: Por medio del análisis se puede confirmar que la red establece características importantes tales como, delimitación, ausencia de puntos muertos y seguridad del sistema. El primer parámetro evaluado es el límite máximo, misma que resultó verdadera ya que la red tiene restricciones dentro de sus interacciones. No obstante, los Tokens que han sido asignados no se consideran en los subsistemas, ni cuentan en las tareas externas a ejecutar.

El segundo punto corresponde al alcance máximo del mismo que ratifica en la simulación de la red que comprende todas las etapas posibles en cada ciclo, sin dejar a un lado a los demás. Por último, la no existencia de puntos muertos expresa que la red no se paraliza en ningún instante y es por este motivo que cabe resalta la privacidad del sistema.

Petri net state space analysis results	
Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Ilustración 31. Evaluación de análisis del espacio de estados de red

Fuente: Elaborado por el autor.

Se observa en la ilustración 31 con detalle el resultado del análisis de espacio de estado de la red del primer subsistema. Tener en cuenta que solo se usa este número para evitar repeticiones, ya que el análisis de los resultados de los subsistemas posteriores de la segunda etapa física y etapa química fueron los mismos.

CAPÍTULO 4: EVALUACION DE RESULTADOS

Dentro de este capítulo se realizará el análisis de los resultados que se obtuvo con el presente trabajo de investigación, con la finalidad de verificar y comprobar el cumplimiento de los objetivos planteados inicialmente, por medio de las arquitecturas y diseño del sistema.

4.1 Muestra de resultados

Se resaltan las aportaciones más relevantes a partir de la elaboración y redacción del Estado del arte, comunicación, diseños del sistema de control y fusión con sistemas Scada. Así mismo se evalúa el modelado de este sistema mediante el uso de los diagramas UML y Redes de Petri.

4.1.1 Análisis del estado del arte

Para este estudio fue necesario recopilar información de varios artículos científicos referentes a la Automatización de Plantas de Tratamiento Residuales Industriales con autores académicos de diferente procedencia. Posterior se realizó una selección destacando los artículos de más actuales y que vayan relacionados a la temática tratada.

Teniendo en cuenta que el objeto de estudio para este trabajo es la Etapa Física y Química del Tratamiento de Aguas Residuales, los artículos fueron seleccionados considerando un proceso de tratamiento standard en el que se especifique las etapas planteadas adaptándose a la necesidad del entorno que busca el tratamiento y reutilización del agua.

El aporte de la investigación y análisis de los artículos contribuyó a comprender que las partes física y química del tratamiento comprenden la etapa primaria la cual es una de las etapas más importantes del sistema a controlar, esto se debe a que los procesos que la conforma serán necesario realizar comparación de parámetros y dosis preestablecidas y con mucha precisión. Esto puede afectar el desarrollo del proceso, ya que si se llega a ausentar la persona encargada del control y supervisión no se podrá confiar en los resultados.

La supervisión de estas plantas de tratamiento requiere de un control constante debido a su relación directa con el impacto hacia el medio ambiente, en el caso de que una o algunas de las fases de este proceso no se cumplan como se debe.

La tecnología aplicada en estos artículos para realizar el control y supervisión del proceso para el tratamiento de aguas residuales van desde el uso de:

- Controlador proporcional integral y derivativo (PID).
- PLC.
- Sistemas de control y adquisición de datos (SCADA).
- Unity Pro XL y Video-Designer.
- Tecnologías del internet de las cosa (IoT).

Las mismas que contribuyen un ahorro de energía eléctrica y de agua, costos como: prevención de mantenimiento, sustancias químicos, mano de obra, disminución de fallas para la conservación del ecosistema.

4.1.2 Resultados de las estructuras

En el desarrollo del trabajo investigativo se proponen diferentes arquitecturas que aportan al diseño y la distribución para el funcionamiento óptimo del sistema automatizado enfocado hacia el tratamiento de aguas residuales.

Se detalla las características de las estructuras:

- Estructura de monitoreo y supervisión: Conformada por los dispositivos que brindan la posibilidad del diseño de este sistema, la instrumentación mencionada anteriormente se utiliza como herramienta de campo de activadores, PLC, sistema de control SCADA y por último el entorno ERP responsable suministrar información de alarmas que permitan al usuario disponer de un correcto funcionamiento del sistema, corrigiendo errores o tiempo de paralización.
- Estructura de comunicación: Responsable de establecer modos de comunicación entre los instrumentos de campo, controladores programables y sistemas de monitoreo. El proyecto propone utilizar el protocolo Modbus para la interacción de los dispositivos y módulos de

control.

- Control de los procesos de supervisión y muestra los valores de los parámetros medidos y las alarmas que se muestran al usuario, permite también el acceso al servidor a través de una red de comunicación anteriormente establecida.

4.1.3 Resultados de la estructurade UML y RdP

Estos diagramas de modelado UML para el sistema de automatización dieron la posibilidad de reconocer los actores y tareas que se deberían ejecutar en cada etapa del proceso. Existen 3 subsistemas que para cada uno de ellos se establecen diagramas de casos, secuencias, opciones y estados:

- Estabilización de PH.
- Coagulación – Floculación.
- Remoción de sólidos.

Los primeros dieron posibilidad a estudiar el comportamiento del subsistema y la correspondencia con los actores externos como el controlador y operario. Los diagramas de secuencia muestran una evidente coordinación entre los elementos del subsistema a lo largo del proceso y las alertas que se envían como retroalimentación con el fin de ejecutar una acción de corrección.

En conclusión, los diagramas de estado representan transiciones de un estado a otro, mostrando posibles escenarios para el sistema en respuesta a eventos anteriores.

Se realizó el modelado RdP, para así comprobar el funcionamiento de cada subsistema y veracidad de la red, a través de la matriz de inhibición se corroboró que la red cumple con los parámetros propuestos para la limitación del sistema, puesto que los números presentados serán en lenguaje binario 0 y 1. Para el indicador de "punto muerto", el análisis de tres redes sofisticadas confirma que los parámetros son incorrectos y, por lo tanto, no producen bucles infinitos. Este análisis también reclama una propiedad de vivacidad. Esto significa que RdP debe bloquearse cuando hay una transición en vivo.

4.2 Análisis de resultados

En esta parte se presentan los resultados relacionados con las funciones que desarrolla el sistema, y se dan las metas iniciales propuestas y la discusión de sus respectivos logros. Se proponen soluciones adicionales al problema de investigación para validar la contribución de esta arquitectura a la industria.

4.2.2 Discusión acerca del desempeño de las exigencias funcionales

Las estructuras del Lenguaje unificado de modelado de casos de uso y los diagramas de estado dan la posibilidad de monitorear la realización de las funciones secundarias del sistema, las mismas que han sido planteadas anteriormente en el capítulo 3, estas funciones están integradas en el área de supervisión, son las siguientes:

Toma de datos y sucesos de los activadores: Corresponde técnicamente a las solicitudes que se envía para la comprobación de los actuadores; donde se busca que el nivel de pH este en el rango optimo, así como los niveles máximos de llenado de la tolva para los lodos, flujo de agua. De la misma forma se proponen acciones como respuestas dependiendo de la señal que ingrese al sensor, en el caso de ser positivas el proceso de desarrolla con normalidad, caso contrario si son negativas se ve la necesidad de hacer corrección del error y emitir inmediatamente una alarma de aviso.

- Registro de las variables captadas por el sensor y el estado de salida del control, se realiza con el fin de presentar al usuario el estado de los sensores y actuadores que actúan en el proceso.
- Generación y envío de alarmas: Se realiza por medio del controlador, este envía alarmas de fallos o anomalías que presenta el sistema durante el proceso. Un caso podría ser cuando no existe flujo de agua residual, significa que el proceso no puede ejecutarse y será necesario la revisión nuevamente de los parámetros iniciales. También, en la segunda y cuarta vuelta delserpentín se general nuevas alarmas si no se detecta el flujo de agua. Uno de los beneficios de esta función es la corrección oportuna de errores, lo que ayuda a reducir el costo de los aditivos químicos. Esto se debe a que la dosificación química no es posible ni razonable sin la presencia de un flujo de agua residual.

Por medio del modelado de las Redes de Petri se verifican las funcionalidades y acciones las cuales fueron elaboradas en los esquemas de estados, los cuales se basan en el ámbito del monitoreo y vigilancia, entre las cuales se hayan las siguientes:

- Regulación del valor de PH optimo del agua residual: Es posible dado que la ejecución del control de encender y apagar de las bombas dosificadoras técnicamente dependerá del nivel de PH censado, lo que genera el encendido de una de las bombas in situ, podría ser la del ácido muriático o soda caustica, la bomba se apagará una vez que llegue al nivel de PH ideal, lo que generará que el agua pase a la siguiente etapa del subsistema.
- Control en el encendido y apagado de bombas distribuidoras de químico en el sistema: Que permiten una dosificación correcta previniendo el desperdicio del producto.
- Control de ingreso de agua residual al serpentín: El primero se realiza en el segundo subsistema, y se realizan verificaciones adicionales en el segundo y cuarto turno.
- Activación de la barredora de lodo: Dependerá de la disponibilidad y del nivel de llenado de la tolva.
- Revisión y monitoreo de la salida del agua residual y su reingreso a la próxima etapa: Todos los subsistemas están diseñados para hacer una revisión de ingreso y salida del agua residual, con la finalidad de que el proceso se lleve a cabo.

En conclusión, podemos decir que las funcionalidades previstas para el desarrollo del sistema se cumplen satisfactoriamente gracias al modelado UML de RdP.

4.2.3 Cumplimiento de objetivos

En este punto se realiza un análisis del cumplimiento de los objetivos generales y específicos planteados en el primer capítulo de este trabajo de investigación.

4.2.3.1 Cumplimiento del objetivo general

Se logró el objetivo de proponer una propuesta de arquitectura de control basado en un sistema de automatización para la etapa física y química del tratamiento de aguas residuales, a través del modelado de los diagramas UML se fijan límites, características y la estructura especial de los subsistemas que conforman el proceso.

De igual forma las redes Petri permitieron la simulación de cada subsistema de las etapa física y químa afirmando el correcto funcionamiento, brindando una consecuencia perjudicial mínima hacia el ecosistema, de esta manera se hace un uso indebido del sistema de aguas resídales. Por lo tanto, se deduce que este trabajo investigativo cumple con los objetivos planteado.

4.2.3.2 Cumplimiento de objetivos específicos

- En el refinamiento del diagrama de flujo, fue posible realizar un análisis detallado, lo que permitió definir el sistema general de control y automatización. De igual manera, las fases de estabilización, floculación y remoción del PH que componen esta primera etapa fueron diagramadas de flujo y denominados subsistemas.
- Se pudo modelar los subsistemas del proceso de control y automatización por medio de diagramas de casos, secuencias, estados y datos adicionales integrados, planteando en el sistema actuadores principales, dispositivos de medición, dosificación y monitoreo definiendo la función de cada uno de ellos.
- Se valoró el funcionamiento y comportamiento del sistema realizando la simulación de RdP implementando los softwares Visión Object Nety PIPE, el mismo que revisa cada ecuación del subsistema.

4.2.4 Solución al problema de investigación

A partir del problema de investigación planteado se requiere elaborar el diseño y simulación de una arquitectura de automatización con el cual se pueda realizar el control de los equipos y dispositivos que conforman el sistema, así mismo definir los responsables de la supervisión del mismo. Para esto fue necesario iniciar una investigación en base a artículos científicos a cerca de formas de automatización de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y las ventajas y beneficios obtenidos a partir de su diseño.

Posterior, se establecieron las funcionalidades del sistema y las subestaciones con el propósito de analizar el desarrollo de cada una de estas fases.

Cabe recalcar que los diagramas UML permiten resaltar las funcionalidades de cada sistema, sus usuarios y el vínculo con los dispositivos de medición, control y supervisión, resultando como un resultado favorable el ahorro de costes por mano de obra, mantenimiento, tiempos detenidos por fallas, ahorro energético y en la distribución de productos químicos.

Por último, se confirma el correcto funcionamiento de la arquitectura de control y automatización mediante la simulación de RdP y sus ecuaciones. Esto nos permite comprobar que lo planteado brinda una solución al problema de investigación. (Kuffo García, 2019)

CONCLUSIONES

- Para poder desarrollar la proyección de una planta de tratamiento de aguas residuales en las etapas mecánica y química basadas en un sistema convencional automatizando sus procesos, se debe tomar en cuenta las definiciones y conceptos correspondientes a el tema de proyecto, para poder emplear adecuadamente todos los requerimientos del prototipo, facilitando así la optimización del sistema y que se pueda aplicar posteriormente, otorgando así seguridad del servicio técnico a implementar.
- Mediante el análisis empleado por medio de los diagramas de flujo donde se pudo detallar la sistematización y automatización de las etapas en las que se enfocó la presente investigación, se puede comprender el funcionamiento de los subsistemas de la etapa mecánica y química de la planta de tratamiento, diseños con los que se puede entender la secuencia de dichos subsistemas, obteniendo así una herramienta de ilustración que puede ser empleada por docentes o profesionales que requieran explicar estos temas.
- Además, este proyecto tiene como utilidad aplicarse como una guía para profesionales que estén en proceso de automatización de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales proporcionándoles información útil y actualizada para el desarrollo de sus proyectos de optimización de sistemas.

RECOMENDACIONES

Se sugiere realizar investigaciones que se enfoquen en la automatización de las otras etapas del sistema de tratamiento de aguas servidas, para lograr obtener una optimización de todo el sistema en conjunto.

Es importante integrar un PLC al Proceso del tratamiento de las aguas residuales que permita mandar y recibir señales a otros dispositivos integrados en el sistema Scada para monitorear en tiempo real el correcto funcionamiento en sus respectivas etapas.

Se recomienda concientizar a los miembros de las comunidades sobre la importancia de evitar desechar contaminantes, basura o sustancias tóxicas que impida el correcto uso de las alcantarillas, máquinas, tanques y tuberías.

Seguir investigado en la etapa biológica que es la que más evoluciona a largo plazo por la creación de nuevas plagas, microorganismo y bacterias que es el principal problema en la automatización del tratamiento de las aguas residuales.

Bibliografía

- Banco Mundial. (2020, marzo 19). *Agua residual: De residuo a recurso* [Text/HTML]. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/publication/wastewater-initiative>
- Carbotecnia. (2022, abril 1). Bombas dosificadoras ¿Qué son y cómo funcionan? *Carbotecnia*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/bombas-de-agua/bombas-dosificadoras/>
- CONTYQUIN. (2022, enero 5). *Automatización en los procesos de tratamiento de Agua*. Contyquim. <https://contyquim.com/blog/automatizacion-en-los-procesos-de-tratamiento-de-agua>
- Díaz, M., Rivas, L., Fernández, D., Salazar, D., & La Maza, N. (2017). *Selección de programa químico de tratamiento para aguas residuales oleosas*. 44(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612017000200010
- Félicien Mazille, D. S. (2 de 12 de 2018). SSWM. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulacion-floculacion-y-separacion>
- Gaskin, J. (2022, enero 12). Todo lo que necesitas saber sobre el diagrama de caso de uso. *Vennage Blog*. <https://es.venngage.com/blog/diagrama-de-caso-de-uso/>
- IONOS. (2018, octubre 26). *UML, lenguaje de modelado gráfico*. IONOS Digital Guide. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/uml-lenguaje-unificado-de-modelado-orientado-a-objetos/>
- IONOS. (2020, julio 20). *Diagrama de estado UML: Visualizar secuencias de estados de objetos*. IONOS Digital Guide. <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/diagrama-de-estado-uml/>
- Muñoz Tello, K. M., & Vasquez Perez, M. (2020). *Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas*. Universidad Privada del Norte.

Opertek. (2019, noviembre 21). *¿Qué es un SCADA y Cómo funciona?* Opertek.

<https://www.opertek.com/blog/que-es-scada-y-como-funciona/>

Redaccion. (2021, octubre 14). *La función de un sistema SCADA* -. [https://roma-](https://roma-automation.com.mx/funcion-de-un-sistema-scada/)

[automation.com.mx/funcion-de-un-sistema-scada/](https://roma-automation.com.mx/funcion-de-un-sistema-scada/)

Residuales, T. d. (23 de 7 de 2017). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de

<https://tratamientodeaguasresiduales.net/etapas-del-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Rodríguez de Jorge, L. (2020, diciembre 15). *El proceso de tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes emergentes* [Text]. iAgua; iAgua.

<https://www.iagua.es/blogs/lander-rodriguez-jorge/proceso-tratamiento-aguas-residuales-y-eliminacion-contaminantes>

SG. (5 de 12 de 2021). *SG Web*. Obtenido de <https://sgwebdigital.com/es/proceso-de-lodos-activados-tratamiento-de-aguas-residuales-cosmosis-inversa-tratamiento-de-aguas-residuales/>

Sicma21. (2021, mayo 28). *Qué es un sistema SCADA, cómo funciona y para qué sirve*.

<https://www.sicma21.com/scada-que-es-y-como-funciona/>

Solís, C. A., Vélez, C. A., & Ramírez-Navas, J. S. (2017). *Tecnología de membranas:*

Ultrafiltración. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 11(22), 26-36.

Toro Equipment. (2018, noviembre 20). *¿Qué es la flotación por aire disuelto o DAF?* [Text].

iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/toro-equipment/que-es-flotacion-aire-disuelto-o-daf>



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Espinoza Coba, Víctor Manuel**, con C.C: #**0931435572** autor del trabajo de titulación: **Automatización de la etapa mecánica y química en el proceso de tratamiento de aguas residuales**, previo a la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de septiembre del 2022

f. _____

Nombre: **Espinoza Coba, Víctor Manuel**
C.C: **0931435572**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Automatización de la etapa mecánica y química en el proceso de tratamiento de aguas residuales.		
AUTOR(ES)	Espinoza Coba, Víctor Manuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc Suarez Murillo, Efraín Oswaldo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Educación técnica para el desarrollo		
CARRERA:	Electrónica en Control y Automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero electrónico en control y automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	60
ÁREAS TEMÁTICAS:	Electrónica, Automatización, Microcontroladores.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Automatización, sistema, subsistema, software.		
RESUMEN:	<p>La proyección de una planta de tratamiento de aguas residuales en el que se tiene un enfoque en las etapas mecánica y química del sistema basado en un sistema convencional con la finalidad de modificarlo para automatizarlo y optimizar de esta manera el proceso, es una investigación que tuvo como propósito analizar los requerimientos implicados para el desarrollo del estudio y funcionamiento del prototipo a partir del diseño del sistema de automatización y evaluación de este. Este estudio sugiere la implementación de un sistema que reduce consumo y costes de energía eléctrica, contribuyendo al cuidado de equipos y a la duración de su vida útil.</p> <p>Para el estudio se emplearon métodos tecnológicos aplicables al problema en cuestión y se desarrolló la investigación de tipo descriptivo con un enfoque mixto, empleando métodos analíticos por medio de la reelección de información y simulación a partir de la comprobación de resultados.</p> <p>Se realizaron los análisis pertinentes detallando la información obtenida de forma estructurada para facilitar la comprensión de esta, se modelaron los subsistemas en los que se orientaron las modificaciones y finalmente se evaluó el comportamiento de los mismos donde se logró demostrar su correcto funcionamiento.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +59397669946	E-mail: vene247@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Vélez Tacuri, Efraín Oliverio		
	Teléfono: +593-9-94084215		
	E-mail: efrain.velez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			