

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TEMA:

**Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de
una planta potabilizadora de agua.**

AUTOR:

Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

Ing. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente, Mgs.

Guayaquil, Ecuador

15 de septiembre del 2021



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 de titulación, fue realizado en su totalidad por el Sr. **Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

f. _____

M. Sc. Mendoza Merchán, Eduardo Vicente.

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021



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, **Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, “**Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua**” 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 15 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. Marcelo Gutiérrez

GUTIERREZ RODRIGUEZ, MARCELO LEONARDO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, “**Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. Marcelo Gutiérrez

Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo

**REVISIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN CON PROGRAMA
URKUND**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
AUTOMATISMO**

TÍTULO: Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua.

AUTOR: GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ MARCELO LEONARDO

The screenshot displays the URKUND software interface. On the left, a document details panel shows the document name '2021-08-29 Marcelo Gutierrez Trabajo de Titulacion.docx', its ID, submission date, author, and a message indicating a 1% match rate. On the right, a 'Lista de fuentes' (Source List) panel lists several URLs from academic repositories. At the bottom, a comparison view shows two documents side-by-side with a 62% match rate. The documents are from the 'FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO' and discuss 'Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua'.

Después de analizar el resultado enviado por el programa Urkund, se determinó que el trabajo de titulación del estudiante: **GUTIÉRREZ RODRÍGUEZ MARCELO LEONARDO**, observa un porcentaje inferior al 4% de coincidencias con otros documentos encontrados en el internet.

.....
**Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs
DOCENTE TUTOR**

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación es dedicado a mis padres quienes siempre mostraron apoyo en cada decisión tomada, agradezco sus sabios consejo y, sobre todo, el esfuerzo realizado para poder alcanzar mis metas.

Cada meta alcanzada siempre será por y para ustedes.

AUTOR:

Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que mostraron su apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria, agradezca su tiempo brindado y sus consejos para no desistir y seguir adelante.

Agradezco a mis padres que siempre estuvieron conmigo dándome su apoyo incondicional en esta etapa, siempre estuvieron pendientes. A mi familia, mi tía Elba aportando con su granito de arena con sus consejos para que siga adelante y me esfuerce mucho más.

Gracias a mis compañeros y amigos por hacer más agradable mi etapa universitaria, esperando que todos cumplan sus metas y mis mejores deseos hacia ellos esperando que algún día nos volvamos a encontrar en el campo laboral.

A mi tutor de tesis, Ing. Eduardo Mendoza que siempre estuvo pendiente, mostrando su apoyo, siendo guía brindando todas las herramientas posibles para que logre culminar mi trabajo de titulación sin novedad y a los demás docentes de la facultad por sus conocimientos impartidos a lo largo de la carrera.

AUTOR:

Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

DECANO

f.

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f.

M. Sc. BAYARDO BOHÓRQUEZ ESCOBAR

OPONENTE

Índice General

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I: CONSIDERACIONES GENERALES.....	4
1.1 Problema de investigación.	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Delimitación.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos.	6
1.5 Hipótesis.	6
1.6 Metodología de la investigación.	6
1.7 Tareas de investigación.....	7
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1 Estado del arte.	8
2.2. Plantas de tratamiento de agua potable	11
2.2.1 Captación de agua cruda.....	12
2.2.2 Coagulación.....	13
2.2.3 Floculación	13
2.2.4 Sedimentación	14
2.2.5. Filtración	14
2.2.5 Desinfección	15
2.3. Automatización de procesos	15
2.3.1 Controlador Lógico Programable	15
2.3.2 Arquitectura del Controlador Lógico Programable.....	16
2.3.3 Sistema de control de lazo abierto	17
2.3.4 Sistema de control de lazo cerrado.....	17
2.3.5 Sistema de comunicación	17
2.3.6 Topología de red de comunicación	18
2.3.7 Sistemas de Supervisión y Monitoreo.	18
2.3.8 Requisitos para un sistema de supervisión y monitoreo.....	19
2.3.9 Protocolos de comunicación	19
2.3.10 Estrategia de Diseño.....	21
2.3.11 Parámetros de la red de comunicación.	22
2.4 Instrumentación industrial.....	22
2.4.1 Bomba de agua centrifuga.	22
2.4.2 Medidor de Caudal.....	23
2.4.3 Medidor de Nivel	23

2.4.5 Sensor de Turbiedad.	23
2.4.6 Electro Válvulas	24
2.4.7 Arrancadores suaves.....	25
2.4.8 Switch Industrial.....	26
2.4.9 Sensor de Presión	26
2.5 Lenguaje de modelado Unificado	27
2.5.1 Desarrollo del lenguaje de modelado unificado.....	27
2.5.2 Objetivos del Lenguaje de modelado unificado.....	28
2.5.3 Diagramas de casos de Uso	28
2.5.4 Diagramas de secuencia.....	29
2.5.5 Diagramas de estado.....	29
2.6 Redes de Petri	30
2.6.1 Fundamentos de redes de Petri.....	30
2.6.2 Herramienta de análisis para las redes de Petri.....	30
2.6.3 Tipos de Nodos en las Redes de Petri.....	32
2.6.4 Disparo de una Transición.	33
2.6.5 Diagrama de Actividades	33
CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZACION	35
3.1. Consideraciones iniciales	35
3.1.1. Descripción del sistema.	35
3.1.2. Caracterización del sistema	37
3.1.3 Funciones del sistema.	39
3.2. Arquitectura del sistema de potabilización de agua.	39
3.2.1 Arquitectura de control de automatización.	40
3.2.2 Arquitectura del sistema SCADA	41
3.2.3. Arquitectura de la red de comunicaciones.	44
3.3. Filosofía de Control del Sistema de Automatización	46
3.3.1 Proceso de Dosificación	47
3.3.1 Proceso de filtración.	50
3.3.2 Proceso de Retro lavado.....	51
3.4. Modelado del sistema de automatización.....	53
3.4.1. Diagrama de casos de uso.	53
3.4.2. Diagramas de secuencia.....	56
3.4.3. Diagramas de estado.....	59
3.5 Modelado en redes de Petri.	63
3.5.1 Red de Petri – Proceso de Dosificación.....	63
3.5.2 Red de Petri – Proceso de Filtración.....	65

3.5.3 Red de Petri – Proceso de Retro Lavado.....	66
3.6 Análisis de resultados.	67
3.6.1 Análisis de resultado del proceso de Dosificación.....	67
3.6.2 Análisis de resultado del proceso de Filtración.	69
3.6.3 Análisis de resultado del proceso de Retro Lavado.....	70
CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.1 Presentación de Resultados.....	72
4.1.1 Resultado del Modelado	72
4.1.2 Resultado del Estado del Arte.....	72
4.1.3 Resultado de la Arquitectura.....	73
4.2 Discusión de Resultados.....	73
4.2.1 Cumplimiento de Objetivos	73
4.3 Análisis de metodología de investigación.	74
4.4 Análisis del cumplimiento de funciones	74
4.5 Análisis del problema de investigación.	75
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 Conclusiones.....	76
5.2 Recomendaciones.....	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS	81
Anexo A: Característica del Device Net.....	81
Anexo B: Simbología para diagrama de actividades	81
Anexo C Especificaciones técnicas de la instrumentación de campo.	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Características del Device Net	81
Tabla 2 Simbología para diagrama de actividades.....	81
Tabla 3 Instrumentación de Campo.....	83
Tabla 4 Especificaciones Técnicas del Sensor de Caudal	83
Tabla 5 Especificaciones Técnicas del Sensor de Turbiedad	83
Tabla 6. Especificaciones Técnicas del Sensor de pH.....	84
Tabla 7 Especificación técnica de la Boya de Nivel.....	84
Tabla 8 Especificaciones Técnicas de PLC.....	84
Tabla 9 Especificaciones Técnicas de controlador Eléctrico	85
Tabla 10 Especificación Técnica de Bombas Dosificadoras	85
Tabla 11 Redes Profibus	86

Índice de Figuras

Figura 1 Tratamiento de agua.	12
Figura 2 Captación de Agua por Aducción por Gravedad.	12
Figura 3 Aducción Forzada.	13
Figura 4 Coagulación.	13
Figura 5 Floculación.	14
Figura 6 Sedimentación.	14
Figura 7 Filtración.	15
Figura 8 PLC TM221CE16R	15
Figura 9 Arquitectura de PLC.	16
Figura 10 Sistema de Control de Lazo Abierto.	17
Figura 11 Sistema de Control de Lazo Cerrado.	17
Figura 12 Topología de Comunicación	18
Figura 13 Sistema de Supervisión y Monitoreo.	19
Figura 14 Modbus Serial RS-485.	20
Figura 15 Bomba Centrifuga.	22
Figura 16 Caudalímetro	23
Figura 17 Medidor de Nivel.	23
Figura 18 Sensor de Turbiedad.	24
Figura 19 Válvula de Compuerta.	24
Figura 20 Válvula de Alivio.	25
Figura 21 Válvula Motorizada.	25
Figura 22 Arrancador Suave.	26
Figura 23 Switch Industrial.	26
Figura 24 Sensor de Presión.	27
Figura 25 Diagrama de Casos de Uso.	28
Figura 26 Diagrama de Secuencia.	29
Figura 27 Diagrama de Estado.	29
Figura 28 Ejemplo de una Red de Petri.	30
Figura 29 Lugares y Transiciones en una Red de Petri	31
Figura 30 Red de Petri.	31
Figura 31 Transición validada de una Red de Petri	32
Figura 32 Tipos de Nodos.	32
Figura 33 Disparo de transiciones.	33
Figura 34 Estructura del Diagrama de Actividades.	34
Figura 35 Proceso de Dosificación.	36
Figura 36 Proceso de filtración y retro lavado.	36
Figura 37 Diagrama de Flujo del Sistema.	37
Figura 38 Diagrama de bloques del Sistema.	40
Figura 39 Arquitectura de Control de Automatización.	41
Figura 40 Arquitectura de Sistema SCADA.	44
Figura 41 Arquitectura de PLC.	45
Figura 42 Arquitectura de Comunicación.	46

Figura 43	Diagrama de Flujo - Proceso de Dosificación por Turbiedad.	48
Figura 44	Diagrama de Flujo - Proceso de Dosificación por pH.	49
Figura 45	Proceso de Filtración.	50
Figura 46	Diagrama de Flujo del Proceso de Filtración.	51
Figura 47	Diagrama de Flujo del Proceso de Retro Lavado.	52
Figura 48	Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Dosificación.	54
Figura 49	Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Filtración.	55
Figura 50	Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Retro Lavado.	56
Figura 51	Diagrama de Secuencia del Proceso de Dosificación.	57
Figura 52	Diagrama de Secuencia del Proceso de Filtración.	58
Figura 53	Diagrama de Secuencia del Proceso de Retro Lavado.	58
Figura 54	Diagrama de Estado – Proceso de Dosificación.	59
Figura 55	Diagrama de Estado – Proceso de Dosificación.	60
Figura 56	Diagrama de Estado – Proceso de Filtración.	61
Figura 57	Diagrama de Estado – Proceso de Retro Lavado.	62
Figura 58	Red de Petri - Proceso de Dosificación por Señal de pH	63
Figura 59	Red de Petri - Proceso de Dosificación por señal de Turbiedad	64
Figura 60	Red de Petri - Proceso de Filtración.	65
Figura 61	Red de Petri - Proceso de Retro Lavado.	66
Figura 62	Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Dosificación por pH.	67
Figura 63	Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Dosificación por Turbiedad.	67
Figura 64	Análisis de espacio de estados - Proceso de Dosificación.	69
Figura 65	Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Filtración.	69
Figura 66	Análisis del espacio de estados.	70
Figura 67	Incidencia y Marcado - Proceso de Retro Lavado.	70
Figura 68	Análisis del espacio de estado - Proceso de Retro Lavado.	71

RESUMEN

Las plantas de potabilización de agua de pequeña escala, a menudo suelen verse limitadas a la hora de automatizar sus procesos debido principalmente a los costos que esto implica. Se realiza el análisis y el modelado de un sistema de automatización para los procesos de dosificación, filtración y retro lavado mediante el uso de herramientas de modelado como las redes Petri y UML, que se ajuste a una planta potabilizadora de agua pequeña. La operación empírica y manual que se tiene en las plantas potabilizadoras de agua, puede ocasionar fallas de operación tanto en el proceso como en los instrumentos de campo. Actualmente existen varios avances tecnológicos en cuanto a la automatización de procesos industriales que permiten controlar eficientemente los sistemas, aportando un sin número de ventajas y beneficios. Para el desarrollo del presente tema de investigación se emplean métodos de modelado con redes Petri y UML que permiten observar el comportamiento del sistema, y así poder subsanar fallas de operación además de obtener un sistema óptimo basándose en fundamentos teóricos y bibliográficos. Finalmente se obtiene un modelado que permite cumplir con las funciones principales de cada proceso tomando en cuenta las condiciones operacionales que influyen en cada proceso además de diseñar una arquitectura de control óptima que permite el control de cada nivel de automatización.

Palabras claves: AUTOMATIZACIÓN, MODELADO, UML, PETRI, DOSIFICACIÓN, FILTRACIÓN, RETRO LAVADO.

INTRODUCCIÓN

Las plantas potabilizadoras de agua operan en base a un conjunto de operaciones físicas, químicas y biológicas que tiene como objetivo principal la reducción y la eliminación de contaminación, mejorando la calidad del líquido vital. En el tratamiento de agua se involucran diferentes procesos, cada una de ellas tienen una función principal definida, dicho esto un sistema de automatización ayudaría a optimizar el trabajo de cada fase para así mejorar la eficiencia del tratamiento logrando altos estándares de operatividad y calidad.

La propuesta de este trabajo de investigación se centra en el uso de herramientas de modelado como UML que permite comprender el funcionamiento con mayor detalle y claridad gracias a que se definen tanto los actores principales que intervienen en los procesos como las actividades a realizar y sobre todo la secuencia en el que se realiza cada actividad. El modelado con red de Petri ayuda a simular el funcionamiento general del sistema incluyendo las condiciones que requiere cada proceso así permite identificar posibles errores de operaciones para luego subsanarlas.

Además, para el desarrollo del presente trabajo de investigación se plantea una arquitectura de control que ayuden a cumplir las funciones de los procesos a analizar además del análisis de los resultados obtenido a partir de los modelados de UML y las propiedades de las redes Petri propuestas.

Se plantea el siguiente problema de investigación para el presente trabajo, la falta de un control automatizado en los procesos de una planta potabilizadora de agua que permitan el control, la visualización de cada una de sistemas para así evitar el control manual, operaciones empíricas la cual impiden solucionar los problema de manera eficaz, para esto se propone una metodología de tipo correlacional con enfoque cuantitativo puesto que se emite criterios con fundamentos bibliográficos y se cuantifica el comportamiento del sistema mediante el uso de métodos de simulación, teniendo como objetivo principal el proyectar un sistema de automatización utilizando lenguaje de modelaje UML, y herramientas de simulación además

de proponer una arquitectura que ayude a tener el control de los diferentes niveles de automatización.

El presente trabajo se divide en cuatro capítulos, en los cuales el primer capítulo se plantea las consideraciones generales que debe tomar en cuenta para el inicio de la investigación, en el segundo capítulo se detalla todos los fundamentos teóricos a considerar tanto como en una planta potabilizadora de agua como en un sistema de automatización, en el tercer capítulo se realiza el diseño del sistema de automatización, estableciendo funciones del sistema, arquitectura de control y los diagramas de flujo de cada proceso junto con las redes Petri correspondiente, en el cuarto capítulo se realiza la presentación de los resultados obtenido a partir de los modelos UML y las redes Petri, finalmente en el quinto capítulo se realiza las conclusiones y recomendaciones de la presente investigación para complementar la información descrita en los capítulos anteriores en la sección de anexos se describe las características técnicas básicas de la instrumentación de campo y las características de las redes de comunicación industrial utilizadas para esta investigación.

En el presente trabajo se han introducido arquitecturas de automatización y técnicas de modelado que pueden resultar muy interesantes para el lector, por lo que se invita a que revise los contenidos de este trabajo que han sido elaborados y estructurados de forma clara y sencilla, procurando mantener el rigor científico académico propio de estas investigaciones.

CAPITULO I: CONSIDERACIONES GENERALES

1.1 Problema de investigación.

En los últimos años los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos han sido empleados para la distribución, captación y tratamiento de agua potable en el país, permitiendo tener un sistema integrado automatizado en todas sus fases. (Castillo, 2010). Esto está permitiendo el intercambio de información entre centros de control que gestionan los procesos específicos como es la captación y el tratamiento de agua potable, presentando información de manera suficientemente clara para entender la situación actual de todos los procesos que se desarrollan en la planta. El desarrollo de un sistema SCADA permite recibir información de caudales de procesos, niveles de las cisternas tanto de agua cruda como tratada y de otras variables involucradas en las diferentes fases del tratamiento de potabilización de agua. (Estrada & Gutierrez, 2012)

Existen plantas de tratamiento de agua potable que no tienen ningún tipo de control automatizado que permita la fácil visualización y control de cada proceso que involucra el tratamiento de agua potable, teniendo una planta completamente de operación manual, las cuales cuentan con operadores que manejan las mediciones empíricas, lo cual impide solucionar los problemas que se presentan de forma rápida y eficiente, sin considerar aún, que los operadores no pueden revisar continuamente el proceso de tratamiento por falta de tiempo. Esto se debe principalmente a la falta de recursos para diseñar una planta de tratamiento de agua automatizada, adquirir equipos y la contratación del personal de ingeniería que logren el control automático de un proceso, con costos elevados de implementación y operación, por ese motivo se es más conveniente el control manual de sus procesos, principalmente en plantas de potabilización de agua de pequeña escala. (Cabezas, 2019). Este análisis lleva a planear el siguiente problema de investigación:

¿Qué modelo de automatización se puede implementar en una planta de tratamiento de agua potable que permitan alcanzar altos estándares de calidad en el proceso de tratamiento de agua potable y bajos costos de implementación y operación?

1.2 Justificación.

A medida que el tiempo avanza, paralelamente lo hace la tecnología, los sistemas de control y automatización se están haciendo más comunes en varios campos estratégicos y productivos de un país como en el sector petrolero, químico, alimenticio, etc. Implementando un sistema de equipos de última generación para controlar procesos complejos y así poder garantizar la seguridad y la fiabilidad.

En la actualidad las plantas de tratamiento de agua intentan poseer un sistema de control y adquirir datos en tiempo real para la supervisión de cada uno de sus procesos, gracias a las ventajas que ofrecen, desde el fácil manejo para un operador hasta la supervisión en cualquier momento y lugar. La automatización del tratamiento de agua cumple con la finalidad de mejorar la eficiencia en operación, mejorar continuamente la calidad del producto ya que los parámetros control alcanzarían los estándares tanto nacionales como internacionales, un ahorro económico a largo plazo puesto que no se necesitarían de una gran cantidad de operadores para el control del proceso las 24 horas del día y finalmente contribuyendo al medioambiente al solo utilizar los recursos que sean necesarios.

1.3 Delimitación.

La propuesta de esta investigación está dirigida al área de la automatización de procesos. Una propuesta basada específicamente a través del modelado y la simulación del proceso, proponiendo y especificando los parámetros o variables a controlar, tales como: caudal, nivel, presión, turbiedad entre otras que se deben analizar y tomar en cuenta al momento de realizar cambios en el ámbito tecnológico en este caso de la operación manual de una planta de tratamiento a una operación automático. Además de enfocarse a modelar los procesos más esenciales de una planta de tratamiento como lo es la filtración y la dosificación. Se propone un modelado y simulación del sistema, dada las condiciones que implica la implementación de un sistema de potabilización de agua sea en campo o a través de un prototipo a escala, su costo sería elevado y el tiempo de implementación extendido.

1.4 Objetivos

Se plantean los siguientes objetivos para el presente trabajo de investigación.

1.4.1 Objetivo general.

Proyectar un sistema de automatización para una planta potabilizadora de agua utilizando herramientas de modelado y simulación aplicable a plantas de pequeña escala.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Proponer arquitectura de automatización aplicable a plantas de potabilización de agua potables de pequeña escala.
- Modelar el sistema de automatización utilizando herramientas de modelado y simulación.
- Evaluar los requisitos funcionales y las métricas del sistema a través de la simulación del sistema

1.5 Hipótesis.

Considerando el avance tecnológico dentro como fuera del país, se propone en esta investigación la proyección, diseño y modelado, que permita proporcionar el control de los procesos mediante la automatización de una planta de tratamiento de agua, implementando controladores programables que recibe la información de diferentes parámetros como el nivel, caudal, turbiedad desde los sensores colocados estratégicamente en todo el sistema, lo cual permita el monitoreo en tiempo real en sus diferentes etapas para así asegurar una mejor calidad del agua.

Según lo expuesto anteriormente, se plantea la siguiente hipótesis: Un modelo de automatización de componentes reducidos, puede proporcionar la misma productividad que una planta automatizada de tratamiento de agua.

1.6 Metodología de la investigación.

El sistema de control automático de una planta de tratamiento de agua potable involucra varios factores como es la eficiencia, adaptabilidad, aporte para la sociedad y/o comunidad, etc. Los parámetros antes mencionados definen el tipo de investigación a utilizar, como lo es del tipo correlacional con un enfoque cuantitativo, ya que es necesario determinar la relación de estos

factores dentro de un sistema automático, utilizando equipos de instrumentación de campo como equipos de supervisión. El enfoque cuantitativo se debe a que el modelado de un sistema de control automático ayuda a analizar su lógica de control y cuantificar el comportamiento del sistema.

Para lograr lo antes mencionado se emplea los métodos bibliográfico y simulación que permitirá a través del análisis de investigaciones, evaluar los trabajos realizados referentes a tema como también el análisis de estudios de protocolos y sistemas ya existentes dentro o fuera del país. El método de simulación se lo aplicara para conocer a profundidad las etapas del tratamiento de agua, prever de posibles errores de operaciones además de establecer parámetros claves que sirven para un lograr un correcto tratamiento de agua.

1.7 Tareas de investigación.

En referencia a lo mencionado anteriormente, se presenta las tareas de investigación necesarias para el desarrollo de este proyecto:

- Investigación bibliográfica de trabajos anteriores, análisis y normas a seguir para el tratamiento de agua.
- Identificar los equipos que permitan el control automático del proceso de tratamiento de agua.
- Especificar los parámetros de procesos que se deben considerar al momento de diseñar el sistema automático.
- Identificar equipos que permitan la supervisión en tiempo real y continua de los procesos de tratamiento de agua.
- Diseño de una topología de red y arquitectura de comunicación entre la instrumentación de campo y equipos de supervisión.
- Analizar los requerimientos necesarios para el sistema de control automático.
- Diseño preliminar de un diagrama de flujo en la etapa de bombeo de captación, proceso de retro lavado, proceso de dosificación.
- Evaluación de la lógica de control en los diferentes procesos de tratamiento de agua.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte.

Montenegro (2016) en su trabajo evidencia la falta de comunicación entre la planta de captación y la planta de tratamiento donde se propone rediseñar las redes de comunicación Modbus, además de proponer la automatización de la válvula de ingreso de agua cruda dependiendo a la lógica de operación ya sea por condiciones de alta demanda, periodos de funcionamientos o niveles en tanques de distribución de agua cruda. Aprovechando las ventajas de la comunicación Modbus el autor concluye con el diseño de un sistema SCADA que logra centralizar la información y manejar los diferentes procesos que corresponden a la planta, además de obtener mejoras en el tiempo de captación de agua cruda, disminución de errores de operación como desbordamiento de los tanques gracias a supervisión continua que ofrece el sistema SCADA.

Orellana (2016) en su trabajo se realizó una investigación tomando muestras de agua de la vertiente de esta comunidad con el fin de mejorar la calidad de agua, cuyos resultados estuvieron fuera de los límites permisibles según la NORMA INEM 1108:2011 de agua potable, por tal motivo fue necesario un pre tratamiento cuya agua cruda o agua captada es bombeada hacia un tanque de captación para luego ser llevada a una torre de aireación de 2m de altura y posteriormente para un sistema de sistema de cloración. En esta investigación se concluye que dicho pre tratamiento de aireación de agua se logra ajustar los parámetros a los permisivos en la NORMA INEM 1108:2011 de agua potable antes mencionada.

Velasco (2020) en su tesis hace mención a la falta de automatización en las fases principales para la potabilización de agua, los operadores en dicha planta realizan operaciones de forma manual. En la cámara de captación de agua cruda existe válvula para el ingreso del agua, sensores de turbiedad y sensores de caudal que busca la automatización de la apertura/cierre de la misma llevando todas las variables de proceso para centralizarlas en un PLC M221 y que mediante comunicación Modbus pueda

ser llevado a una computadora central (SCADA) esto es con el fin de tener una medición constante de las variables más representativas en el proceso de captación. Adicional se concluye que control más idóneo para la automatización de la válvula de ingreso de agua cruda es por PID por caudal ya que esta respondería a la apertura o cierra dependiendo el caudal que el operador necesite.

Guerrero y Liza (2017) en su trabajo de investigación menciona la problemática que ocasiona el desabastecimiento de agua por tal motivo propone el diseño de su propia planta para el abastecimiento de agua utilizando bomba para la captación de agua desde un reservorio o tanque de captación, Panel HMI, instrumentación de campo como sensor de caudal, presión, variadores de frecuencia llevando estas señales a un controlador para así poder realizar un control automático por PID, este regularía la velocidad de las bombas en base al consumo necesario o en base a las variables a controlar en el panel HMI ya sea caudal o presión, adicional llevando mediante enlace de radio todos los datos que son captados por el PLC a una computadora SCADA para su supervisión. Los autores concluyen que se realizó el mejor diseño estratégica de control y tecnológica tanto de telemetría como equipos de control que cumplen con la solución al problema de desabastecimiento de agua además de la supervisión en tiempo real de cada etapa del bombeo de agua.

Hincapié (2018), en su proyecto de investigación plantea la necesidad de diseñar un control automático con el fin de mejorar el control de bombas a través de sensores de presión, flujo. Creando códigos en PLC y HMI que permitan la operación, control y procesamiento de señales que permitirían un flujo o presión contante en toda la planta, estableciendo todas las conexiones eléctricas de los elementos a utilizar. Como resultado de su investigación garantizó el correcto funcionamiento del control automático de las bombas además de la garantizar la seguridad del entorno, y se concluyó que el sistema de control logra optimizar las operaciones realizadas en cada fase mejorando la eficacia del tratamiento.

Cabezas (2019) en trabajo de investigación menciona la falta de control y automatización en la planta de tratamiento de la ciudad de Tulcán, el diseño automático que el autor propone es en el área de dosificación y el proceso de retro lavado en la etapa de filtración de la planta, además de la supervisión constante y en línea de las variables de turbiedad, caudal y nivel. Proponiendo equipos para que el control de estas etapas sea posible además de un controlador lógico programable PLC que sea el encargado en la emisión de acciones de control ante las bombas y actuadores en la planta de tratamiento. Y concluye con un sistema central que permite el control y la supervisión de cada etapa de planta de tratamiento, generando información necesaria y útil para los operadores, supervisores de la planta antes mencionada.

Villa (2018) en su investigación menciona la falta de un sistema de control en la planta de agua potable, proponiendo equipos de instrumentación para el control de bombas y actuadores eléctricos, diseñando de manera estructurada y ordenada diagramas de control y fuerza que involucran la automatización de las diferentes etapas de la planta de tratamiento de agua. Teniendo como resultado, garantizar la vida útil tanto de los equipos de bombeo como los actuadores eléctricos, la eficiencia y seguridad en la operación de los equipos instalados y un bombeo constante a los diferentes tanques de distribución. Al finalizar su investigación, Villa concluye estableciendo criterios y procedimientos básicos aplicados en la parte de automatización de una planta de tratamiento de agua además de establecer parámetros de procesos para el funcionamiento del sistema de control automático.

En el artículo, Conde (2016) hace mención a la necesidad de automatizar un sistema bombeo de tanque de almacenamiento de agua implementando un sistema de permite visualizar distintas variables como turbiedad y niveles con sensores ópticos y/o capacitivos. Teniendo como resultado la visualización del comportamiento de cada sensor en cada etapa y la respuesta de cada actuador, electroválvula o bomba ante la conducta de los instrumentos de campo. De acuerdo con los resultados el autor concluye que la visualización de este sistema de control suministra información en

tiempo real, además de brindar la opción al operador de corregir errores en el proceso.

Lozano (2017), en su trabajo de investigación menciona la falta de un sistema automático con sensores de instrumentación para una planta de tratamiento de agua potable, el trabajo de investigación plantea proponer los actuadores, sensores acordes a la necesidad. Como resultado del trabajo de investigación hace la elección de 6 actuadores, 8 válvulas, 19 sensores analógicos que permiten el control y monitoreo de las condiciones tanto de entrada como de salida de agua de cada proceso de la planta, todos ellos controlados y monitoreados con tecnología siemens, la implementación del sistema automático permite la visualización completa de las etapas del proceso y el estado de las variables de control permitiendo acciones oportunas en caso de falla.

Casse (2019) en su proyecto de investigación hace referencia a la problemática del abastecimiento de agua potable y la mala calidad del mismo, propone una solución factible mediante la automatización del proceso de tratamiento de agua teniendo como beneficios la reducción en fallas operativas, disminución en riesgos laborales, garantizar la calidad del agua y sobre todo el monitoreo en tiempo real de las variables de proceso que ayuda a la toma de decisiones oportunas en caso de falla de operación. Esta propuesta de automatización contribuye con mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, mejorar los estándares de calidad del agua.

2.2. Plantas de tratamiento de agua potable

El suministro de agua potable es uno de los problemas que más interesa al hombre, según estadísticas el 45% de la población a nivel mundial no posee acceso a los servicios de agua potable, alrededor de mil millones de personas no cuentan con el acceso de este servicio, cerca de dos mil millones no poseen el servicio de potabilización y en países desarrollados se conoce que los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que los países que se hacen llamar en vías de desarrollo. El tratamiento de agua consiste en la

eliminación de impurezas del agua y hacerla apta para el consumo humano. (Romero, 2020)

El proceso de tratamiento de agua para su potabilización, dispone de algunas fases como es la captación, la dosificación, floculación, sedimentación, filtración y el almacenamiento, así como se indica en la figura 1.

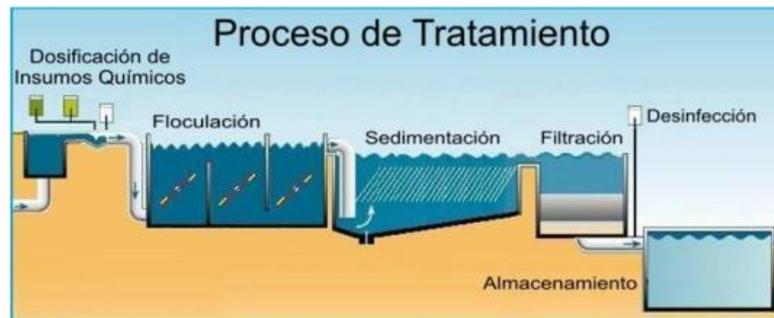


Figura 1 Tratamiento de agua.
Fuente: (Skynov, 2017)

2.2.1 Captación de agua cruda

La potabilización del agua empieza con la captación de la misma llamándola agua cruda, esta puede venir de aguas subterráneas o de aguas superficiales como los ríos, lagos. El Ecuador posee con una gran cuenca hidrográfica que hace que las empresas de tratamiento de agua su mayor fuente de captación sean los ríos para luego tratarla y potabilizarla. Existen dos tipos de formas de captación de agua:

- i. Aducción por gravedad. Para lograr este tipo de captación de agua cruda es necesario que la fuente de agua se encuentre a mayor altura que el punto de ingreso a la planta, así como se muestra en la figura 2.

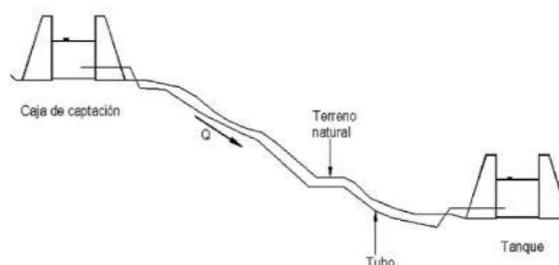


Figura 2 Captación de Agua por Aducción por Gravedad.
Fuente: (Perez,2020)

- ii. Aducción forzada. Para este tipo de aducción es necesario de grupos de bombeo puesto que la fuente de agua se encuentra a menor altura que el punto de ingreso a la planta, tal como se demuestra en la figura 3. (Vásconez & Zurita, 2016)

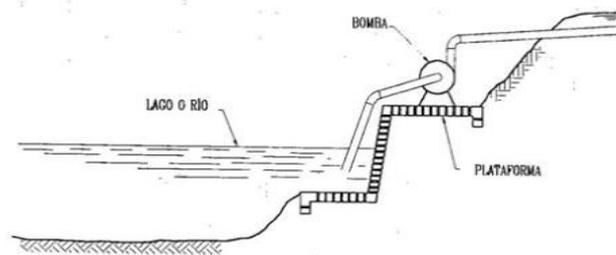


Figura 3 Aducción Forzada.
Fuente: (Pérez, 2020)

2.2.2 Coagulación

Luego de la etapa de captación esta la etapa de coagulación, en esta etapa se añade varias sustancias que ayudan a formar la hidrolisis, así como se muestra en la figura 4, esto permite que las partículas pequeñas que se encuentran en el agua interactúen entre sí para formar partículas más grandes, a dichas partículas se les llama flóculos. Algunos de los químicos que permite este proceso son las sales de aluminio, hierro, cal. (Vásconez & Zurita, 2016)

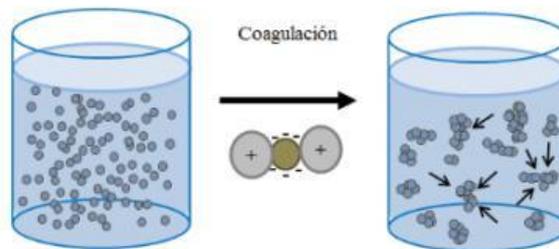


Figura 4 Coagulación.
Fuente: (Quiroga & Rodríguez, 2015)

2.2.3 Floculación

Para este proceso es necesario agitar lentamente el agua para que las partículas previamente coaguladas se vayan uniendo y formando partículas con mayor peso y tamaño a esto se le llama flóculos, así como se muestra en la figura 5, esta agitación se la debe realizar de manera controlada puesto que si se realiza de manera brusca puede producir la ruptura de los flóculos y si se realiza una agitación muy lenta produce flóculos débiles los cuales los hace difícil de sedimentar.

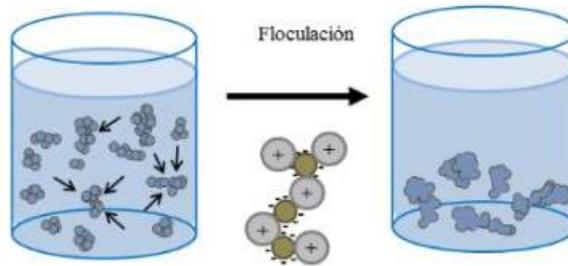


Figura 5 Floculación.
Fuente: (Quiroga & Rodríguez, 2015)

2.2.4 Sedimentación

Este proceso involucra la eliminación de las partículas pesadas por acción de la gravedad teniendo el agua en reposo, este proceso elimina en gran parte las partículas suspendidas, así como lo demuestra la siguiente figura.

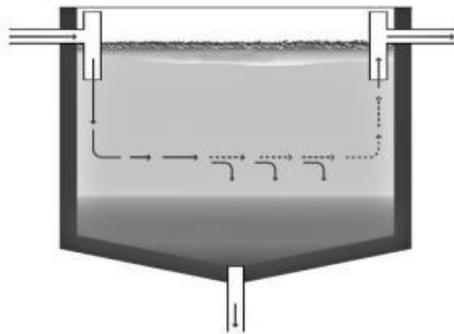


Figura 6 Sedimentación.
Fuente: (Tilley & Ulrcik, 2017)

2.2.5. Filtración

En este proceso los flóculos y las partículas que no lograron ser retenidos en el proceso de sedimentación pasan por filtros para ser retenidos, tal como lo indica la figura 7. Estos filtros luego de un tiempo específico de operación deber lavados a través de un proceso que se denomina retro lavado. Para lograr el retro lavado de los filtros se envía agua en sentido inverso al proceso de filtración. (Cabezas, 2019)

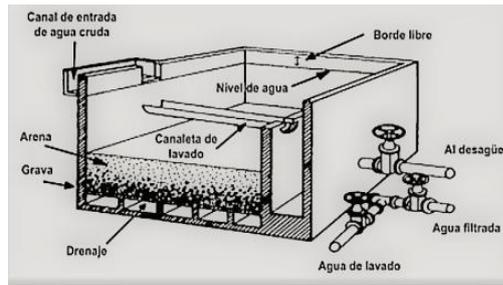


Figura 7 Filtración.
Fuente: (Barrios, 2009)

2.2.5 Desinfección

Este proceso comprende en la dosificación del agua para obtener un nivel apto del potencial del hidrogeno (pH) para el suministro del agua, el químico más usado es el cloro en su estado gaseoso o también es usado el hipoclorito de sodio o de calcio. Luego de este proceso el agua está listo para su distribución.

2.3. Automatización de procesos

La automatización fue desarrollada con el fin de gobernar maquinas o procesos disminuyendo los errores e incrementando la eficiencia de los procedimientos. Estos se identifican por tener sistemas de control de lazo abierto o cerrado. (Ogata, 2010)

2.3.1 Controlador Lógico Programable

Este equipo está diseñado para el control de procesos automatizados, posee una memoria programable donde guarda todas las instrucciones que fueron programadas por el operador, posee instrucciones básicas como contadores, temporizadores, contactos digitales y funciones aritméticas. Además, posee módulos de entradas digitales y analógicas. Según las necesidades del proceso se le puede adaptar módulos de comunicaciones ya sea Modbus TCP/IP, Serial.



Figura 8 PLC TM221CE16R
Fuente: (Schneider Electric, 2019)

2.3.2 Arquitectura del Controlador Lógico Programable

Los controladores están compuestos por 5 componentes principales que son:

- i. CPU. -es el componente principal del PLC puesto que es la unidad central de proceso donde recolecta datos y ejecuta acciones lógicas programadas por el usuario, estas acciones lógicas consisten en tareas como cálculos, energización de las entradas y/o salidas además de la comunicación con equipos externos.
- ii. Memoria. - Los controladores tienen una memoria donde se almacena la programación realizada por el usuario, datos de las variables de entradas o salidas.
- iii. Fuente de Alimentación. – Este equipo proveer de energía necesaria para la operación del PLC junto con todos sus modelos de entrada y salida, generalmente la alimentación es en corriente alterna de 110-220Vac y en ocasiones en corriente continua de 24Vdc.
- iv. Módulos de Entrada. – Este equipo es capaz de leer información que contribuye a la lógica de programación realiza por el usuario, por lo general esta información proviene en forma de señal eléctrica.
- v. Módulo de Salida. – Este equipo es capaz de controlar la apertura/cierre de válvula, encendido/apagado de motores, etc. Mediante señales con bajo voltaje.

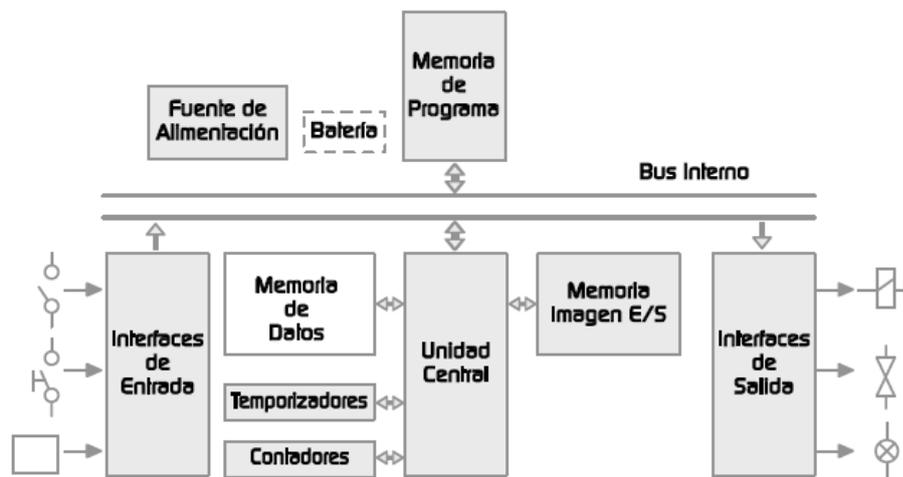


Figura 9 Arquitectura de PLC.

Fuente: (Rojas,2009)

2.3.3 Sistema de control de lazo abierto

Se define como lazo de control abierto cuando la variable de salida no afecta a la operación del sistema total, además en este tipo de control variable de salida no es retroalimentada con la variable de entrada. (Ogata, 2010)

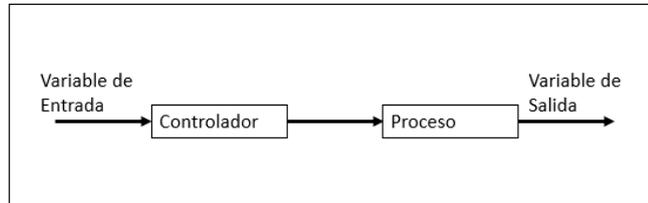


Figura 10 Sistema de Control de Lazo Abierto.
Fuente: Autor

2.3.4 Sistema de control de lazo cerrado

Los lazos de control cerrado las variables de entrada y salida están retroalimentados, en este caso la señal de salida si influye sobre la señal de entrada debido a que el sistema detecta perturbaciones o cambios ocurridos en la salida. (Ogata, 2010)

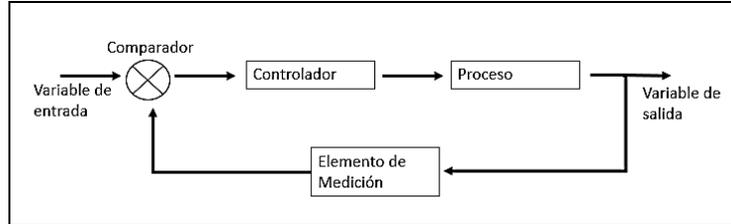


Figura 11 Sistema de Control de Lazo Cerrado.
Fuente: Autor

2.3.5 Sistema de comunicación

Los sistemas de comunicación permiten que cualquier tipo de información se codifique en forma de señal y sea transmitido. Una de las principales características es que tienen transmisor, canal de transmisión y receptor. El mensaje original por lo general no es una señal eléctrica puede ser en forma de símbolos, ondas, intensidad lumínica, etc. Por lo que es necesario un transductor de entrada para que la transforme y la envíe a un transductor de salida y esta sea captada por el receptor. (Rodríguez, 2008)

2.3.6 Topología de red de comunicación

Por lo general la topología varía dependiendo la transmisión de datos, los protocolos de comunicación, el rendimiento o incluso el costo de implementación. Entre las topologías más importantes tan:

- i. Topología Estrella: En esta configuración todos los equipos están conectados a un equipo central.
- ii. Topología Bus: Se caracteriza por tener todos los equipos están conectados a una línea principal en este caso a un segmento de cable.
- iii. Topología Anillo: Todos los equipos forman un circuito cerrado donde el primer equipo termina enlazado con el ultimo.
- iv. Topología Árbol: Esta configuración es la mezcla de las topologías anteriores donde los equipos están conectados a partir de una misma línea principal, pero formando ramificaciones. (Rodríguez, 2008)

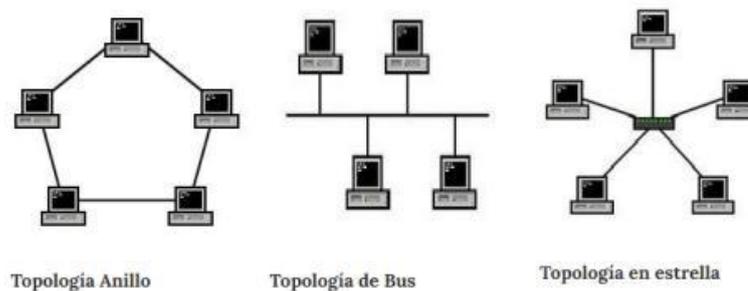


Figura 12 Topología de Comunicación
Fuente: (Álvarez, 2009)

2.3.7 Sistemas de Supervisión y Monitoreo.

La automatización industrial incluye la gestión de operaciones y el desarrollo de procesos que no requieren la intervención continua del operador, esto ha llevado a crear un sistema llamado SCADA, cuyas siglas en ingles se refieren a “Supervisory Control and Data Acquisition”. Este sistema permite la supervisión y el monitoreo de todas las variables que están involucradas en el proceso de una planta. Para lograr este sistema es necesario de un PLC que recolecta toda la información del proceso y mediante la integración de un sistema de comunicación es posible el monitoreo en tiempo real. (Perez, 2015)



Figura 13 Sistema de Supervisión y Monitoreo.
Fuente: (Ingetes, 2020)

2.3.8 Requisitos para un sistema de supervisión y monitoreo.

Para aprovechar al máximo este tipo de monitoreo es necesario considerar lo siguiente:

- i. Deben ser capaces de adaptarse a las necesidades y cambios de la empresa, es decir deben ser de arquitectura abierta que permita la expansión del sistema de monitoreo.
- ii. La interfaz debe ser sencilla y amigable para el operador, fáciles de instalación.
- iii. Debe tener una comunicación transparente y sencilla entre el operador y los equipos de planta.
- iv. Capaces de almacenar y generar reportes históricos de las variables de la planta. (Perez, 2015)

2.3.9 Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación cumplen con la finalidad de intercambiar información entre equipos siguiendo las normas o condiciones que cada equipo exige para la transmisión y sincronización de datos. (Rodríguez, 2008)

2.3.9.1 Protocolo Modbus

Este tipo de comunicación fue desarrollado en 1979 por Modicon [CITA], generalmente es utilizado para la comunicación entre equipos maestro y esclavos. Tiene como objetivo la transmisión de información entre varios equipos conectados a un bus en común, mientras que solo uno de los equipos puede realizar la función de maestro y los demás equipos son esclavos. Esto quiere decir que solo el equipo maestro es capaz de realizar peticiones de

información a los equipos esclavos. A este protocolo también es conocido como ciclo de petición/respuesta. (Rodríguez, 2008)

2.3.9.2 Modbus Serial

El protocolo modbus serial sigue la arquitectura de maestro/esclavo, utiliza la norma estándar RS-232 y RS-485.

Por lo general en las industrias se utiliza el interfaz RS-485 puesto que se considera una conexión multipunto y permite la comunicación hasta 32 equipos teniendo un solo bus de conexión. Las principales características son:

- i. La distancia máxima de comunicación entre equipos es hasta 1200 metros.
- ii. Permite una velocidad de comunicación hasta 10Mbps.
- iii. Emplea dos hilos de comunicación o conductores referenciados a masa.
- iv. Permite la comunicación multipunto o punto a punto. (Leon, 2007)

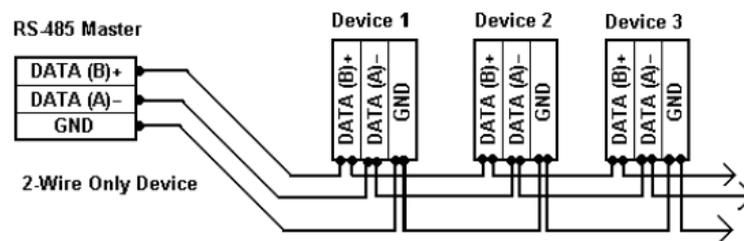


Figura 14 Modbus Serial RS-485.
Fuente: (León, 2007)

2.3.9.3 Modbus TCP/IP

Es el estándar de comunicación Ethernet IEEE802.3, actualmente Modbus TCP/IP es el protocolo más popular por sus bajos costos, facilidad de rendimiento y por ser un protocolo abierto, los datos de comunicación pueden ser enviados a través de la red Ethernet soportando transferencias de datos tipo bit o Word. (Hernandez, 2016).

2.3.9.4 Red Industrial de comunicación Device Net.

Es una red de comunicación industrial de tipo abierto y flexible para su implementación, diseñada para lograr satisfacer las múltiples exigencias de fiabilidad requeridas por las industrias, este protocolo utiliza CAN (Red de

Área de Controladores) para enlace de datos, además de CIP (Protocolo Industrial Común) para la capa de red superior.

El Device Net soporta varios niveles de comunicación, estos pueden configurarse como Maestro-Esclavo o con un enlace punto a punto. (Rodríguez, 2008)

A continuación, se mencionan las ventajas más importantes de este protocolo:

- i. Los equipos Device Net pueden ser reemplazados como otros fabricantes que cumplan con las normas.
- ii. Ofrece un sin número de soluciones técnicas al ser un estándar de comunicación abierto.
- iii. Reducción en tiempo de parada debido a su sistema de diagnóstico.
- iv. Posibilidad de agregar o eliminar equipos en marcha sin afectar al resto del proceso.
- v. Posibilidad de programación y configuración durante el funcionamiento del proceso.

En la sección de anexos, se encuentra la tabla 1 donde se menciona las características de la comunicación Device Net.

2.3.10 Estrategia de Diseño.

Para la estrategia de diseño, se han tomado en cuenta varios parámetros que permita una correcta redacción y organización de las pantallas de supervisión, estos son:

- i. La división del proceso en pasos para minimizar el uso de recursos visuales por pantalla así evitar la sobrecarga visual.
- ii. Las planillas de diseño que brindan características similares a todas las pantallas.
- iii. Crear una interfaz intuitiva y fácil de usar, activando alertas visuales que alarmen a los operadores en caso de ocurrir alguna falla en el proceso.
- iv. Brindar información clara sobre el desarrollo de los procesos que permita al operador el seguimiento del rendimiento en cualquier momento.

2.3.11 Parámetros de la red de comunicación.

A través de nuevas tecnologías se puede asegurar el flujo de información, permitiendo que los datos estén libres de errores y el controlador interprete cada variable del proceso. Hay varios protocolos de comunicación industrial, estos fueron mencionados anteriormente, por lo que con esta información se puede determinar que cada uno de ellos permite la integración del sistema y las distintas etapas del proceso en el sistema de tratamiento de agua, por lo que, el sistema puede cumplir con los parámetros que se detallan a continuación:

- i. Asegurar el flujo de información
- ii. Garantiza el envío de datos sin errores.
- iii. Permite velocidades de transmisión confiables.
- iv. Capacidad para transmitir los datos requeridos en cada proceso.
- v. Conectividad entre los elementos de control del sistema.

2.4 Instrumentación industrial

En todo proceso industrial es necesario la implementación de instrumentación de medición y control que permitirán la supervisión de la calidad en toda la operación de proceso.

2.4.1 Bomba de agua centrífuga.

Su característica principal es de transportar fluidos a largas distancias además de modificar las condiciones de presión o caudal. Las bombas convierten la energía mecánica a energía hidráulica.

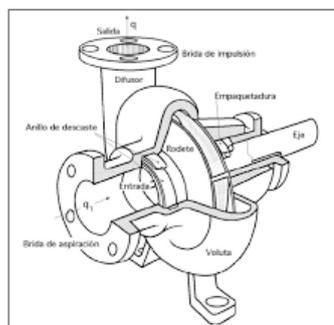


Figura 15 Bomba Centrífuga.
Fuente: (Muñoz & Murillo, 2009).

2.4.2 Medidor de Caudal

Permite la lectura inmediata del flujo que pasa por una tubería, ya sea en litros por segundo o en metros cúbicos. La alimentación eléctrica por lo general es en corriente alterna y emite señal eléctrica de 4 a 20mA.



Figura 16 Caudalímetro
Fuente: (Interempresa,2018)

2.4.3 Medidor de Nivel

Estos equipos son los más utilizados en procesos industriales específicamente para el almacenamiento de líquidos. La alimentación eléctrica es en corriente continua y su señal de salida es de 4-20mA

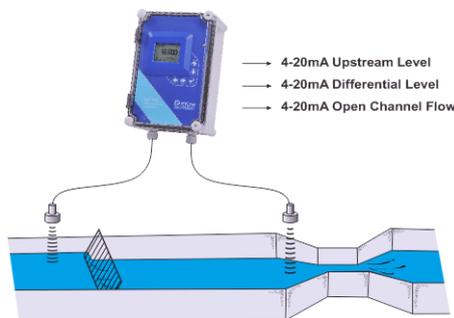


Figura 17 Medidor de Nivel.
Fuente: (Procoem, 2020)

2.4.5 Sensor de Turbiedad.

La medición de turbidez es uno de los factores importantes para garantizar la calidad del agua, su unidad de medida es en NTU, debe ser alimentado con corriente continua y posee una señal de salida de 4-20mA. Estos equipos poseen un transmisor que se encarga de emitir una luz para que el receptor capte la cantidad de luz difusa y la convierte en señal eléctrica.

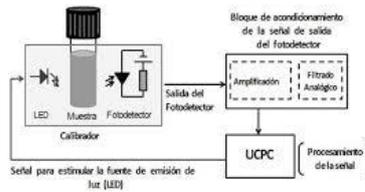


Figura 18 Sensor de Turbiedad.
Fuente: (González & Hernández, 2013)

2.4.6 Electro Válvulas

Las electro-válvulas también son conocidas como válvula solenoide, ya que esta válvula permite o impide el paso de un líquido. Existe gran variedad de válvulas y se clasifican según su uso:

i. Válvula de compuerta

Estas válvulas son usadas en las estaciones de bombeo, son accionadas de manera manual por medio de un volante, generalmente son implementadas para el mantenimiento de una estación ya que aísla la línea de impulsión de la bomba.



Figura 19 Válvula de Compuerta.
Fuente: (Valvia, 2013)

ii. Válvulas de alivio

Las válvulas de alivio cumplen con la función de controlar los cambios de presiones bruscas al instante del arranque o parada de los grupos de bombeo asegurando que no sobrepasen los límites de trabajo del sistema. Estas válvulas se las escogen dependiendo los siguientes parámetros:

- Caudal máximo del grupo de bombeo
- Generalmente el dimensionamiento de la válvula debe ser proporcional al caudal y a la velocidad de flujo.
- Velocidad máxima permitida.

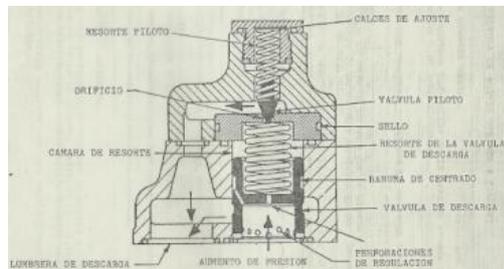


Figura 20 Válvula de Alivio.
Fuente: (Álvarez, 2014)

iii. Electroválvula motorizada

Las electroválvulas motorizadas generalmente funcionan en dos posiciones abierta o cerrada, por lo general la señal de comando para este equipo es de 0-10Vdc, 4-20mA o 0-20mA. El tiempo de respuesta hasta que cumple por completo la apertura o cierre es de 25 a 60 milisegundos.

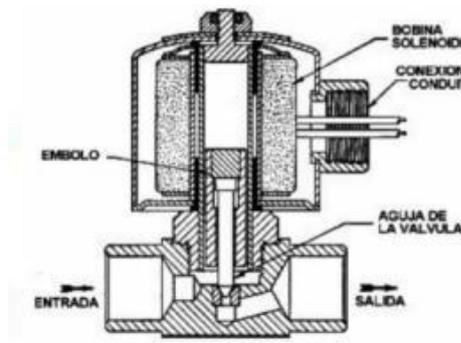


Figura 21 Válvula Motorizada.
Fuente: (Válvula Sarco, 2020)

2.4.7 Arrancadores suaves

Estos equipos ayudan a proteger y a controlar los motores, una de sus principales características es de protección contra sobretensión y cortocircuitos, además cumple como equipo de conmutación esto permite interrumpir o dar paso de corriente absorbida por el motor.



Figura 22 Arrancador Suave.
Fuente: Siemens

2.4.8 Switch Industrial

El switch industrial sirve para la comunicación entre todos los equipos de campos como PLC, Variadores de Frecuencia, HMI, Scada, Medidor de Parámetros Eléctricos, que están en una red de comunicación Modbus TCP/IP. En el mercado existen switch de 4,8 puertos los cuales manejan una velocidad de 100 Mbps.



Figura 23 Switch Industrial.
Fuente: (Phoenix Contact, 2020)

2.4.9 Sensor de Presión

El sensor de presión es equipo que convierte la fuerza que es ejercida sobre una superficie, este equipo convierte una señal física que es la fuerza en una señal eléctrica. La unidad de medida es en “Bar” usualmente este equipo requiere de una alimentación de 24vdc y la señal de salida es de 4-20mA. (Nolla, 2017)

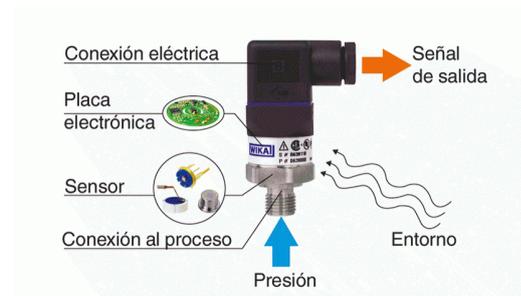


Figura 24 Sensor de Presión.
Fuente: (Nolla, 2017)

2.5 Lenguaje de modelado Unificado

El lenguaje de modelado unificado es una técnica que nació en 1994 creado por Grady Booch, James Rumbaugh e Ivar Jacobson quienes son los creadores de los métodos Booch, OMT y OOSE. Y sirve para especificar procesos o sistemas en todas sus fases. Actualmente es utilizado con mucho éxito en todos los sistemas industriales. (Booch, 1994)

Las ventajas principales del lenguaje de modelado son:

- i. Mejorar la planificación y control de proyectos.
- ii. Modelar sistemas utilizando conceptos orientados a objetos.

2.5.1 Desarrollo del lenguaje de modelado unificado.

Las fases para un desarrollo del lenguaje modelado unificado son:

- i. Análisis de requerimiento:

En esta fase se captura la necesidad del cliente, para esto intervienen los clientes y los casos de usos (use-cases), estos van relacionado entre sí o están divididos jerárquicamente. En cada use-case se describe en texto lo que el cliente solicita sin tomar en consideración la funcionalidad de lo que se va implementar.

- ii. Diseño:

En la fase del diseño involucra una solución técnica, se agregan nuevas ideas que ayudan la solución del problema ya sea bases de datos, interfases de usuario, comunicaciones con otros equipos. Cuando el diseño es terminado esta sirve como especificaciones más detalladas para la fase de programación.

iii. Programación:

En la fase de programación el diseño es convertido en lenguaje de programación orientado a objetos. (Fowler & Scott, 1997)

2.5.2 Objetivos del Lenguaje de modelado unificado.

Los principales objetivos del lenguaje de modelado unificado son los siguientes:

- i. Proporciona a los usuarios un lenguaje de modelado visual expresivo y listo para usar.
- ii. Proporciona facilidad de extensión sin necesidad de volver a redefinir los conceptos claves del modelado.
- iii. Es independiente a los procesos de desarrollo y los lenguajes de programación
- iv. Ofrece facilidad de entendimiento al utilizar metamodelo expresado en diagramas. (Fowler & Scott, 1997)

2.5.3 Diagramas de casos de Uso

Los diagramas de casos de uso permiten modelar el comportamiento de un sistema identificando los principales requisitos funcionales del sistema a desarrollar, es decir especificando como interactúan los actores externos con el sistema. (Rumbaugh, Jacobson, & Booch, 2020).

Los principales elementos para están involucrados en el caso de uso son:

- i. Entorno del sistema. – Es el software o sistema que se desea desarrollar.
- ii. Caso de Uso. – Son funciones que tiene el sistema.
- iii. Actor. – Son quienes interactúan con el sistema.
- iv. Comunicación. - indican la comunicación que existe con los diferentes casos de usos.

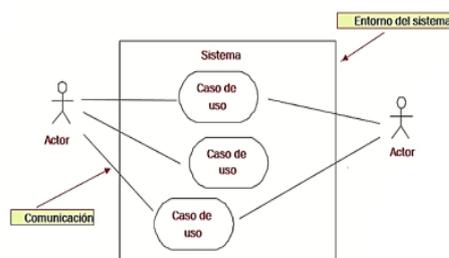


Figura 25 Diagrama de Casos de Uso.
Fuente: (Gramage, 2016)

2.5.4 Diagramas de secuencia

En los diagramas de secuencia especifican la manera en que los objetos interactúan entre si con el paso de tiempo. Una vez que el objeto se determina a través del análisis de casos de uso, el modelador crea un diagrama de secuencia: la representación de cómo los eventos conducen de un flujo a otro en función del tiempo. Básicamente, los diagramas de secuencia son versiones abreviadas de casos de uso. (Pressman, 1982)

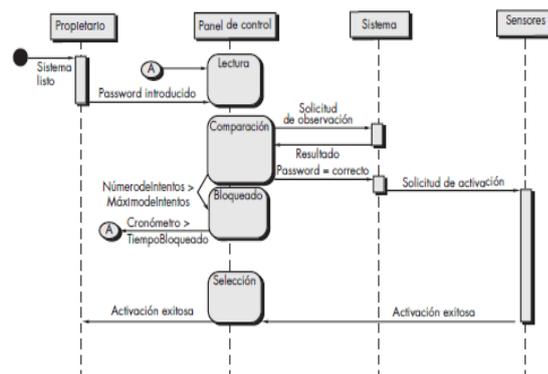


Figura 26 Diagrama de Secuencia.
Fuente: (Pressman, 1982)

2.5.5 Diagramas de estado

Los diagramas de estado son técnicas conocidas que se utilizan para describir el comportamiento del sistema. Describen todos los estados posibles en los que puede entrar un objeto en particular y cómo cambia el estado del objeto como resultado del evento que lo alcanza. En la mayoría de las tecnologías, el diagrama de estado se dibuja para una clase, mostrando el comportamiento de un solo objeto a lo largo de su ciclo de vida. (Fowler & Scott, 1997)

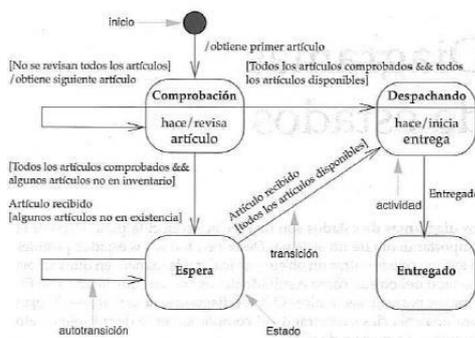


Figura 27 Diagrama de Estado.
Fuente: (Fowler & Scott, 1997)

2.6 Redes de Petri

En la actualidad existen gran variedad de software para la modelación y simulación de sistemas que ayuda con información correspondiente al sistema. Los resultados obtenidos en un modelo sirven para realizar mejoras en los diferentes escenarios del sistema.

Una de las herramientas utilizadas para modelar, simular y analizar sistemas son las redes de Petri, estas tienen la ventaja de lograr representar gráficamente y matemáticamente un modelo para un sistema en particular. (Kurapati & Mengchu, 1999)

2.6.1 Fundamentos de redes de Petri

El autor de este método de modelación es Carl Adam Petri en 1962, es una herramienta de modelado gráfico y matemático que logra aplicarse en varios sistemas ya sean concurrentes, distribuidos, asíncronos. Al ser una herramienta grafica las redes de Petri puedes lograr a utilizarse como apoyo de comunicación visual, puesto que es similar a los diagramas de flujo, de bloque y redes. En el área de la automática las redes de Petri ayudan a modelar los algoritmos que se desea implementar en los PLC. (Orlando & Pérez, 2016)

Un ejemplo para explicar lo que son las redes de Petri se lo muestra en la figura 29 donde muestra la reacción química del agua, donde en sus entradas se tienen moléculas de hidrógenos y oxígeno, la unión de estas moléculas da paso al compuesto químico del agua que es H₂O.

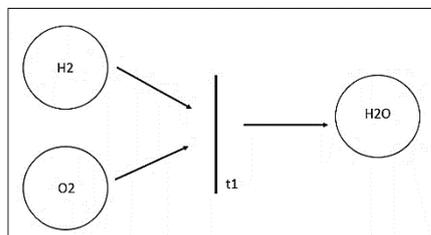


Figura 28 Ejemplo de una Red de Petri.
Fuente: Autor.

2.6.2 Herramienta de análisis para las redes de Petri.

Para el análisis de una red de Petri se debe considerar lo siguiente:

- i. En una red de Petri existen dos tipos de nodos a los que se conocen como lugares y transiciones.

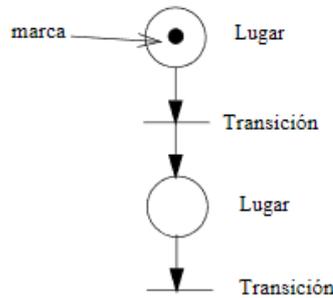


Figura 29 Lugares y Transiciones en una Red de Petri
Fuente: (Charles, 2009)

- ii. Los lugares pueden ser precondiciones, datos de entradas o necesidad de recursos, condiciones y las transiciones son eventos, acciones, tareas o funciones lógicas.
- iii. Los lugares son representados por circunferencias y las transiciones son rectas verticales y estas se unen mediante arcos o flechas.

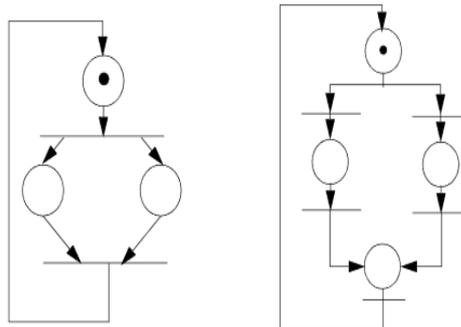


Figura 30 Red de Petri.
Fuente: (Charles,2009)

- iv. Se debe tomar que un arco une lugares con transiciones, pero no puede unir varios lugares con varias transiciones.
- v. Generalmente las transiciones están asociadas a funciones lógicas o variables de entrada, cuando ocurre un evento relacionado a una transición se dice que está validada y se las representa por segmentos de rectas. (Charles, 2009)

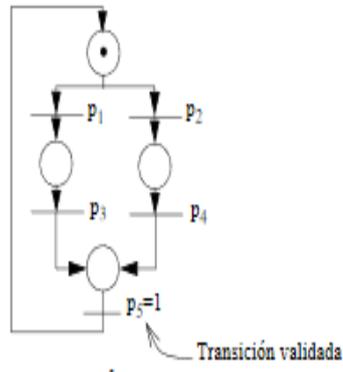


Figura 31 Transición validada de una Red de Petri
Fuente: (Charles, 2009)

2.6.3 Tipos de Nodos en las Redes de Petri.

Las redes de Petri poseen varios tipos de nodos, se los denomina nodo OR a los lugares que tienen varias entradas/salidas.

- i. Nodo OR de Selección. – Es aquel que tiene un arco de entradas, pero varios de salidas.
- ii. Nodo OR de Atribución. – Es aquel que tiene varios arcos de entradas, pero no solo de salida.

También existen nodos AND, se denomina así a la transición que tiene varios arcos de entrada/salida.

- i. Nodo de Distribución. – Es le denomina al nodo AND que tiene un solo arco de entrada
- ii. Nodo de Conjunción. – Es aquel nodo AND que tiene un arco de salida.

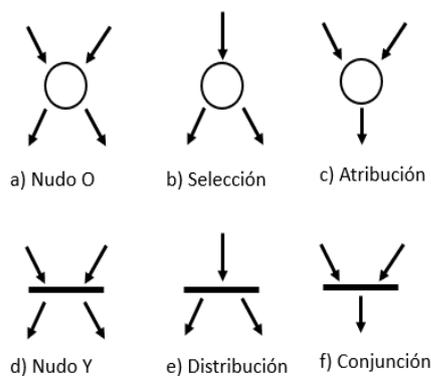


Figura 32 Tipos de Nodos.
Fuente: (García, 2001)

2.6.4 Disparo de una Transición.

Para que una transición logre dispararse es necesario que el lugar o lugares tengan al menos una marca, cuando sucede esto se dice que la transición también ha sido validada. Se debe quitar las marcas de los lugares de entrada y colocarse a los lugares de salida (García, 2001), así como se demuestra en la figura 33.

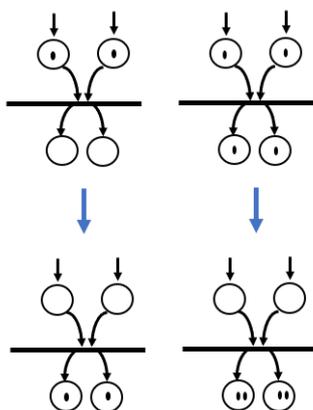


Figura 33 Disparo de transiciones.
Fuente: (García,2001)

2.6.5 Diagrama de Actividades

Un proceso es un conjunto de actividades estructuradas por diferentes actores para lograr alcanzar un objetivo, este conjunto es organizado conforme a una secuencia que se le denomina flujo de trabajo las cuales pueden ser modeladas con diversos métodos como BPMN “Business Process Modeling Notation” y diagramas de Petri que es el método que se utilizara para este trabajo de investigación. El objetivo principal de los diagramas de actividades es la modelación del flujo de trabajo de procesos de jerarquía alta y baja, para describir las acciones requeridas para ejecutar un proceso, en que orden se ejecutan estas acciones, que realizan estas acciones, que recibe que transforma o que produce.

Un diagrama de actividades se construye con un gráfico compuesto por conjunto de 3 nodos, estos son:

- i. Nodo de actividades que representa una acción.
- ii. Nodo de control que se utiliza para controlar el flujo.

iii. Nodo de objetos son los representan datos.

En la figura 34 se puede describir en forma general la estructura de un diagrama de actividades.

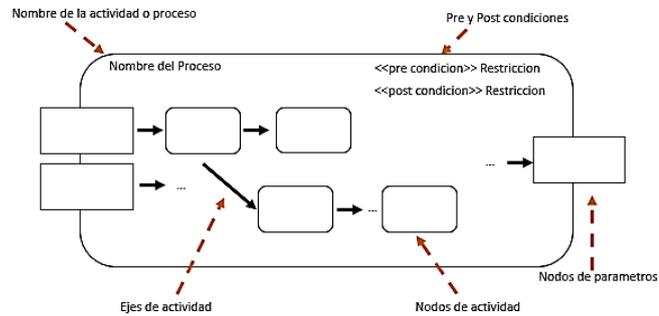


Figura 34 Estructura del Diagrama de Actividades.
Fuente: (Montilva & Barrios, 2004)

En la sección de anexos, se encuentra la tabla 2 donde se especifica la simbología utilizada en los diagramas de actividades.

CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZACIÓN

3.1. Consideraciones iniciales

La automatización en un entorno industrial puede definirse como la sustitución de personas en determinadas tareas de un proceso en mayor o en menor grado, ya sea físico o mental usando equipos adecuados para realizarlo. El objetivo de cualquier empresa que requiera de la automatización es la eficiencia y la productividad. Cualquier proceso automatizado se compone de procesos de desarrollo propio sin la necesidad de control manual, esto brinda a todos una gran ventaja; los procesos de producción no se ven interrumpidos.

Las plantas potabilizadoras de agua no deben ser la excepción puesto que estas deben garantizar el suministro ininterrumpido de agua a la población, por esto es importante su constante funcionamiento. Sin embargo, el control manual de estas no garantiza que esto sea posible. La automatización de las plantas de tratamiento de agua tiene grandes beneficios como lo son la supervisión y el control de los procesos, la seguridad tanto de la instrumentación como del personal operativo y sobre toda la adquisición de todas las variables de control que están involucradas en cada proceso.

Estas plantas cuentan con varios procesos para lograr la potabilización, pero para el desarrollado de esta investigación se propone estudio de los procesos más importantes como la captación, dosificación, filtrado y retro lavado utilizando herramientas de modelo como lo son las redes de Petri y el lenguaje de modelado unificado.

3.1.1. Descripción del sistema.

Las etapas en las que se desea intervenir en este trabajo de investigación, es la etapa de dosificación, filtración y retro lavado, donde se establecerán los parámetros que están involucrados en el proceso, y las especificaciones técnicas de control en cada proceso del tratamiento del agua.

El proceso a analizar es el proceso de dosificación donde el agua es almacenada en un vertedero donde es necesario monitorear parámetros de caudal, pH y turbiedad. Las actividades de control que deben realizarse durante esta fase se centran en el pH y la turbiedad puesto que estos parámetros son importantes para la dosis de productos químicos que eliminan la turbidez y las concentraciones tanto de materia orgánica como microorganismos, tal lo se indica en la figura 35.

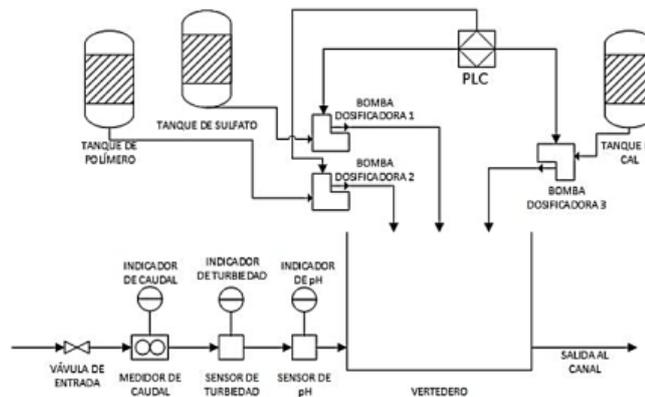


Figura 35 Proceso de Dosificación.
Fuente: (Cabezas, 2019)

Para la etapa de filtración es importante que se controle el ingreso del agua por medio de apertura y/o cierre de válvulas además es necesario colocar sensores de nivel que ayuden a indicar si ha sobre pasado el límite de impurezas y cuando las estructuras necesiten del retro lavado, así como se muestra en la figura 36.

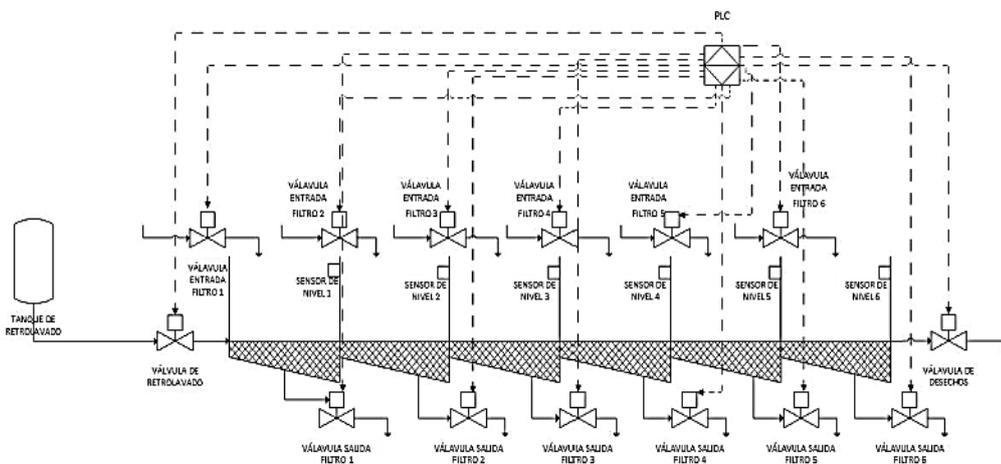


Figura 36 Proceso de filtración y retro lavado.
Fuente: (Cabezas, 2019)

Todos los procesos antes mencionados en conjunto con sus variables tienen que ser monitoreadas y controladas a través de una interfaz HMI, esto permite que los operadores manejen el sistema en manual o automático así ayudando a corregir cualquier error presentado en los procesos de tratamiento.

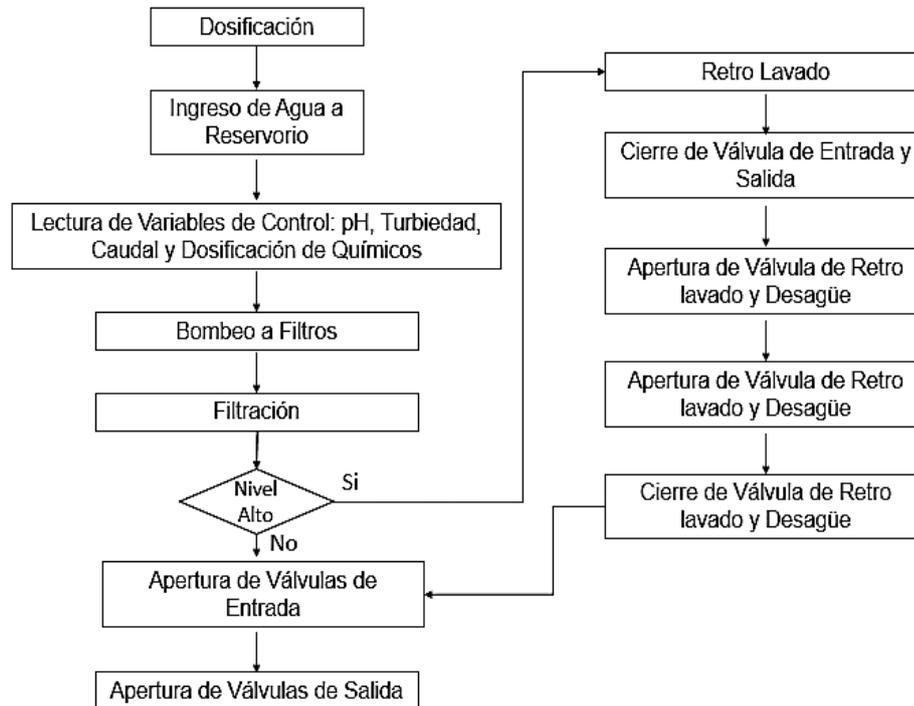


Figura 37 Diagrama de Flujo del Sistema.
Fuente: Autor

3.1.2. Caracterización del sistema

En las características del sistema se describe los aspectos técnicos y funcionales de los equipos necesarios para la automatización de la planta de tratamiento de agua potable. Los requisitos necesarios para instrumentación de campo, puede considerarse como indispensable que toda la instrumentación de campo posea su norma de protección y seguridad es decir sean sumergibles y aptos para intemperie según sea su necesidad, al ser estos los encargados de la toma de medida de cada variable de proceso son importantes que la toma de dato sea de manera ininterrumpida, en la sección de anexos se detalla la instrumentación de campo utilizada en los procesos de dosificación, filtración y retro lavado.

Los equipos de que están involucrados en el sistema deben cumplir con lo siguiente:

- i. Sensor de Caudal: Para la medición de la variable de caudal es necesario contar un sensor en la entrada de cada proceso que cumpla con las especificaciones que se detalla en la tabla 4 ubicada en la sección de anexos.
- ii. Sensor de Turbiedad: Para control la turbiedad del agua a tratar se debe colocar un sensor de turbiedad en la entrada del proceso de dosificación cuyas especificaciones se indican en la tabla 5 ubicada en la sección de anexos.
- iii. Sensor de pH: El sensor de pH servirá para medir la alcalinidad y acidez del agua cruda, así debe ser ubicación en la entrada del proceso de dosificación con las especificaciones que muestra la tabla 6 ubicada en la sección de anexos.
- iv. Boya de Nivel: Los sensores de nivel nos ayudaran a medir en el que se encuentra el reservorio en las diferentes etapas del proceso del tratamiento, el funcionamiento de este es por medio de contacto. Si la boya de nivel se encuentre flotando el contacto se cierra y permite el paso del voltaje suministrado ya sea en corriente alterna o en continua y cuando la boya no se encuentre flotando el contacto permanecerá abierto lo cual no permite el paso del voltaje. En la table 7 ubicada en anexos se describe las especificaciones técnicas de la boya de nivel.
- v. Controlador lógico programable: El PLC tiene que ser compatible con la mayoría de equipos de instrumentación de campo y software de monitorio puesto que será el encargado de adquirir las variables de proceso y a su vez controlarlas. Dentro de las especificaciones técnicas del PLC se encuentran en la tabla 8 ubicada en anexos.
- vi. Actuadores Eléctricos: Estos equipos son necesarios para la apertura/cierre de las compuertas en los procesos de dosificación, filtración y retro lavado, capaz de maniobrar tanto de manera local como remota para la automatización del proceso, las especificaciones técnicas se muestran en la tabla 9 mostrada en anexos.

- vii. Bombas Dosificadoras: En la fase de dosificación, se requiere de bombas dosificadoras que permitirán una medición más precisa de la cantidad de productos químicos necesarios para el agua cruda, y las bombas de se controlarán automáticamente mediante pulsos, operarán a un voltaje universal de 100 a 240 VCA, y tendrán entradas y salidas analógicas de 4-20 mA, las especificaciones técnicas se destacan en la tabla 10 mostrada en anexos.

3.1.3 Funciones del sistema.

A continuación, se detalla las funciones principales que tiene las fases a intervenir:

- i. Función de dosificación: la dosificación cumple con la tarea de estabilizar la cantidad de pH y eliminar los materiales coloidales presentes en el agua, utilizando las variables de control de la turbiedad y pH para el control del cierre y/o aperturas de las bombas dosificadoras. Cabe mencionar que los químicos a utilizar son sulfato de aluminio, cal y polímero.
- ii. Función de filtración, cumple con tarea de eliminar las partículas que estén presentes en el agua con ayuda de filtros. Estos filtros pueden ser de carbón de activo, la cual también es necesario de su retro lavado después de un tiempo de operación.
- iii. Función de retro lavado se emplea para el lavado de los filtros antes mencionado, puesto que estos tienden a acumularse de sedimento y partículas que tiene el agua tratada.

3.2. Arquitectura del sistema de potabilización de agua.

Para los procesos a intervenir se requiere de 2 controladores PLC para el control de las diferentes etapas del tratamiento, entre el controlador y la instrumentación se utiliza señal eléctrica es decir 4-20mA y para el control de bombas y válvulas se requiere de la utilización de comunicación Modbus por la ventaja de trasmisión además de considerar la topología de comunicación que en este caso es Maestro – Esclavo. Siendo los PLC los maestros y los instrumentos de campos los esclavos.

Para la comunicación entre los PLC y los equipos de monitoreo, en cuanto al HMI es buena idea mantener la comunicación modbus por la agilidad en el envío de datos, pero en caso de centralizar toda la información recolectada por los distintos PLC's la comunicación profinet es idónea puesto que esta comunicación nos permite conectar un sin número de PLC's sin restricción en caso de requiere más controladores para más procesos, así como se muestra en la figura 38.

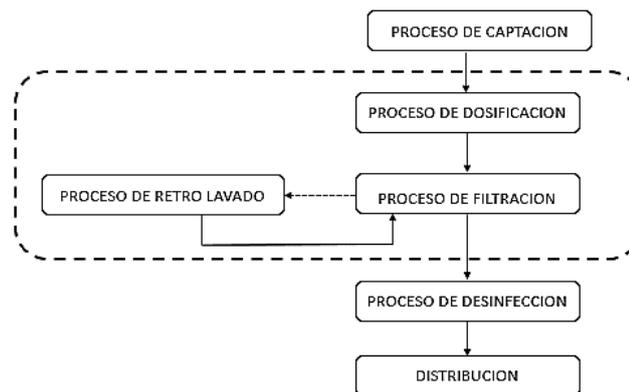


Figura 38 Diagrama de bloques del Sistema.
Fuente: Autor

3.2.1 Arquitectura de control de automatización.

Para la arquitectura de control de automatización se debe considerar una arquitectura descentralizada puesto que existe más de un controlador y todos ellos intercomunicados entre si mediante un bus en común funcionando como si fuera un sistema centralizado en lo cual cada controlador envía información a los actuadores y/o grupos de bombeo dependiendo de lo que los sensores hayan registrado. En la figura 39 puede verse a arquitectura de control propuesta para este trabajo.

Para el sistema de control de una planta de tratamiento de agua potable es importante que todos los controladores estén interconectados además que pueden interpretar todo tipo de señal eléctrica de los sensores y señales digitales que provengan de los actuadores. Además de poder utilizar la instrumentación apropiados para controlar diferentes números de variables, porque pueden manejar múltiples lazos de control al mismo tiempo, los

controladores actualmente tienen interfaces analógicas y digitales que permiten la interacción con componentes externos.

La capacidad de integración entre controladores es importante porque es necesario comunicarse entre las etapas del proceso y mantener el control durante todo el proceso de tratamiento para evitar errores humanos al agregar productos químicos, la apertura o cierra de válvula.

Adicional la capacidad de comunicación con todo tipo de programa de monitoreo sin importar su fabricante.

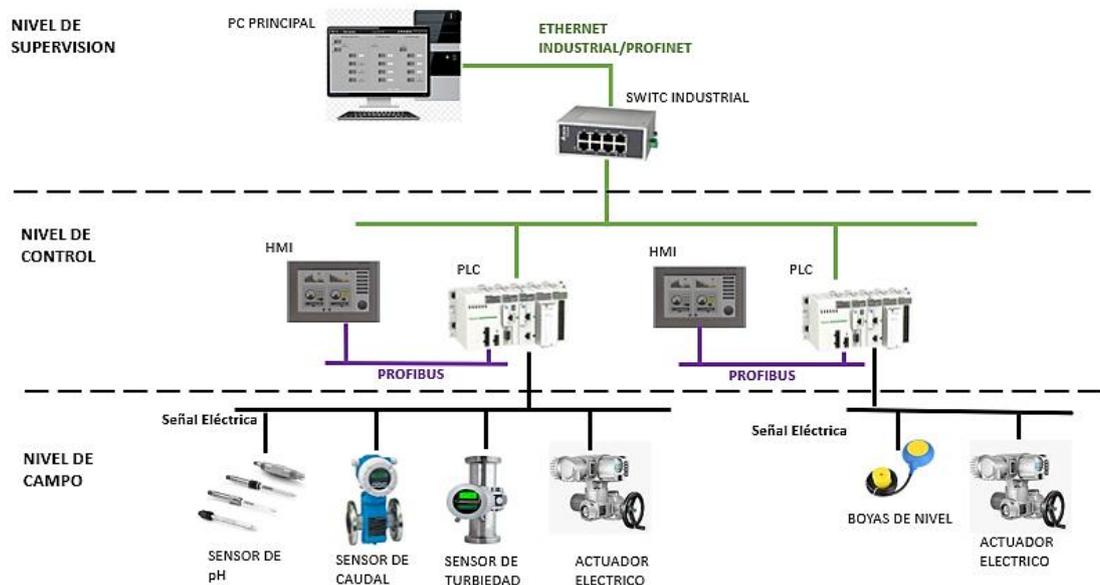


Figura 39 Arquitectura de Control de Automatización.
Fuente: Autor

3.2.2 Arquitectura del sistema SCADA

La realización de un sistema de supervisión tiene como funcionalidad que el operador pueda interactuar con las diferentes etapas del proceso de tratamiento de agua. El operador debe ser capaz de navegar por las distintas pantallas o entorno de manera ágil y fácil lo cual no debe existir confusiones en el control de la planta.

El sistema de supervisión debe cumplir con los requerimientos del sistema además de las capacidades del operador, con el objetivo de que no exista errores en el momento de operación con la máquina. En caso de ocurrir

fallas el sistema debe contar con alarmas e indicadores que demuestre el estado de la planta y de ser necesario reparar defectos que afectan a la producción.

3.2.2.1 Estructura del sistema SCADA

Para los criterios de diseño del sistema SCADA se considera varios parámetros como la simetría y equilibrio que permitan a los operadores visualizar los datos y establecer las diferencias entre ellos. Por lo tanto, se tienen que considerar lo siguiente:

La información que se muestra en la pantalla del SCADA debe tener las dimensiones adecuadas para no confundir al operador.

- i. El uso de botones para cambiar el modo de operación del sistema, botones de regreso, etc. Para así el operador logre realizar una acción el estado de cada proceso debe ser fácilmente identificable
- ii. Las pantallas deben contar con información clara acerca las variables de control y el estado de los equipos de control.
- iii. Las pantallas mostraran un acceso directo del estado de la instrumentación de campo ya sea bombas dosificadoras o actuadores sin necesidad que el operador regrese muchas pantallas atrás para poder obtener dicha información de estado, así la interfaz simplifica la activación de los comandos al operador.
- iv. La instrumentación de campo debe visualizarse en colores intermitentes dependiendo su estado; color verde cuando está operando sin problemas, color rojo cuando su operación está en falla, color azul para el caso de las bombas dosificadores están apagadas, pero en espera de la señal del PLC para su operación, ayudando a proporcionar significado y relevancia al proceso que se desea destacar.

3.2.2.2 Organización en el diseño de pantallas del sistema SCADA.

Se detalla la lógica, función y navegación del diseño para las pantallas del sistema SCADA de los procesos a esta investigación. En la figura 40 se

muestra la arquitectura general del sistema SCADA, y en base a esa organización se explica los siguientes componentes.

- i. Pantalla Principal. – En esta pantalla se debe contar con botones de ingreso de usuario tanto para personal operativo como de mantenimiento, cada usuario con diferente contraseña.
- ii. Pantalla de Vista General. – Esta pantalla permitirá observar el proceso general de la planta e información resumida de los procesos, además de permitir la navegación a las pantallas que continúen los diferentes procesos.
- iii. Pantalla de Dosificación. – La pantalla de dosificación mostrara el estado de operación de las bombas dosificadoras, ya sea en modo manual o automático, como también el monitoreo de las variables del caudal, turbiedad y pH que se encuentran en la entrada de este proceso. Se visualizará la cantidad de dosificación que se dan dando al agua que ingresa a este proceso. Finalmente se debe presentar con colores los estados de los sensores, bombas dosificadoras.
- iv. Pantalla de Filtración y Retro lavado. – Esta pantalla mostrara la activación de los sensores de nivel y la operación de apertura o cierras de todas las válvulas que involucran estos procesos, como también se podrá accionar el modo de control ya sea manual o automático.
- v. Pantalla de Eventos y Alarmas. – En esta pantalla se mostrará cualquier cambio que se realice a los diferentes procesos, ya sea el cambio de modo manual – automático de las bombas dosificadoras, falla de sensores, apertura o cierra de las válvulas, ingreso o salida de usuario, etc.

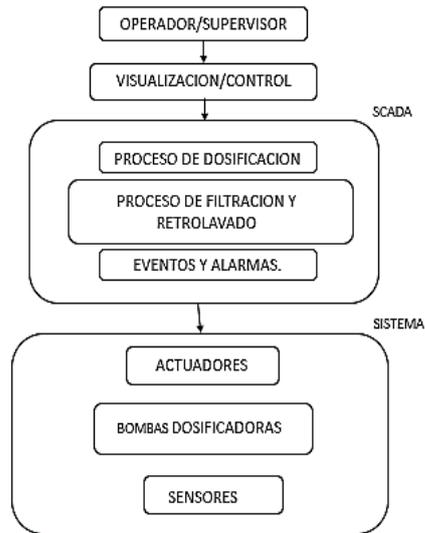


Figura 40 Arquitectura de Sistema SCADA.
Fuente: Autor.

3.2.3. Arquitectura de la red de comunicaciones.

La arquitectura de la red de comunicaciones industrial permite definir los niveles de comunicación que existen en todo el proceso, dado que cada nivel de comunicación dispone de un tipo de comunicación diferente, y es necesario especificar la comunicación o interfaces entre las subredes que se generan en cada nivel, así como las topologías de res en cada nivel, en caso de existir. La arquitectura general de la planta de potabilización de agua se muestra en la figura 42.

A continuación, se detalla los requerimientos de comunicación que el proceso necesita para que cumpla su función puesto que es el encargado de transportar los datos de la instrumentación de campo hacia los controladores y el sistema de supervisión, además de transmitir las acciones de control que el sistema necesita.

- i. Red industrial de comunicación Ethernet.

La tecnología ethernet se basa al estándar desarrollado por AT&T, IBM, Hewlett Packard y demás miembros del comité IEEE 802.3. El éxito de esta comunicación es gracias a la capacidad de adaptabilidad de la red usando el mismo cableado, topología y/o formato de las redes ya instaladas. Al utilizar

tecnología existente reducen significativamente los costos por instalación además de simplificar la estructura de cableado.

Las bases para cableado estructurado fueron desarrolladas por EIA/TIA cuyas siglas en inglés significan “Asociación de Industrias Electrónicas y de Telecomunicaciones” en esta especifican las normas de montaje de esta red.

Actualmente la red es una de las comunicaciones más confiables e ideales para las industrias.

- IEEE 802.3 estandariza las capas físicas y las capas de transporte en la red Ethernet.
- Ethernet TCP/IP es el protocolo de control de transmisión y protocolo de internet.

La velocidad de transmisión de datos de las redes ethernet va desde los 10 Megabit a 1 Gigabit, estas utilizan el cableado UTP ya sea de categoría 5 o 6.

ii. Red industrial de comunicación Profibus.

La comunicación profibus es usada en el nivel de control para la comunicación entre el controlador y el HMI de los procesos a investigar, debido a la rapidez en su comunicación además de la característica que se tiene entre dos equipos ya que funciona como maestro y esclavo o cliente- servidor. Además, este protocolo de comunicación no cuenta con restricción y es un protocolo estándar en las industrias, en la tabla 11 mostrada en anexos se presenta características de este tipo de comunicación.

iii. Señales Eléctricas

Para la lectura de la instrumentación de campo se utiliza señales eléctricas estas generalmente son analógicas de 4-20mA, 0-20Ma, 0-10Vdc. La instrumentación de campo que se considera tanto para el proceso de dosificación, filtración y retro lavado tiene como característica técnica salidas de señal analógica.

En la figura 42 se logra observar la topología que se usa para el sistema, para esto se analizará el nivel de supervisión y el nivel de control.

Para el nivel de supervisión, se utiliza la topología de red tipo estrella puesto que toda la información de los controladores se centraliza en el PC principal donde se encuentra el SCADA y desde esta se puede realizar todos los comandos que los procesos necesiten, además por las ventajas de la topología de red se puede aumentar más controlar en caso de ser necesario sin necesidad de interrumpir todos los procesos.

De igual manera para el nivel de control, se utiliza la topología de red tipo estrella puesto que el controlador centraliza toda la información de la instrumentación de campo para luego ser enviada al sistema de supervisión SCADA.

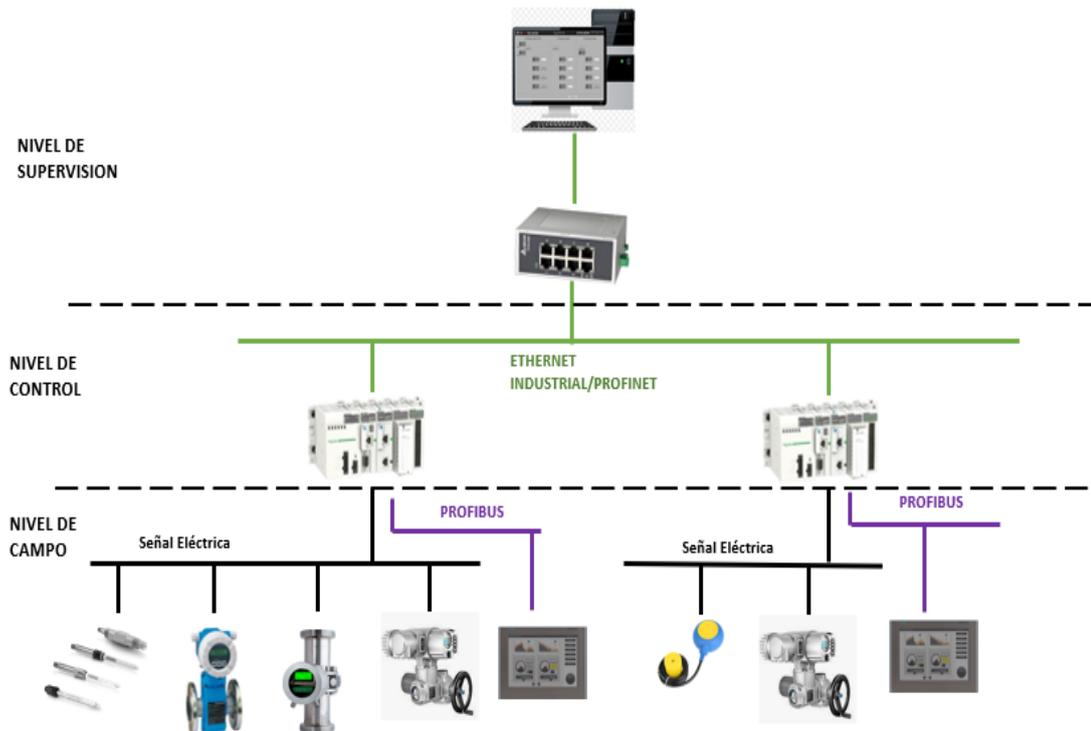


Figura 42 Arquitectura de Comunicación.
Fuente: Autor

3.3. Filosofía de Control del Sistema de Automatización

Para iniciar la lógica de control del sistema que controla el proceso de potabilización de agua, se ha considerado subdividir el sistema en tres subprocesos, lo cual permitirá analizar con más detalle cada una de las partes.

En la figura 38 se muestra los tres subprocessos mencionados, y que se listan a continuación:

- i. Procesos de dosificación.
- ii. Proceso de filtrado.
- iii. Proceso de retro lavado.

A continuación, se detalla la filosofía de control que los autómatas deben controlar en los procesos de investigación:

3.3.1 Proceso de Dosificación

El proceso de dosificación cumple las tareas de estabilizar la concentración de pH y la eliminación de materiales coloidales que están presentes en el agua, para este proceso se analiza de dos modos de operación los cuales son; Modo manual y automático.

Para el modo automático intervienen dos señales de control, los cuales son la señal de pH que es encargado de medir la alcalinidad o acidez del agua cruda y la señal de turbiedad que nos indica el grado de transparencia que tiene el agua a tratar, cabe mencionar que ambos sensores deben ser instalados previa al ingreso de agua al reservorio o tanque de dosificación.

A continuación, se analiza la filosófica de control que se debe seguir ambos modos de operación para la etapa de dosificación.

- i. Modo Automático por Turbiedad. – En el modo automático por turbiedad será el PLC quien controle las cantidades de solución a dosificar según sea el valor de la variable del sensor de turbiedad, el tipo de control para las bombas dosificadoras es de encendido o apagado y esta va relacionado con los valores de mezclado para cada solución química tal como lo indica en la figura 43, cabe mencionar que los datos mencionado en la figura antes mencionada han sido tomados del trabajo realizado de (Cabezas, 2019).

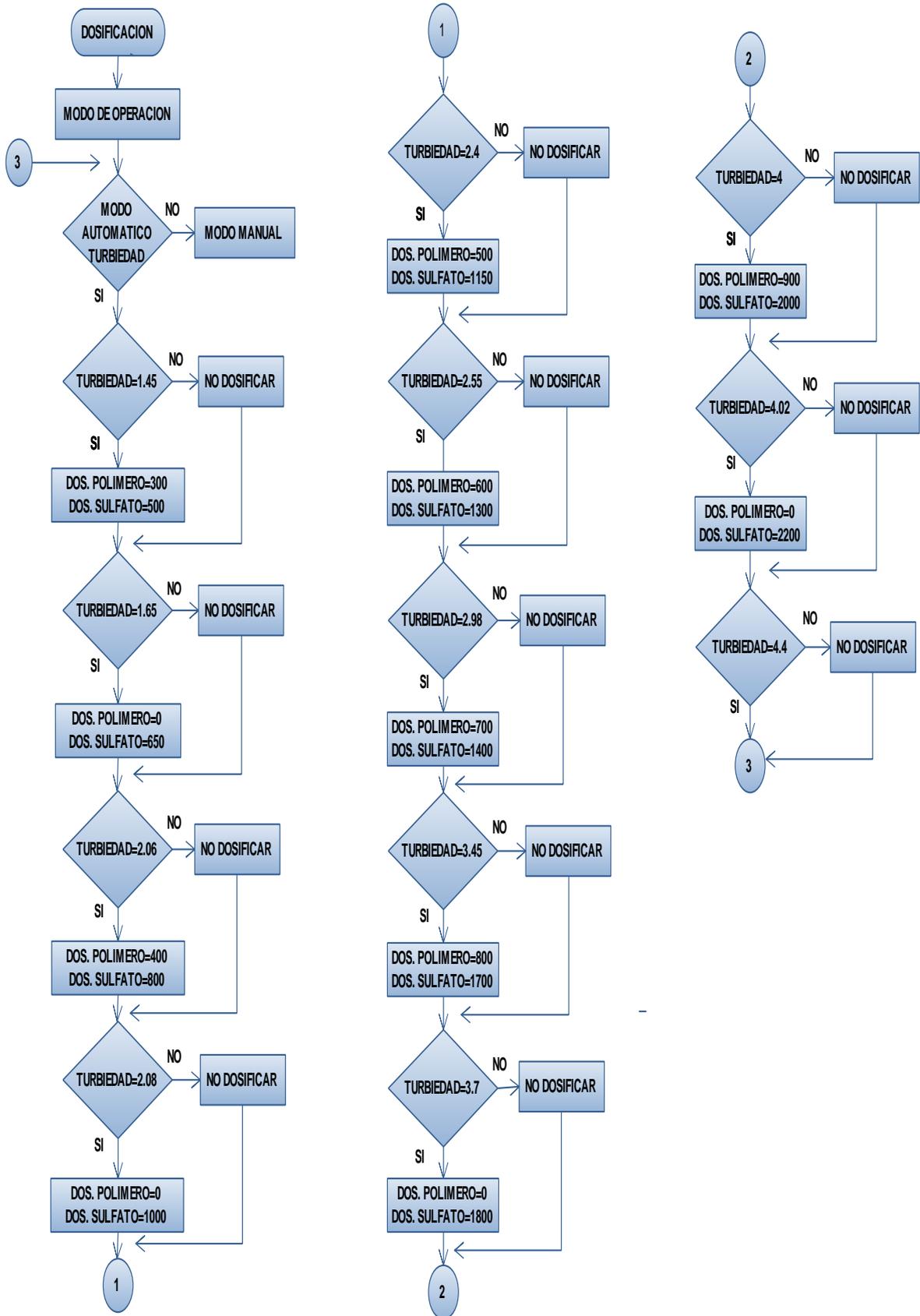


Figura 43 Diagrama de Flujo - Proceso de Dosificación por Turbiedad.
Fuente: Autor.

- ii. Modo Automático por pH: Para el modo de operación automático por pH el controlador debe relacionar el valor de pH del agua con la cantidad de solución a dosificación, así como se lo indica en la figura 43. De igual forma que en la sección anterior, los datos de referencia mostrados en el diagrama de flujo de la figura 44, han sido tomado del trabajo de (Cabezas, 2019).

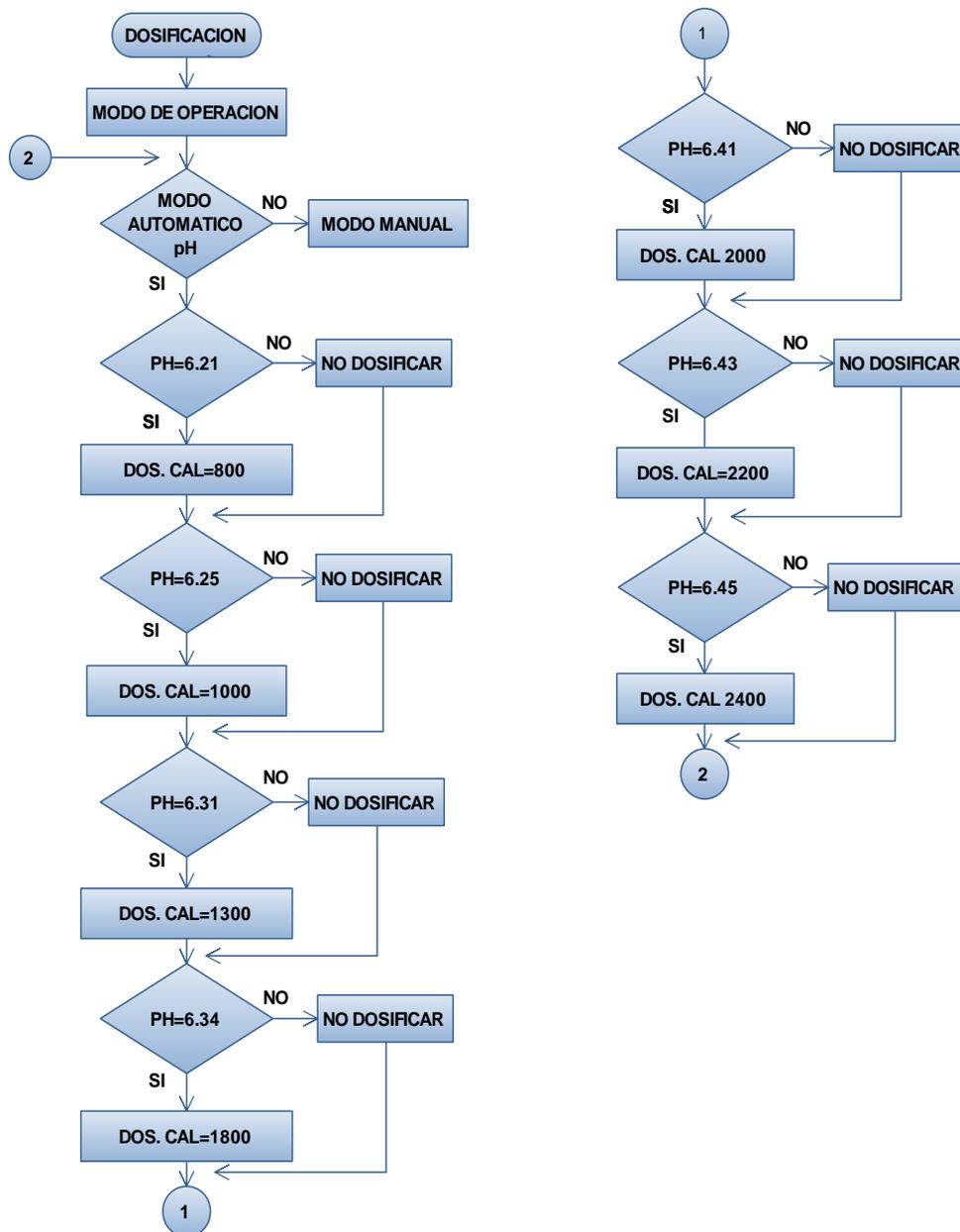


Figura 44 Diagrama de Flujo - Proceso de Dosificación por pH.

Fuente: Autor.

- iii. **Modo Manual.** El modo manual entrara en operación cuando la instrumentación de campo que es involucrada en la etapa de dosificación necesite de mantenimiento, también en caso de existir falla de unos de los equipos de control y necesite la supervisión de cerca del operador. En este modo los operadores manipularán de manera manual la cantidad de solución a dosificar.

3.3.1 Proceso de filtración.

El proceso de filtrado tiene como tarea eliminar partículas sólidas muy pequeñas que no han sido eliminada en las fases anteriores. A partir de este proceso el agua queda con la calidad requerida y solo es necesario la etapa de desinfección de microorganismos para su distribución.

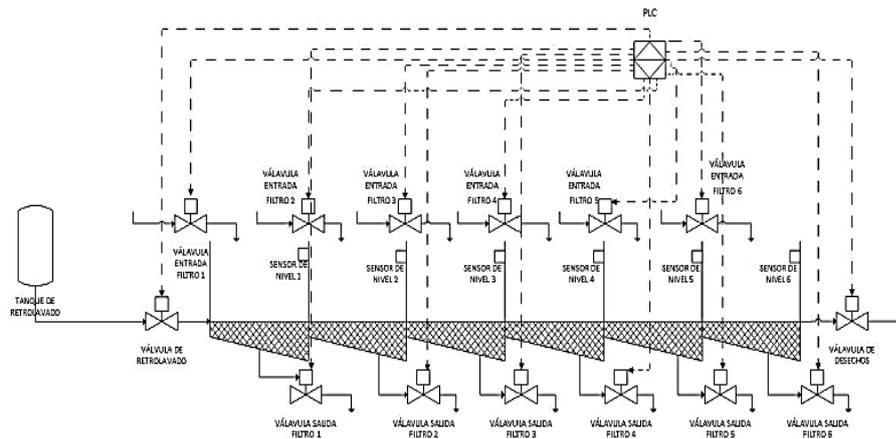


Figura 45 Proceso de Filtración.
Fuente: (Cabezas,2019)

Esta etapa de tratamiento de agua cuenta con dos modos de operación, las cuales son:

- i. **Modo Manual:** La cual entrara en operación en caso de que uno de los filtros presente fallas y requiere atención del operador o cuando el filtro se encuentre en mantenimiento.

El operador deberá operar de manera manual las válvulas de entradas y salidas de cada filtro.

- ii. **Modo Automático.** En la etapa de filtración, previo al ingreso del agua. El sistema debe consultar si los filtros están o no en mantenimiento además de consultar los niveles de agua dentro de los

filtros. En caso de no estarlo, el sistema apertura las electroválvulas de entrada y de salida dando el paso del agua tratada directo a los reservorios principales de la siguiente etapa. En caso de que el sistema detecte que el nivel alto de agua de las piscinas de filtración es activado, el controlador debe considerar que el filtro contiene impurezas y debe ejecutarse de manera automática el proceso de retro lavado.

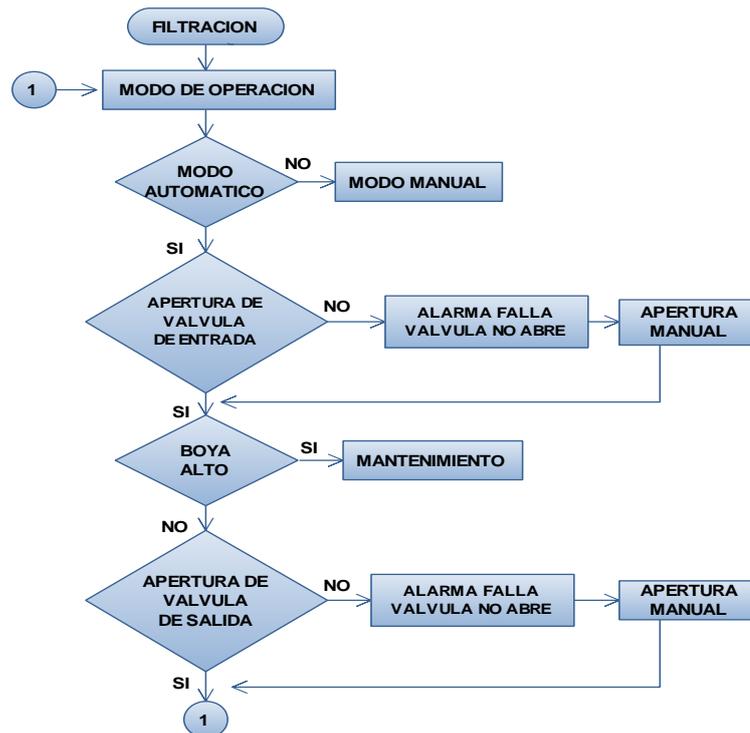


Figura 46 Diagrama de Flujo del Proceso de Filtración.
Fuente: Autor.

3.3.2 Proceso de Retro lavado.

Para el proceso de retro lavado se considera los siguientes modos de operación:

- i. Modo Manual. – En el modo manual entra en operación cuando uno de los filtros este en mantenimiento y sea el operador quien manipule de forma manual la apertura o cierra de las válvulas, o incluso cuando el proceso presenta una falla que requiere la atención del operador.
- ii. Modo Automático. – Para el modo automático se considera lo siguiente: Para el nivel alto se cierra la válvula de entrada de agua de la piscina de filtración y a su vez se apertura la válvula de retro lavado que inyecta ayuda a contra flujo del filtro y abre la válvula de desechos, esta

inyección de agua a contra flujo debe durar por lo menos 5 min, una vez cumplido este tiempo se cierra la válvula de retro lavado y desechos dando por cumplido el proceso de limpieza de filtro, por lo tanto el sistema debe dar apertura a las válvulas de entrada y salida del filtro para que el agua tratada siga su proceso, así como se muestra en la figura 47. El nivel alto-alto se lo considera como seguridad, si este nivel se activa quiere decir que la válvula de entrada de agua tratada no cierra por completa y necesita que el operador acuda a cerrarla manualmente, para así continuar con el proceso de retro lavado.

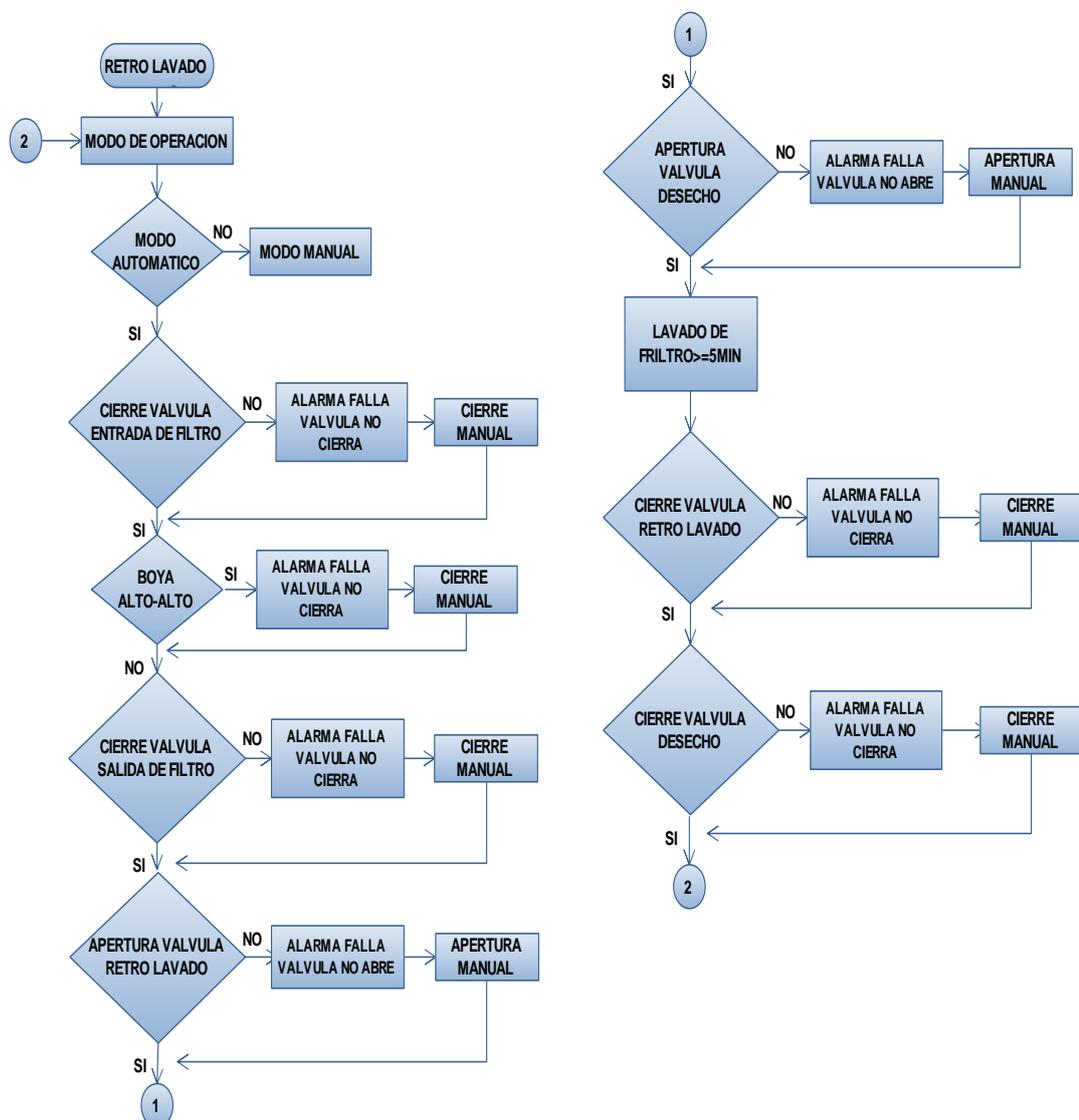


Figura 47 Diagrama de Flujo del Proceso de Retro Lavado.
Fuente: Autor.

3.4. Modelado del sistema de automatización.

Para el modelo del sistema de automatización se requiere de la utilización del Lenguaje de Modelado Unificado, UML. Esta herramienta permite representar cada acción y función del sistema desde el punto de vista del operador hasta el sistema de control final. El modelado de todo el sistema ayuda a comprender mejor el sistema que en su mayor parte son complejos por los procesos y las variables que involucran.

3.4.1. Diagrama de casos de uso.

Para el sistema de automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado se considera todas las funciones principales y secundarias, se analiza los siguientes casos de uso:

- i. Proceso de Dosificación. – En el proceso de dosificación se analiza dos actores principales los cuales son: el operador y el sistema de control. Esta etapa cuenta con dos modos operación: Modo manual lo cual su actor principal es el operador o encargado del sistema y el modo automático lo cual su actor principal es el sistema de control para este caso el PLC.

Las funciones que realiza el operador en este proceso cuentan con modo manual del sistema puesto que dependerá del criterio y/o experiencia del mismo para operar según sea la necesidad y el sistema de control cuenta como modo de operación automático puesto será el controlador quien controle la dosificación de cada una de las soluciones según estén relacionadas las variables de pH y turbiedad, así como se muestra en la 48.

El sistema de control es el que este encargado del procesamiento de variables que están involucradas en esta etapa para así dosificar la cantidad de solución que se requiera ya sea de Cal, Polímero Y Sulfato, además de analizar el estado de las bombas dosificadoras.

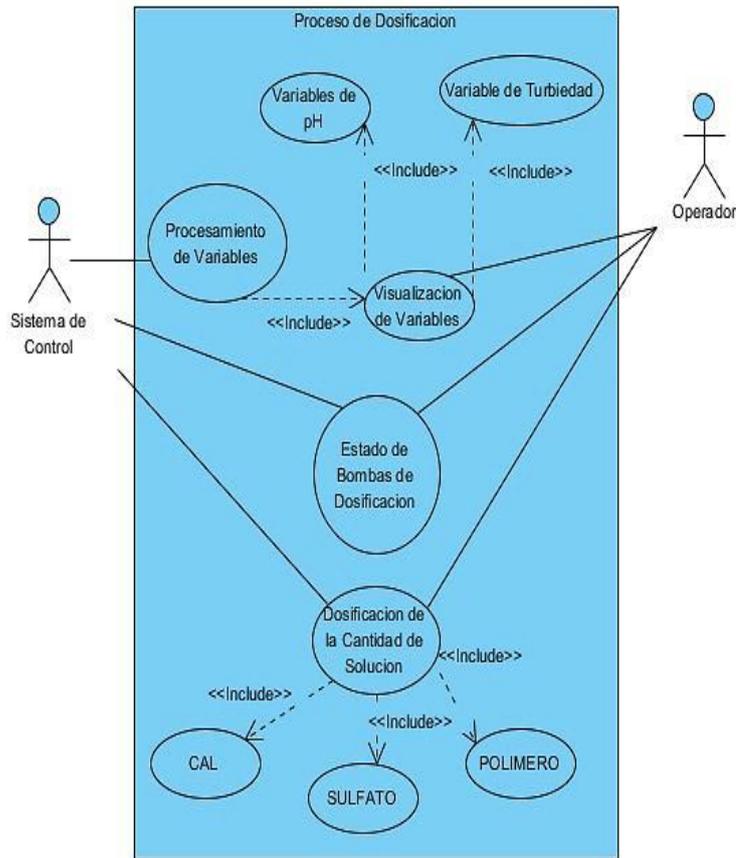


Figura 48 Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Dosificación.
Fuente: Autor.

- ii. Proceso de Filtración. Para el proceso de filtración se tiene de dos modos de operación; modo manual, en el cual su actor principal es el operador y el modo automático donde su actor principal es el sistema de control para lo cual es el controlador.

El operador tiene como función principal operar de manera manual la apertura o cierre de las válvulas de entradas y salidas de cada proceso según sea su criterio de operación ya sea que el filtro entre en mantenimiento o falla del proceso.

El sistema de control cuenta con la función principal de procesar señal de nivel y en base a esta procederá con la apertura de válvula de la válvula de entrada y salida del filtro, así como se muestra en la figura 49.

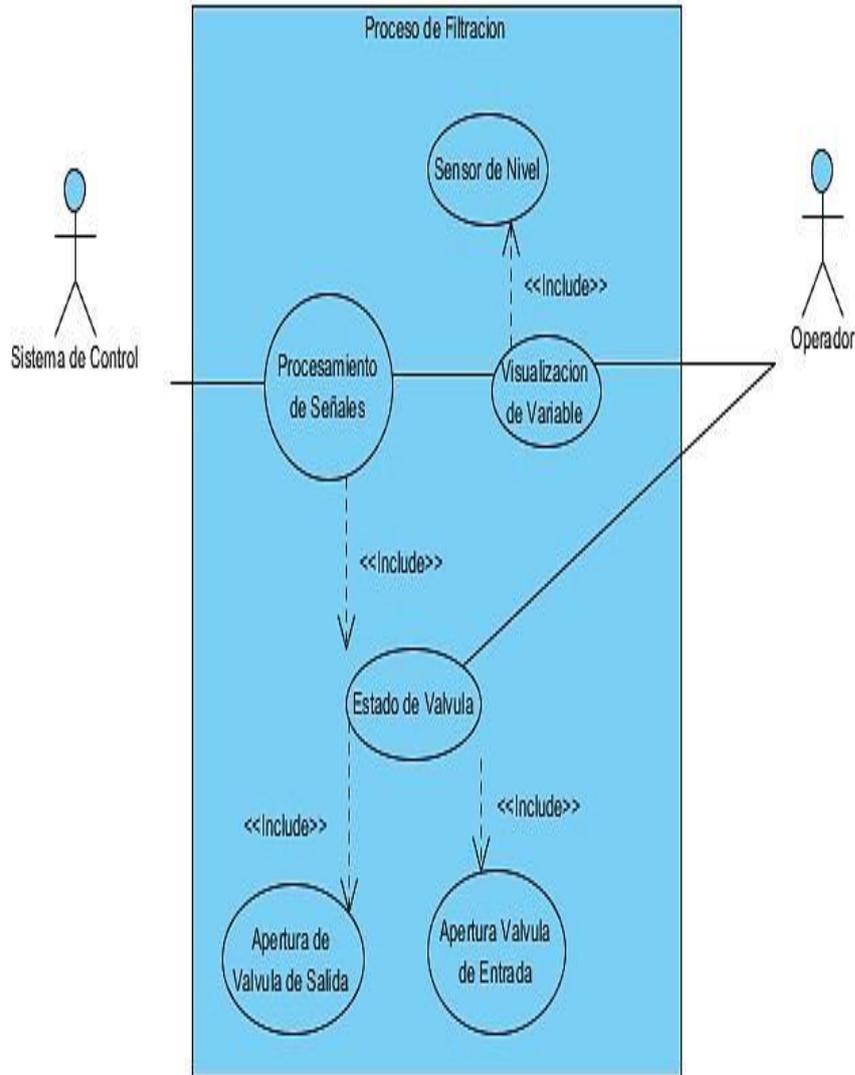


Figura 49 Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Filtración.
Fuente: Autor.

- iii. Proceso de Retro Lavado. De igual manera el proceso de retro lavado cuenta como dos actores principales las cuales están relacionados con su modo de operación, estos son el operador y el sistema de control. El operador o encargado del sistema tiene como función principal operar de forma manual la apertura o cierre de las válvulas de entrada/salida de filtros, válvulas de desagüe y válvula de retro lavado. A diferencia del sistema de control que tiene como función principal el procesamiento de la señal de nivel y a partir de esta señal el sistema

de control realiza la apertura/cierre de las válvulas del filtro, retro lavado y desagüe.

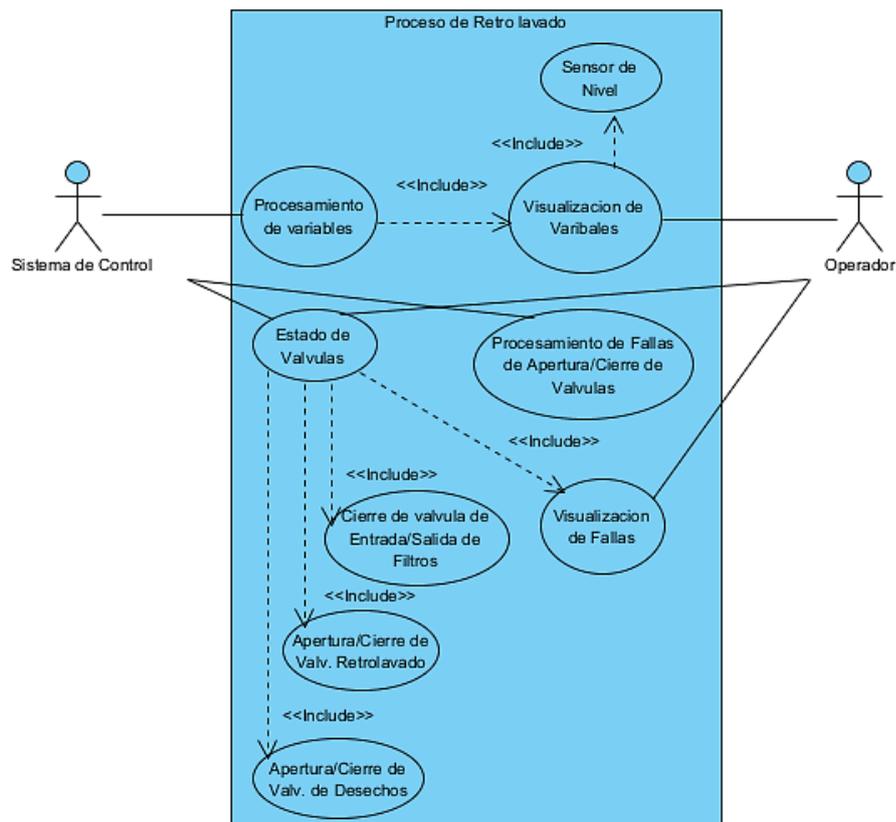


Figura 50 Diagrama de Caso de Uso del Proceso de Retro Lavado.
Fuente: Autor.

3.4.2. Diagramas de secuencia.

El uso de los diagramas de secuencia ayuda a explicar la interacción que se tiene entre los objetos que involucran el sistema y los actores.

- i. Proceso de Dosificación. Como se explica en la sección anterior, el proceso de dosificación cuenta con dos actores principales, el sistema de control y el operador. Para el sistema de control es el encargado de la lectura y el procesamiento de las variables de control, estas son de pH y turbiedad para luego dosificar la cantidad de solución necesaria que el agua necesita, a diferencia del operador que dosifica las cantidades de solución en base a su experiencia y/o necesidad del proceso en esto la operación de la dosificación es de manera manual, así como lo indica la figura 51.

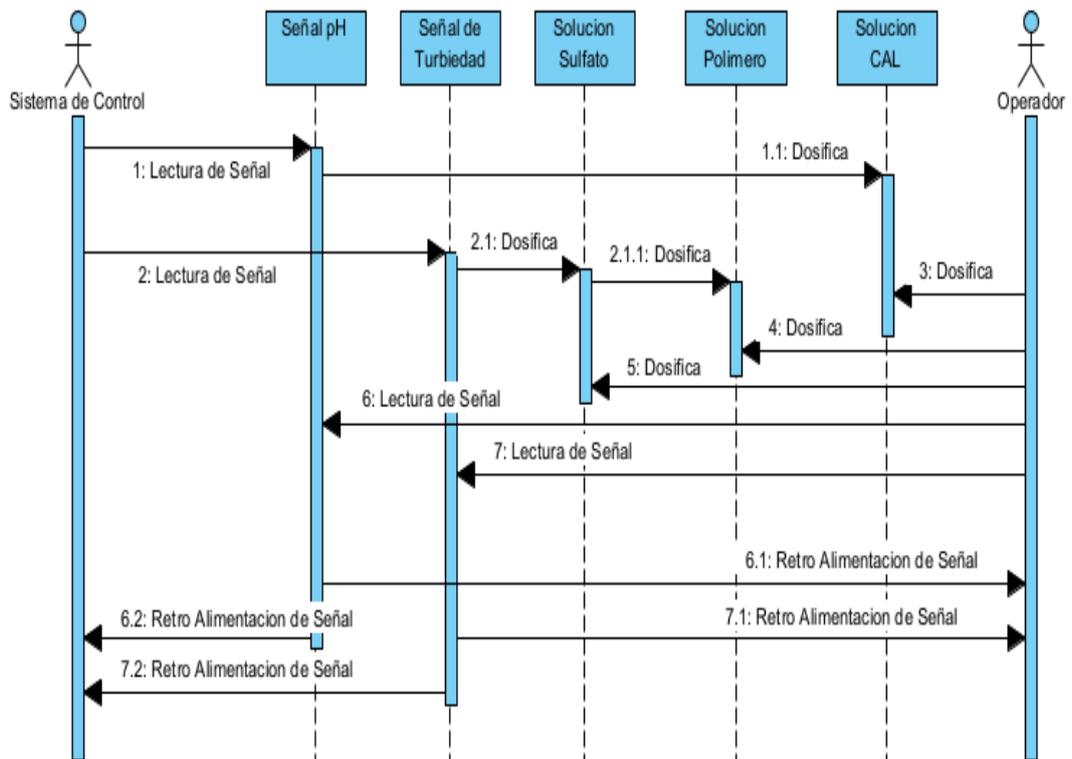


Figura 51 Diagrama de Secuencia del Proceso de Dosificación.
Fuente: Autor.

- ii. Proceso de Filtración. Para el proceso de filtración, el sistema de control es el encargado del procesamiento de la variable del sensor de nivel, una vez verificado el sensor de nivel el sistema de control se encarga de la apertura de la válvula de entrada y salida del filtro, la señal de nivel está en constante verificación puesto que depende a esta señal, que el sistema de control proceda con la apertura de la válvula de entrada y salida.

El operador apertura las válvulas de entradas y salidas de cada filtro dependiendo su criterio o en caso de que el filtro se encuentre en mantenimiento sin tomar en cuenta la variable de nivel, así como se muestra en la figura 52.

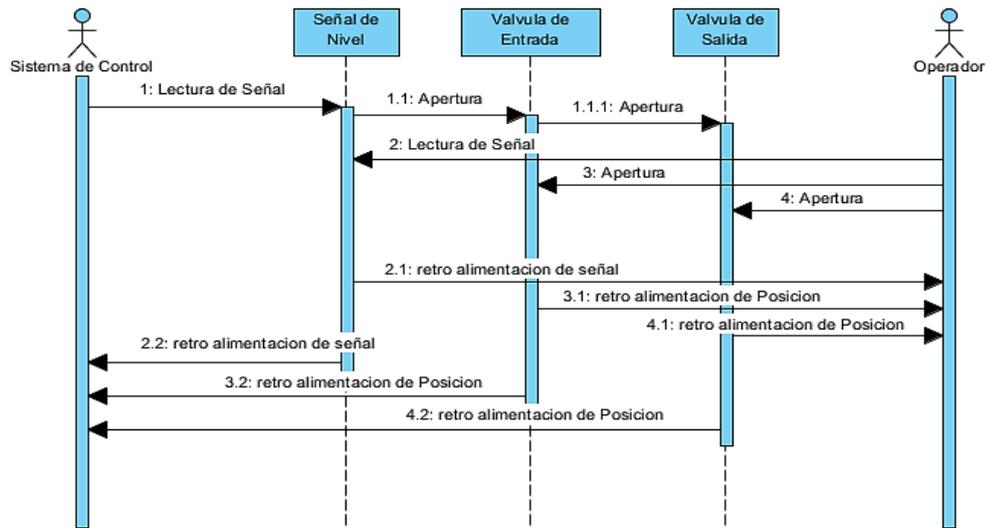


Figura 52 Diagrama de Secuencia del Proceso de Filtración.
Fuente: Autor.

iii. Proceso de Retro lavado.

Para el proceso de retro lavado intervienen dos actores principales, el sistema de control y el operador.

El sistema de control es el encargado del cierre de la válvula de entrada y salida del filtro a intervenir, la apertura/cierre de la válvula de retro lavado y desecho. El actor “operador” manipula de forma manual la apertura y cierre de las válvulas que intervienen este proceso, así como lo indica la figura 53.

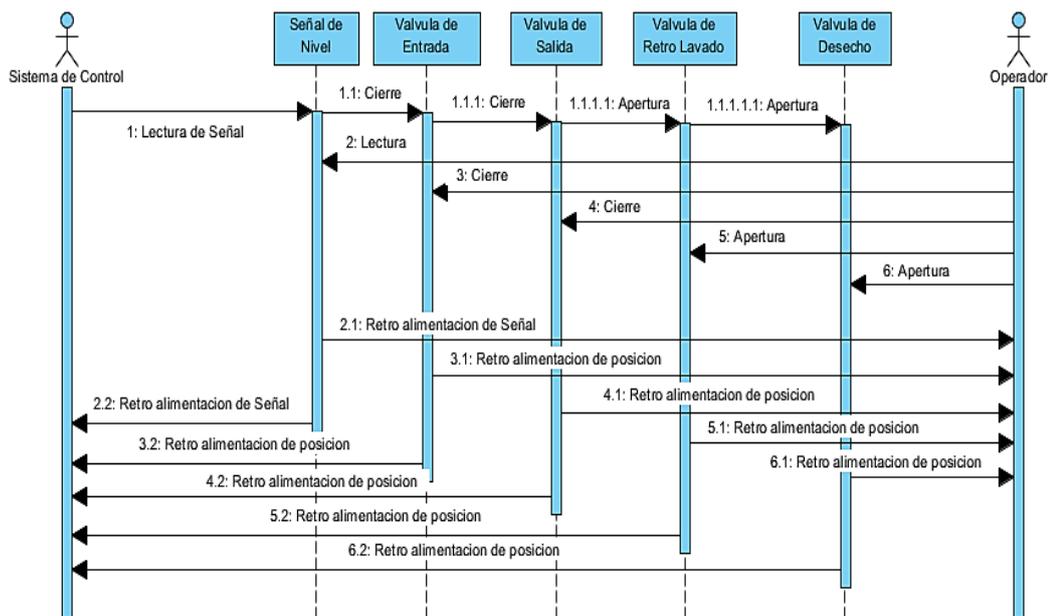


Figura 53 Diagrama de Secuencia del Proceso de Retro Lavado.
Fuente: Autor.

3.4.3. Diagramas de estado.

Los diagramas de estado ayudan a tener una mayor visión acerca de los pasos que se ejecutan en el proceso que se va a analizar, se puede identificar por donde está transitando una función u objeto en el sistema. Generalmente estos cuentan con estados y transiciones.

A continuación, se detalla los diagramas de estados de los procesos a investigar.

- i. Proceso de Dosificación. Para el proceso de dosificación se analiza las funciones principales que es la de dosificar soluciones dependiendo la variable de control, ya sea de pH o turbiedad.

Cuando el sistema es iniciado, el sistema debe realizar la lectura de las variables de control para luego proceder con la dosificación de la solución, este proceso se realiza en un lazo de control cerrado donde está constantemente leyendo las variables para realiza de manera seguida la dosificación, así como indica la figura 54.

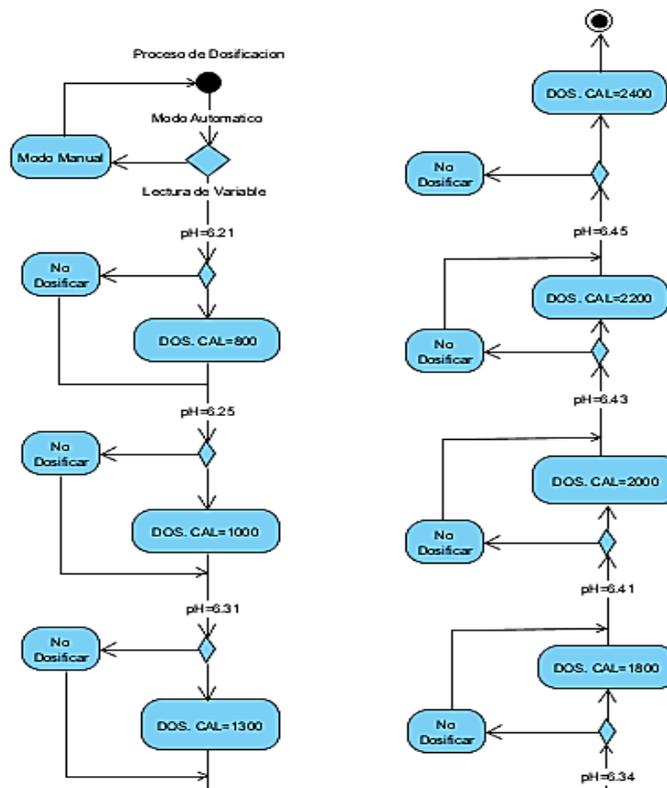


Figura 54 Diagrama de Estado – Proceso de Dosificación.
Fuente: Autor.

Como se explica anteriormente, una vez el modo automático es iniciado el sistema es el cargador de leer las variables de control, para este proceso la segunda variable de control es la señal de turbiedad. Una vez el sistema es procese esta señal se encarga de dosificar las cantidades de soluciones que sean necesarias. La petición de lectura de esta variable es de manera continua, así como se muestra en la figura 55.

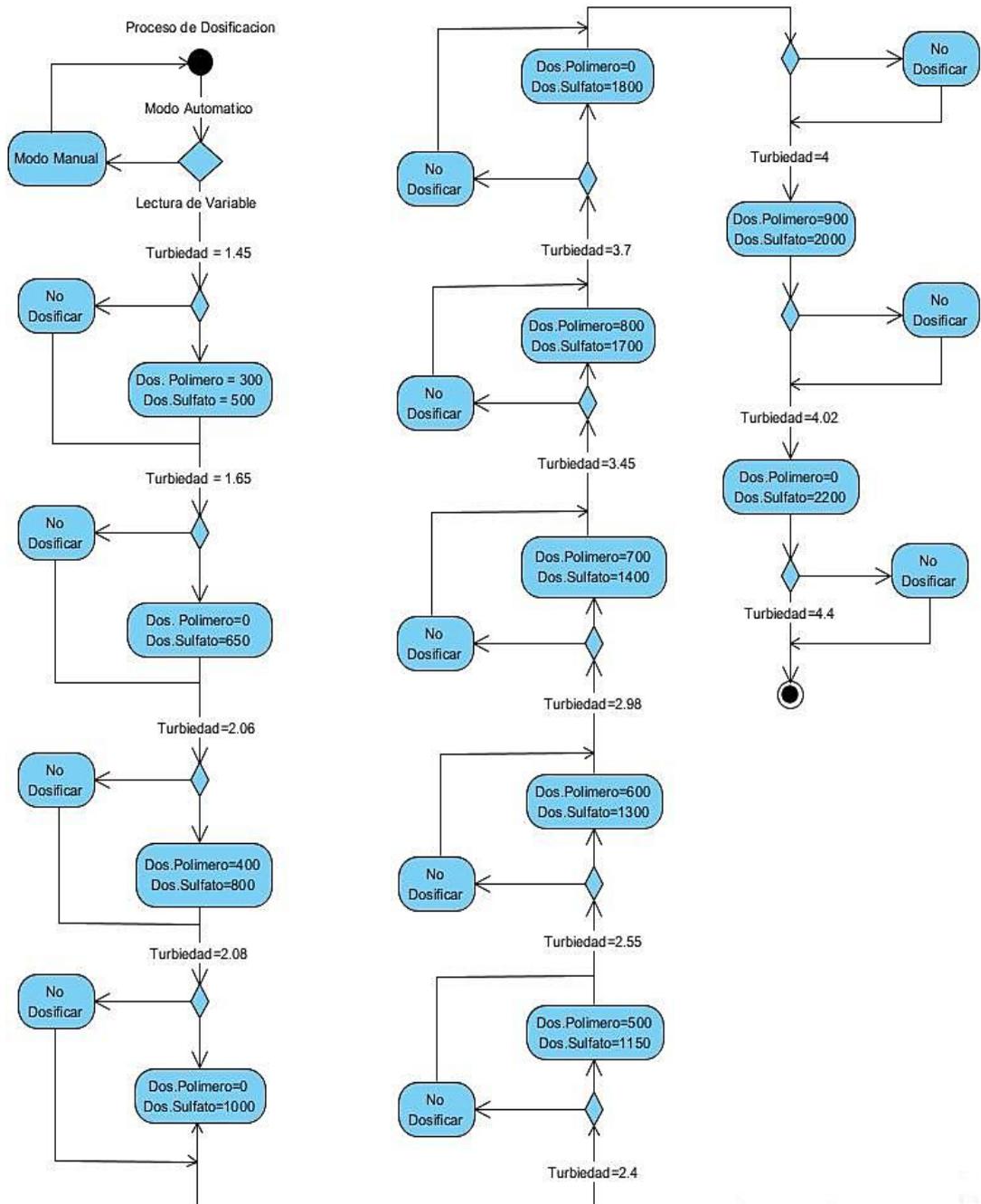


Figura 55 Diagrama de Estado – Proceso de Dosificación.
Fuente: Autor.

- ii. Proceso de Filtración. La figura 56 muestra el diagrama de estado del proceso de filtración en donde muestra un lazo de control cerrado puesto que el sistema de control constantemente lee la señal de nivel y dependiendo su activación el proceso pasa a mantenimiento dando por finalizado el proceso de filtrado o sigue el proceso abriendo las válvulas de entrada y salida del filtro.

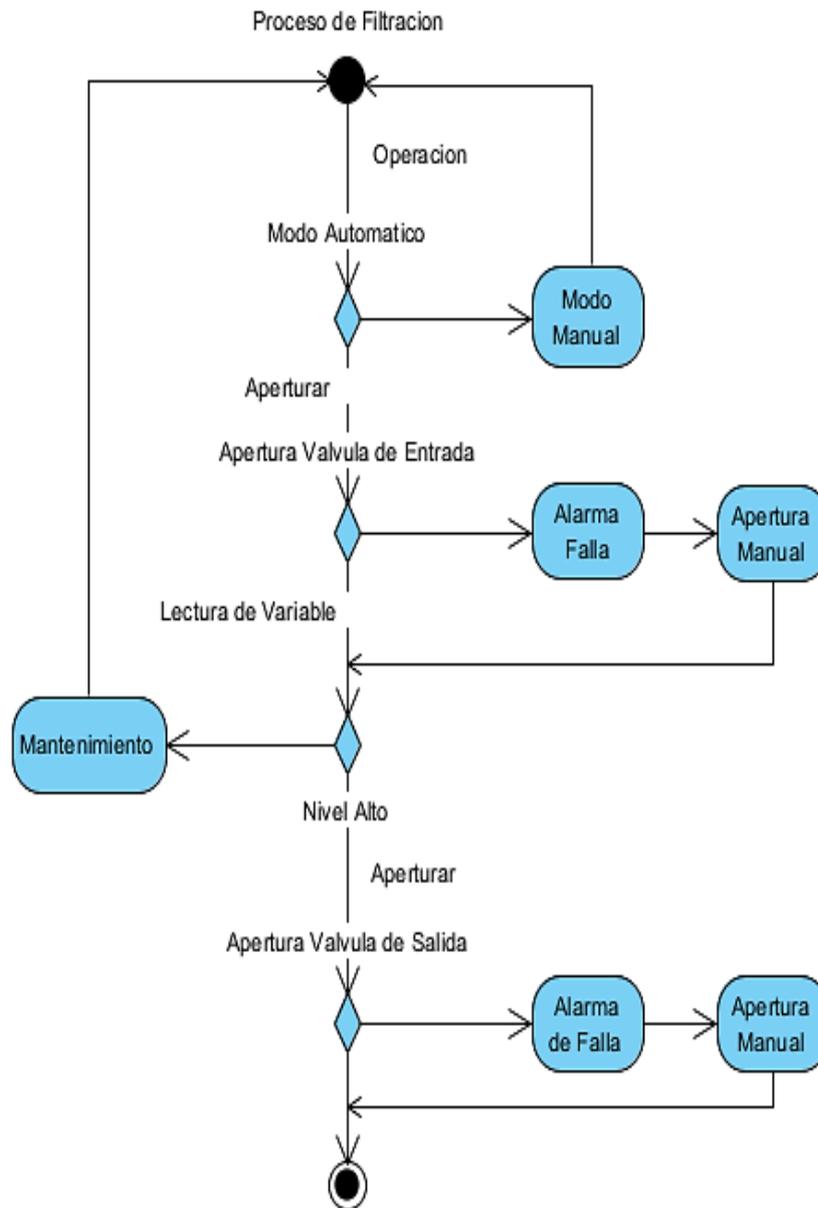


Figura 56 Diagrama de Estado – Proceso de Filtración.
Fuente: Autor.

3.5 Modelado en redes de Petri.

Las redes Petri ayudan a la visualización del funcionamiento de un sistema ya que implementan redes y cumplen las condiciones que el sistema necesita. Para este trabajo de investigación se modela el proceso de dosificación, filtración y retro lavado junto con los modos de operación y las condiciones que cada proceso requiere.

3.5.1 Red de Petri – Proceso de Dosificación.

En la red de Petri de la figura 58 muestra el proceso de dosificación con los actores principales de este proceso, los cuales son el modo manual y el modo automático. En el modo automático intervienen dos variables de control las cuales son la variable de turbiedad y pH, en este modo el controlador relaciona estas variables con la cantidad de solución a dosificar.

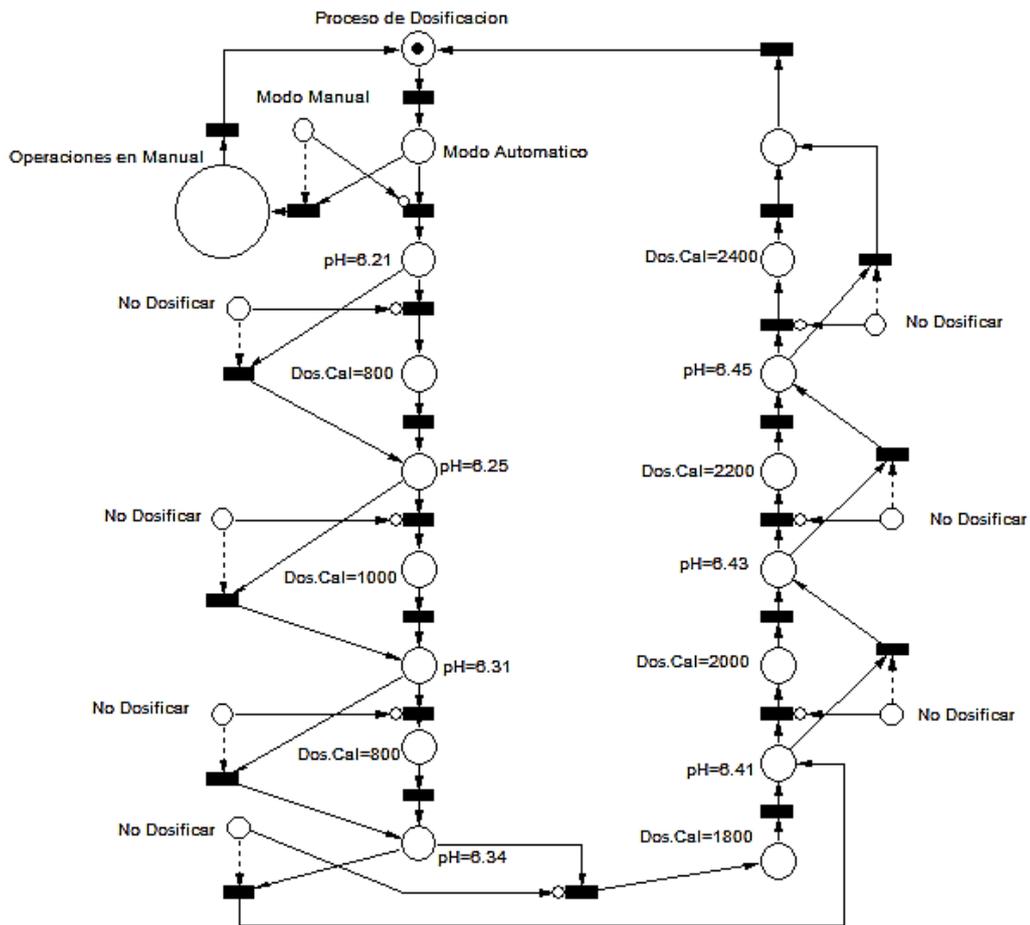


Figura 58 Red de Petri - Proceso de Dosificación por Señal de pH
Fuente: Autor.

En la figura 59 se muestra la red de Petri del proceso de dosificación, con respecto al modo de operación automático utilizando la variable de turbiedad y la relación que se tiene con la dosificación de la solución del polímero y del sulfato. Además, se considera las condiciones que tiene el proceso mediante arcos que inhiben los accesos a dosificación dependiendo la condición que se presente.

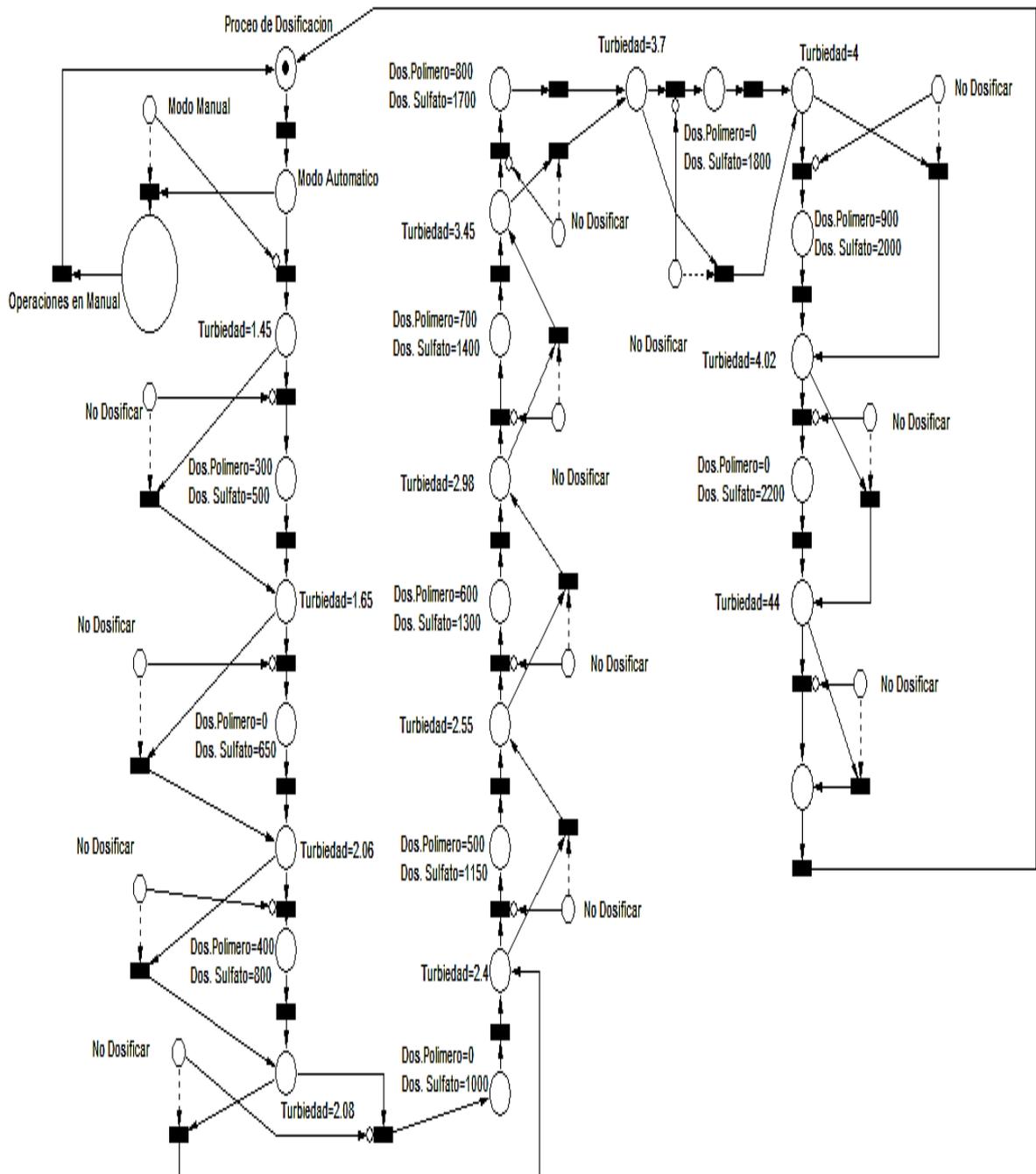


Figura 59 Red de Petri - Proceso de Dosificación por señal de Turbiedad
Fuente: Autor.

3.5.2 Red de Petri – Proceso de Filtración.

En la figura 60 se muestra la red de Petri del proceso de filtración donde se indica los modos de operación que este proceso indica. Se tiene como primera transición un selector de operación donde el operador ordena al PLC qué modo debe activarse, modo manual o modo automático.

En el modo manual como se es indicado anteriormente el operador es quien maneja la apertura o cierre de las válvulas según sean la necesidad por tal motivo este modo de operación no sigue la lógica de control que corresponde. En el modo automático el controlador debe apertura la válvula de entrada y salida del filtro, así como se muestra en la red de Petri en caso de que el nivel del filtro sea activado el controlador debe generar alarma de mantenimiento y a su vez dando por culminado el proceso.

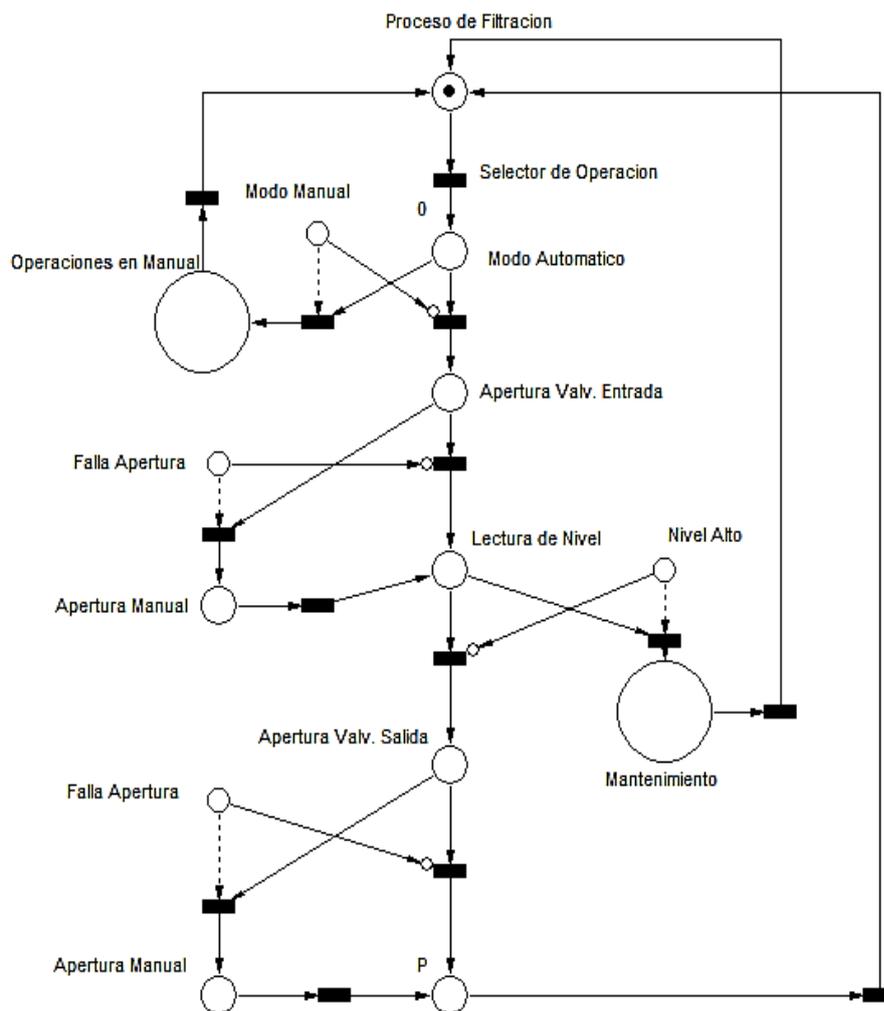


Figura 60 Red de Petri - Proceso de Filtración.

Fuente: Autor.

3.5.3 Red de Petri – Proceso de Retro Lavado.

En la figura 61 se demuestra la lógica de control del proceso de retro lavado mediante una red de Petri y se toma en cuenta con todas las condiciones que este sistema requiere además de los modos de operación que están involucrados en este proceso. Las condiciones y las restricciones se las demuestra mediante arcos que inhiben el flujo del proceso.

En modo automático el actor principal es el principal del sistema y es quien se encarga de la apertura y cierre de las válvulas, así como lo muestra la red de Petri en la figura 60.

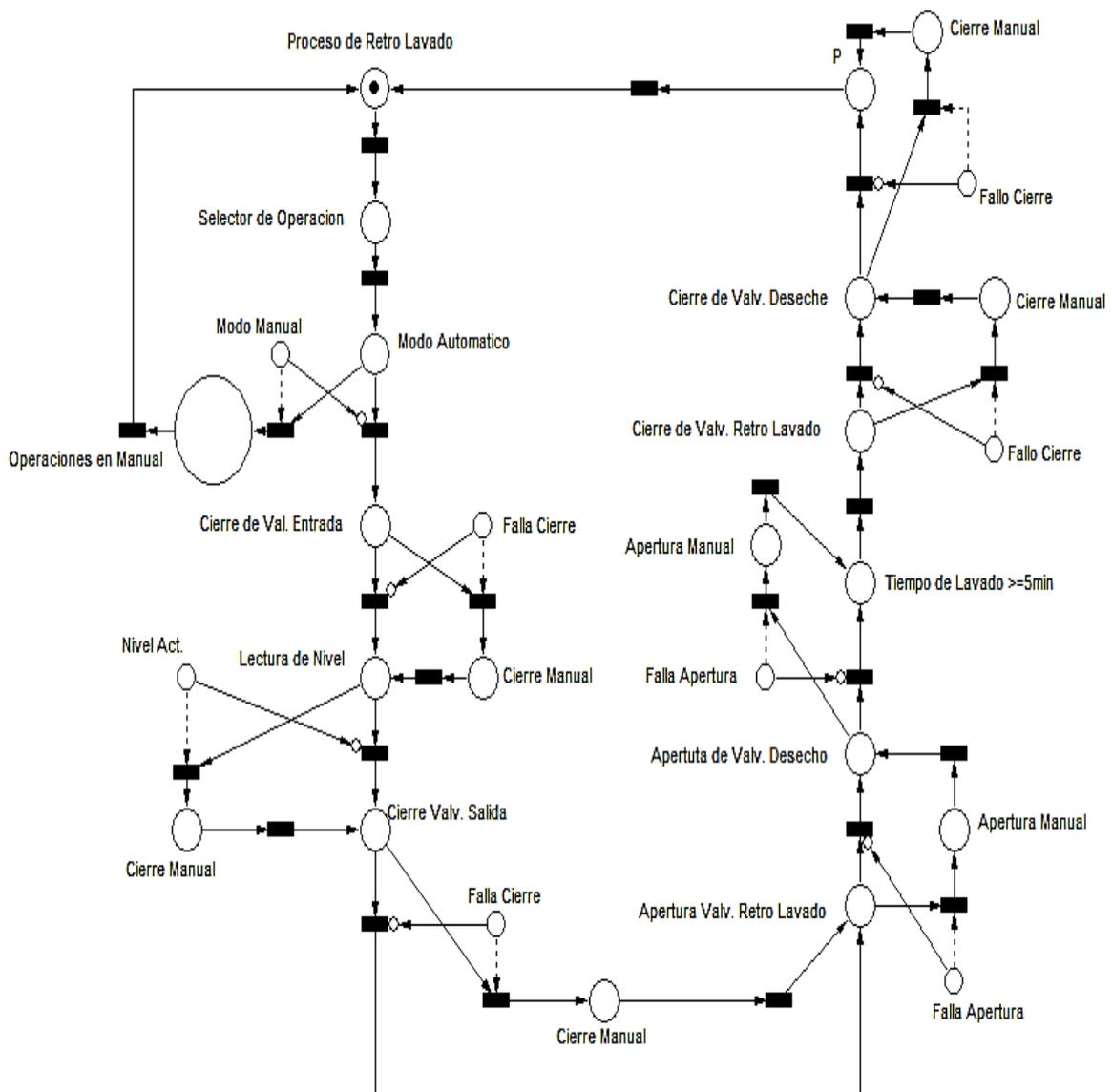


Figura 61 Red de Petri - Proceso de Retro Lavado.
Fuente: Autor.

3.6 Análisis de resultados.

Se analiza con el software PIPE los resultados obtenidos a partir de la simulación de las redes de Petri de cada proceso propuesto.

3.6.1 Análisis de resultado del proceso de Dosificación.

Para el análisis de la red de Petri del proceso de dosificación se consideran los siguientes parámetros.

i) Incidencia y Marcado

En la figura 62 muestra el marcado y la habilitación de las transiciones al inicio del proceso de dosificación por la señal de pH donde solo P0 tiene un token y T0 están habilitadas. Esto muestra que ninguno de los lugares habrá más de un token, por lo que red es binaria.

		Marking																									
		DOS	DOSI	P0	P1	P10	P11	P12	P15	P19	P21	P23	P24	P25	P26	P5	P6	P7	P8	P9	PH=6.21	PH=6.25	PH=6.31	PH=6.34	PH=6.41	PH=6.43	PH=6.45
Initial		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions																									
		T0	T1	T10	T11	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 62 Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Dosificación por pH.
Fuente: Autor.

La tabla de la figura 63 se muestra el marcado del proceso de dosificación por la variable de control de turbiedad donde solo P0 cuenta con token y solo el T0 están habilitadas, esto se debe por el inicio del proceso.

		Marking																																												
		P50	P51	MA	MM	P0	P10	P11	P12	P15	P19	P21	P23	P25	P26	P27	P29	P31	P32	P34	P35	P36	P37	P38	P39	P5	P7	P8	P9	T=1.45	T=1.65	T=2.06	T=2.08	T=2.4	T=2.55	T=2.98	T=3.45	T=3.7	T=4	T=4.02	T=4.4					
Initial		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Current		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions																																												
		T0	T1	T10	T11	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T3	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T4	T40	T5	T6	T7	T8	T9					
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 63 Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Dosificación por Turbiedad.
Fuente: Autor.

ii) Análisis de invariantes.

Para el análisis de invariantes se toma en cuenta la ecuación del modelado matemático obtenido para la dosificación por pH. La ecuación muestra que es una red binaria esto quiere decir que se garantiza que en ninguna parte del proceso se obtendrá más de dos tokens por lugar, si esto llegase a suceder se incumpliría la propiedad de limitación obteniendo una red poco segura.

$$\begin{aligned} \mathbf{EC} = & M(\text{DOS}) + M(\text{DOSI}) + M(\text{P0}) + M(\text{P1}) + M(\text{P15}) + M(\text{P19}) + M(\text{P21}) + M(\text{P23}) \\ & + M(\text{P24}) + M(\text{P5}) + M(\text{P7}) + M(\text{PH}=6.21) + M(\text{PH}=6.25) + M(\text{PH}=6.31) + \\ & M(\text{PH}=6.34) + M(\text{PH}=6.41) + M(\text{PH}=6.43) + M(\text{PH}=6.45) = 1 \end{aligned}$$

De igual manera se analiza que la ecuación obtenida a partir de la red de Petri de la dosificación por turbiedad teniendo como resultado igual a uno es decir una red binaria, esto lo convierte en un proceso seguro.

$$\begin{aligned} \mathbf{EC} = & M(\text{P50}) + M(\text{P51}) + M(\text{MA}) + M(\text{P0}) + M(\text{P15}) + M(\text{P19}) + M(\text{P21}) + M(\text{P23}) \\ & + M(\text{P27}) + M(\text{P29}) + M(\text{P31}) + M(\text{P32}) + M(\text{P39}) + M(\text{P5}) + M(\text{P7}) + M(\text{T}=1.45) \\ & + M(\text{T}=1.65) + M(\text{T}=2.06) + M(\text{T}=2.08) + M(\text{T}=2.4) + M(\text{T}=2.55) + M(\text{T}=2.98) + \\ & M(\text{T}=3.45) + M(\text{T}=3.7) + M(\text{T}=4) + M(\text{T}=4.02) + M(\text{T}=4.4) = 1 \end{aligned}$$

iii) Análisis del espacio de estados

Para el análisis del espacio de estado se analiza las propiedades de limitación, seguridad y puntos puertos, la figura 64 muestra el resultado obtenido tanto para la red de Petri del proceso de dosificación por pH y turbiedad, se puede interpretar que el modelado propuesto cumple con la propiedad de limitación (Bounded) puesto que da como resultado verdadero, esto quiere decir que por cada lugar solo existirá un solo token, además de cumplir con la propiedad de alcanzabilidad (Safe) convirtiendo una red segura puesto que confirma que todos los lugares serán alcanzados por un token y no quedara ningún lugar vacío o en blanco, finalmente cumple con la propiedad de ser una red viva (Deadlock) ya que da como resultado falso esto se lo interpreta a

que no abra puntos muertos en la red, es decir en ningún momento el proceso quedara estancado por alguna condición que presente el sistema.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 64 Análisis de espacio de estados - Proceso de Dosificación.
Fuente: Autor.

3.6.2 Análisis de resultado del proceso de Filtración.

i) Incidencia y Marcado

El marcado y la habilitación de las transiciones al inicio del proceso de filtración se muestra en la figura 65 donde solo P0 tiene un token y T0 están habilitadas, esto muestra que ninguno de los lugares habrá más de un token.

		Marking													
		P11	P10	P2	P4	P12	P9	P3	P8	P13	P1	P6	P5	P7	P0
Initial		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
Current		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

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

Figura 65 Marcado y Transición Habilitada - Proceso de Filtración.
Fuente: Autor.

ii) Análisis de invariantes.

Para el análisis de invariantes se toma en cuenta la ecuación del modelado matemático obtenido para el proceso de filtración. La ecuación muestra que el modelado propuesto es una red binaria al tener como resultado final uno, esto garantiza que no se tendrá más de un token por lugar convirtiendo al modelado en una red segura.

$$EC = M(P11) + M(P10) + M(P2) + M(P4) + M(P3) + M(P8) + M(P1) + M(P5) + M(P7) + M(P0) = 1$$

iii) Análisis del espacio de estados

Este análisis muestra que la red cumple con la propiedad de limitación (Bounded), con la propiedad de ser una red viva (Deadlock) y propiedad de alcanzabilidad (Safe) puesto que cada lugar tendrá un solo token, no hay puntos muertos volviendo al modelado una red segura, así como se comprueba en la figura 66.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 66 Análisis del espacio de estados.

Fuente: Autor.

3.6.3 Análisis de resultado del proceso de Retro Lavado.

i) Incidencia y Marcado.

En la figura 67 se muestra el marcado y la habilitación de las transiciones al inicio del proceso de retro lavado donde solo P0 tiene un token y T0 están habilitadas, esto muestra que ninguno de los lugares habrá más de un token cuando el proceso sea inicializado.

		Marking																									
		P34	P0	P1	P11	P12	P13	P15	P16	P17	P18	P2	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P26	P27	P33	P4	P5	P6	P7	P9
Initial		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

		Enabled transitions																									
		T0	T1	T10	T12	T13	T14	T15	T17	T18	T19	T2	T23	T24	T25	T26	T27	T28	T29	T3	T30	T31	T32	T33	T4	T6	T8
		yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Figura 67 Incidencia y Marcado - Proceso de Retro Lavado.

Fuente. Autor.

ii) Análisis de invariantes.

Para el análisis de invariantes se analiza la ecuación obtenida del modelado propuesta y da como resultado ser una red binaria, es decir

que en ninguna parte del proceso se va a obtener más de un token por lugar, esto convierte el modelado en un proceso seguro y confiable.

$$EC = M(P34) + M(P0) + M(P11) + M(P12) + M(P15) + M(P17) + M(P18) + M(P20) + M(P21) + M(P22) + M(P23) + M(P25) + M(P26) + M(P26) + M(P27) + M(P5) + M(P6) + M(P7) = 1$$

iii) Análisis del espacio de estados.

El análisis del espacio de estados se considera las propiedades de limitación, alcanzabilidad y de red viva. Estas propiedades aseguran que el modelado propuesto es seguro, no posee puntos muertos a pesar de las condiciones funcionales del sistema además asegura que todos los lugares serán alcanzados por una marca, así como se indica en la figura 68.

Petri net state space analysis results

Bounded	true
Safe	true
Deadlock	false

Figura 68 Análisis del espacio de estado - Proceso de Retro Lavado.
Fuente: Autor.

CAPITULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Presentación de Resultados

Los resultados que se alcanzaron en esta investigación fueron acordes a lo esperado puesto que se demuestra que la automatización de una planta potabilizadora de agua basándose en un modelado, ayuda a facilitar desde el diseño de la lógica de control hasta la disminución de posibles errores o fallas del sistema. En base a las herramientas de modelado ya sean UML, redes de Petri.

4.1.1 Resultado del Modelado

La utilización de la herramienta de modelado UML permite identificar los actores principales que intervienen en cada uno de los procesos junto con las funciones que realiza cada uno de ellos por medio del diagrama de casos de uso, para esta investigación los principales actores que se logra identificar son: el operador y el sistema de control. Por otro lado, el diagrama de secuencia propuesto ayuda a identificar las interacciones que se tiene dentro del sistema de cada proceso. Finalmente, el diagrama de estado aporta con el flujo detallado de cada transición dentro del sistema.

A partir de los diagramas antes mencionados se realiza las redes de Petri correspondientes que ayuda a observar el funcionamiento de todo el proceso garantizando su operatividad. Con ayuda de los softwares PIPE y Visual Object permite analizar las propiedades de cada uno de las redes teniendo como resultado modelados seguros y confiables.

4.1.2 Resultado del Estado del Arte

Mediante el estudio del estado del arte que se encuentra en la sección anterior se logra encontrar información importante que ayuda al desarrollo del presente trabajo de investigación.

Uno de los aportes relevantes se encuentra en la investigación realizada por (Cabezas, 2019) donde establece los requisitos fundamentales de los procesos de una planta potabilizadora de agua potable, la instrumentación necesaria en cada sistema y las ventajas que se obtiene al tener un sistema automatizado. Por otra parte, la investigación realizada por

(Edisson, 2018) donde establece bases conceptuales como criterios y procedimientos aplicables para la automatización de una planta potabilizadora de agua

4.1.3 Resultado de la Arquitectura

El desarrollo de la arquitectura de control de automatización en la sección 3.2.1 muestra una arquitectura dividida en niveles las cuales permite tener una idea más clara del tipo de topología a utilizar y los beneficios que se obtienen que por sus características y necesidades se muestra ser una topología tipo estrella, así como el medio de comunicación entre ellos para el cumplimiento de las diferentes funciones de cada proceso a automatizar tomando en cuenta los equipos que están involucrados tanto a nivel de supervisión, nivel de control y nivel de campo.

4.2 Discusión de Resultados

Se plantea los resultados obtenidos de la presente investigación.

4.2.1 Cumplimiento de Objetivos

A continuación, se presenta cumplimientos de los objetivos presentados al inicio de esta investigación.

4.2.1.1 Cumplimiento de Objetivo General

Se logra proponer un sistema de automatización de una planta potabilizadora de agua con herramienta de modelado y simulación como lo son los UML y redes de Petri. Esta propuesta se realiza con fundamentos teóricos y simulaciones que comprueban el correcto funcionamiento logrando un sistema dinámico.

4.2.1.2 Cumplimiento de Objetivo Específico.

- i. Se consigue plantear una arquitectura de automatización donde se analiza los diferentes niveles de automatización ya sean de supervisión, control y campo además de la instrumentación que involucraría cada nivel.
- ii. Se lograr el modelado de la automatización de los sistemas que se encuentran involucrados obteniendo las redes Petri y los diagramas de

UML de cada proceso corroborando su correcto funcionamiento mediante los softwares de Visual Object Net y UML.

- iii. Se obtiene la simulación de las redes Petri junto con las condiciones y requisitos funcionales que implica cada proceso comprobando su correcto funcionamiento y el análisis de sus propiedades.

4.3 Análisis de metodología de investigación.

Para el presente proyecto de investigación se plantea la utilización de la metodología de tipo correlación con enfoque cuantitativo, en la cual se tiene bases bibliográficas para el establecimiento de criterios funcionales y procedimientos aplicables para cada uno de los procesos investigados y el enfoque cuantitativo a partir de los resultados obtenidos mediante los modelados de UML, simulación y análisis de las propiedades de las redes Petri por cada sistema. Esto quiere decir que el tipo de metodología escogido para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue escogido correctamente puesto que se cumple con todas las tareas planteadas.

4.4 Análisis del cumplimiento de funciones

Las funciones y características del sistema son presentadas en el capítulo anterior. La arquitectura propuesta en esta investigación muestra ser una arquitectura de topología tipo estrella y descentralizada puesto que existen varios controladores que están siendo supervisado por un sistema centrada que para este caso es el sistema SCADA que permite la visualización y el control de cada control sin necesidad de estar presente en el sitio del proceso, la característica de ser un sistema descentralizado lo da la interconexión que existe entre los controladores dando como ventaja un posible rediseño de la red cuando sea necesario sin necesidad de interrumpir todo el sistema.

Las características de los procesos se modelaron en UML implicando tres diferentes diagramas, estos son diagrama de casos de uso, de secuencia y finalmente de estados. Estos diagramas ayudan a comprender que equipos intervienen en el sistema, las funciones que realizan y las condiciones funcionales de cada proceso. Todas las funciones fueron comprobadas mediante la simulación de la red de Petri obtenidas a partir de los diagramas

UML, así también se puede analizar las propiedades del sistema, cumpliendo con las propiedades de alcanzabilidad, red viva, y puntos muertos. Estas propiedades nos indican si el sistema contiene puntos muertos que impide el flujo normal del proceso, cumplir con la propiedad de red viva indica que todos los lugares tendrán un solo token en todo el sistema y finalmente la propiedad de alcanzabilidad demuestra que cada lugar será alcanzada por un token, todas estas propiedad indican que los procesos son seguros y óptimos que permiten cumplir su función principal la cuales son de dosificar el agua cruda permitiendo estabilizar la cantidad de pH del agua tratada, eliminar los materiales coloidales mediante el proceso de dosificación además de eliminar las partículas presentes en el agua con el proceso de filtración y finalmente garantizar la limpieza de los filtros mediante el proceso de retro lavado.

4.5 Análisis del problema de investigación.

En el capítulo I menciona el problema a investigar la cual describe la falta de automatización de planta potabilizadoras de agua y que modelados se podría implementar para la solución del mismo. El desarrollo de la presente investigación muestra un modelado optimo utilizando redes de Petri y UML donde se logran analizar todas las condiciones y restricciones posible que involucra cada proceso permitiendo alcanzar altos estándares de operatividad y calidad. Los equipos de control e instrumentaciones para la arquitectura propuesta, implican costos bajos y una eficiente capacidad de control y mando del sistema, lo que permite bajar los costos en el proceso de automatización en plantas de potabilización de agua de pequeña capacidad.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

A continuación, se presenta las conclusiones de la presente investigación.

- i) La arquitectura propuesta para la automatización de los procesos de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua es una arquitectura jerárquica que permite el control eficiente y seguro de los diferentes niveles de automatización ya sean: nivel de supervisión, control y campo.
- ii) El lenguaje de Modelado Unificado (UML) ha permitido definir los requisitos funcionales del sistema, y utilizando los diferentes diagramas se ha establecidos los actores del sistema, la secuencia de operaciones y el conjunto de estados del sistema según las condiciones o perturbaciones que se presenten.
- iii) El modelado en redes Petri, a través de las propiedades de la red, permite determinar el comportamiento dinámico del sistema tanto en modo manual como modo automático y detectar posibles errores de operación.
- iv) Es posible tener un sistema dinámico en la automatización de los procesos de potabilización de agua con el uso de las herramientas de modelado como las redes Petri y UML puesto que se obtiene un sistema seguro y confiable, garantizado a través del análisis y cumplimiento de sus propiedades.

5.2 Recomendaciones

Se presenta las siguientes recomendaciones obtenidas a lo largo del presente trabajo de investigación.

- i) Se recomienda la utilización de software como Pipe o Visual Object Net para el modelado de sistemas de automatización puesto que son de fácil manejo y cuentan con licencia gratuita.
- ii) Se recomienda el uso de los diagramas de flujo para mayor discernimiento de los procesos a automatizar para así lograr la función principal del proceso.

- iii) Se recomienda indagar en nuevos métodos de automatización involucrándose en la industria 4.0 que logren obtener un sistema aún más confiable y más óptimo.
- iv) Al realizar la red de Petri de un proceso se recomienda tener cuenta que por las transiciones van unidas con lugares, no se puede unir lugar con lugar o transición con transición, así se logra evitar posibles fallas en el análisis del mismo.
- v) Para el diseño de sistema de automatización se recomienda siempre definir inicialmente las arquitecturas de control, donde se puede plasmar la estructura jerárquica del sistema, y la organización e interconexión de los equipos que la componen.

BIBLIOGRAFÍA.

- Booch, G. (1994). Object-Oriented Analysis and Design with Applications (2nd ed.).
- Cabezas, J. (2019). Ingeniería conceptual, básica y de detalle para la automatización de la planta de tratamiento de agua potable de la ciudad de Tulcán.
- Casse, J. I. (2019). Automatización y control para la nueva planta potabilizadora de agua en Concordia. <http://hdl.handle.net/20.500.12272/3958>
- Castillo, R. R. (2010). Scada Del Sistema De Distribución De Agua De La Empresa Pública
- Charles, H. (2009). Simulation Using Promodel. 2nd Edicion.
- Conde, L. (2016). Instrumentation and Control System for Storage Tanks of potable Water. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/563>
- Estrada Vicente, G. V. (2012). Control y Monitoreo de una potabilizadora de agua por medio de una red controlnet. <https://1library.co/document/lzgr5r8q-control-monitoreo-una-potabilizadora-agua-por-medio-controlnet.html>
- Fowler, M., & Scott, K. (1997). UML Distilled. Applying the Standard Object Modeling Language.
- García, E. (2001). Automatización De Procesos Industriales. Alfaomega
- Guerrero, M., & Liza, J. (2017). Diseño de un sistema automatizado de abastecimiento de agua para el establo de la empresa lactea S.A. <https://hdl.handle.net/20.500.12759/3515>
- Hernández, M. (2016). Desarrollo e implementación de una red de datos basada en Modbus y Ethernet para autómatas industriales.
- Hincapié, E. A. (2018). Diseño y automatización de planta de tratamiento de agua potable PTAP de Alimentos Cárnicos Rionegro. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12622/1547>.
- Kurapati, V., & Mengchu, Z. (1999). Modeling, Simulation, and Control of Flexible Manufacturing Systems.
- Leon, F. (2007). Diseño, construcción e implementación de un sistema para el manejo de un periférico de los ascensores del edificio Paco mediante

comunicación serial y protocolo Modbus RTU.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9885>

Lozano, L. (2017). Sistema de instrumentación, actuación y automatización de una planta de tratamiento de agua potable para campamentos de pozos petroleros (ptap).
<http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4908/50826%20-%20Lozano%20Su%C3%A1rez%20Liseth%20Dayana%2C%20S%C3%A1nchez%20Guzm%C3%A1n%20Paula.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Media, J., & Seck, J. (2018). Aplicación de redes de Petri en la modelación de sistemas de eventos discretos.
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n1/e4.html>

Metropolitana De Agua Potable Y Saneamiento.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3695>

Nolla, X. (2017). Sensor de Presion.
<https://www.bloginstrumentacion.com/productos/como-funciona-un-transmisor-de-presion/>

Ogata, K. (2010). Ingeniería de Control Moderna. Pearson.
https://www.ucursos.cl/usuario/78303fe04da8e4eb340eae09f1840b2/mi_blog/r/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5a_ed.pdf

Orellana, M. (2016). Diseño de sistema de tratamiento de agua potable para la comunidad de Bellavista cantón Colta.
<http://dspace.espe.edu.ec/handle/123456789/6455>

Orlando, L., & Perez, M. (2016). Redes de petri en la determinación de puntos críticos para el control interno.

Pérez-López, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Revista Tecnología En Marcha, 28(4), pág. 3–14.
<https://doi.org/10.18845/tm.v28i4.2438>

Pressman, R. (1982). Ingeniería de Software (7ma ed.). Mc Graw Hill.

Rodríguez, P. (2008). Comunicaciones Industriales. Marcombo.

Rumbaugh, Booch, & Jacobson. (2020). El Lenguaje Unificado de Modelado (2da ed.). Pearson.

Vásconez, G., & Zurita, D. (2016). Automatización de procesos de tratamiento de agua y mejora del Scada de la Planta de tratamiento Puengasí.
<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11342>

Velazco, J. (2020). Sistema scada para el proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable conocoto.
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2431>

Villa Ávila, E. A. (2018). Diseño de un sistema de control para la automatización de la planta de agua potable de San Cristóbal-Paute (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31500>

ANEXOS

Anexo A: Característica del Device Net

A continuación, se presenta las características de la red de comunicación industrial device net mencionada en la sección 2.3.9.4 del capítulo II presente trabajo de investigación.

Tabla 1

Características del Device Net

Topología	Tipología tipo Bus
Distancia de comunicación	500m máximo
Tipo de Comunicación	Maestro-Esclavo
Velocidad de comunicación	500Kb/s – 250Kb/s – 125Kb/s
Paquete de Datos	0 – 8 Bytes

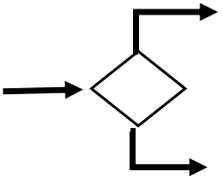
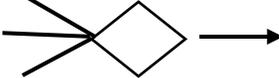
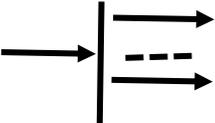
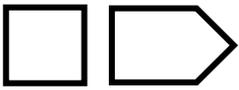
Anexo B: Simbología para diagrama de actividades

La tabla 2 muestra la simbología que es usada generalmente en los diagramas de actividades, la siguiente tabla es mencionada en la sección 2.6.5 del capítulo II del presente trabajo de investigación.

Tabla 2

Simbología para diagrama de actividades

Nombre	Símbolo	Descripción
Acción		Nodo de actividad.
Nodo de Inicio		Indican el comienzo de un flujo.
Nodo de fin de actividad		Indica la finalización de un flujo.
Flujo de Control		Es el encargado de conectar las acciones.
Flujo de Objetos		Conector entre acciones y nodos.

Nodo de Decisión o Control		Selecciona la salida entre dos o más flujos.
Nodo de concurrencia		Es la unión de dos o más flujos.
Nodo de Sincronización		Sincroniza flujos múltiples.
Nodo de Objeto		Representación de información o datos
Conector		Usado para la separación de un flujo y volver a establecer su conexión en diagrama.
Pin		Es utilizado para describir valores tanto de entrada o salida de una acción.
Acción señal de aceptación		Indica la transmisión de una señal
Acción evento de tiempo		Indica el tiempo de un evento para disparar la señal.

Fuente: (Rojas, 2015)

Anexo C Especificaciones técnicas de la instrumentación de campo.

La tabla 3 muestra los equipos a utilizar en cada proceso a investigar, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 3

Instrumentación de Campo.

	Proceso de Dosificación	Proceso de Filtración y Retro lavado
Sensor de Nivel	--	√
Sensor de Presión	--	--
Sensor de Caudal	√	--
Sensor de Turbiedad	√	--
Sensor de pH	√	--

La tabla 4 muestra las características principales a considerar del sensor de caudal, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 4

Especificaciones Técnicas del Sensor de Caudal

Sensor de Caudal	
Alimentación	120-240 VAC
Rango de Medición	0-1000 L/s
Señal de Salida	4-20m A
Temperatura de Operación	-20C a +55C
Norma de Protección	Protección IP67
Rango de Frecuencia y Pulso	1000P/s máx, pulso ajustable de 5-10-50-100-200-200-500-1000 ms

La tabla 5 muestra las características principales a considerar del sensor de turbiedad, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 5

Especificaciones Técnicas del Sensor de Turbiedad

Sensor de Turbiedad	
Alimentación	12-24 VDC
Rango de Medición	0-20 NTU
Señal de Salida	4-20 mA
Temperatura de Operación	0C a 50C
Norma de Protección	Protección IP65

La tabla 6 muestra las características principales a considerar del sensor de pH, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 6.

Especificaciones Técnicas del Sensor de pH.

Sensor de pH	
Alimentación	12-24 VDC
Rango de Medición	0-14pH
Señal de Salida	4-20mA o 0-20mA
Temperatura de Operación	-10C a 100C

La tabla 7 muestra las características principales a considerar de las boyas de nivel, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 7

Especificación técnica de la Boya de Nivel

Boya de Nivel	
Alimentación	110-220VAC o 12-24VD
Tipo de Operación	Operación por contactos normalmente cerrado NC, o contacto normalmente abierto NO
Señal de Salida	110-220VAC o 12-24VD
Temperatura de Operación	0C-60C
Resistencia de aislamiento	Mínimo 100M Ohmios.

La tabla 8 muestra las características principales a considerar del controlador, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 8

Especificaciones Técnicas de PLC

Especificaciones técnicas del PLC	
Alimentación	24VDC; 120-240VAC
Módulos de Comunicación	Modbus TCP/IP; Modbus Serial, Profibus.
Módulo de Entradas	Entradas analógicas ya sean de corriente y/o voltaje y entradas digitales.

Módulos de Salidas	Salidas Analógicas ya sean de corriente y/o voltaje y entradas digitales
---------------------------	--

La tabla 9 muestra las características principales a considerar de los actuadores eléctricos, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 9

Especificaciones Técnicas de controlador Eléctrico

Especificaciones técnicas del Actuador Eléctrico	
Alimentación	110-220 VAC
Comunicación	Comunicaciones 4-20mA o Modbus
Adaptabilidad	Adaptable para cualquier compuerta.
Operación Local	Operación con Volante en caso de falla o maniobra manual.
Grado de Protección	IP65, NEMA 4
Tipo de Actuador	Multivuelta.

La tabla 10 muestra las características principales a considerar de las bombas dosificadoras, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 10

Especificación Técnica de Bombas Dosificadoras

Especificaciones técnicas del Bombas Dosificadoras	
Alimentación	110-220 VAC
Comunicación	Comunicaciones 4-20mA
Entrada Analógica	4-20mA
Salida Analógica	4-20mA
Control Por Pulso	Sí

La tabla 11 muestra las características principales a considerar de las redes profibus, esta tabla es mencionada en la sección 3.1.2

Tabla 11

Redes Profibus

	Profibus FMS	Profibus DP	Profibus PA
Nivel de Aplicación	Niveles de campo.	Niveles de Entrada/Salida	Niveles de Entrada/Salida
Norma	Norma Europea 50170 / IEC 61158		IEC 1158-2
Dispositivos compatibles	PLC, Instrumentación de Campo		Instrumentación de campo cuyas áreas sean con riesgo de exposición.
Tiempo de Comunicación	Menor a 60 ms	1 a 5 ms	Menos a 60 ms.
Longitud máxima de Comunicación	Menor o igual a 150 Km.		Menor a 1.9 Km
Velocidad de comunicación	9.6 Kbit/s a 12M/bit/s		31.25 bit/s

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo**, con C.C: **#0940333172** autor/a del trabajo de titulación: **“Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua”**. 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, 15 de septiembre de 2021

f. Marcelo Gutiérrez

Nombre: **Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo**

C.C: **0940333172**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Automatización del proceso de dosificación, filtración y retro lavado de una planta potabilizadora de agua.		
AUTOR(ES)	Gutiérrez Rodríguez, Marcelo Leonardo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Mendoza Merchán, Eduardo Mendoza, Mgs.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Electrónico en Control y Automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	15 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	86
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Automatización, Modelados Matemáticos, Sistemas de Control		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Automatización, Modelado, Uml, Petri, Dosificación, Filtración, Retro Lavado.		
RESUMEN/ABSTRACT.	<p>Las plantas de potabilización de agua de pequeña escala, a menudo suelen verse limitadas a la hora de automatizar sus procesos debido principalmente a los costos que esto implica. Se realiza el análisis y el modelado de un sistema de automatización para los procesos de dosificación, filtración y retro lavado mediante el uso de herramientas de modelado como las redes Petri y UML, que se ajuste a una planta potabilizadora de agua pequeña. La operación empírica y manual que se tiene en las plantas potabilizadoras de agua, puede ocasionar fallas de operación tanto en el proceso como en los instrumentos de campo. Actualmente existen varios avances tecnológicos en cuanto a la automatización de procesos industriales que permiten controlar eficientemente los sistemas, aportando un sin número de ventajas y beneficios. Para el desarrollo del presente tema de investigación se emplean métodos de modelado con redes Petri y UML que permiten observar el comportamiento del sistema, y así poder subsanar fallar de operación además de obtener un sistema óptimo basándose en fundamentos teóricos y bibliográficos. Finalmente se obtiene un modelado que permite cumplir con las funciones principales de cada proceso tomando en cuentas las condiciones operacionales que influyen en cada proceso además de diseñar una arquitectura de control óptima que permite el control de cada nivel de automatización.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593983828561	E-mail: gutierrezmarcelo988@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@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):			