



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en
una planta potabilizadora de agua.**

AUTOR:

Alvear Celi, Samuel Andree

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M.Sc. Galarza Chacón, Luis Carlos

Guayaquil, Ecuador

27 de Febrero del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Alvear Celi, Samuel Andree** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO ELECTRÓNICO EN CONTROL Y AUTOMATISMO**.

TUTOR

M. Sc. Galarza Chacón, Luis Carlos

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 27 de febrero del 2020



**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, **Alvear Celi, Samuel Andree**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación: “**Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en 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, 27 de febrero del 2020

EL AUTOR

ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvear Celi, Samuel Andree**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 27 de febrero del 2020

EL AUTOR

ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE

REPORTE DE URKUND

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

TÍTULO: “Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua”

AUTOR: ALVEAR CELI SAMUEL ANDREE



Reporte Urkund del trabajo de titulación en **Ingeniería Electrónica en Control y Automatismo** titulado: “**Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua.**” del estudiante: **ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE** el análisis de antiplagio indica el 2% de coincidencias.

Atentamente

Ing. Eduardo Mendoza Merchán, Mgs

Revisor

DEDICATORIA

*A mis padres, Samuel Alvear y Nelly Celi,
personas imprescindibles en mi vida,
que con sus sabios consejos y su constante ayuda
me brindaron la oportunidad de alcanzar tan
anhelada meta.
Esto es por y para ustedes.*

*Con cariño,
Su hijo, Samuel Andree.*

EL AUTOR

ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la Virgen por iluminar mi camino y permitirme alcanzar esta anhelada meta, a mis padres por confiar en mí y darme apoyo incondicional. A mi segunda madre, Rita Castillo que día a día estuvo pendiente de cada paso que daba y con sus consejos y saberes guiaba mi camino, a mis tíos, tías, primos, primas y demás familiares que de una u otra manera me brindaron su ayuda en todo momento que la requerí.

Gracias a mis amigos Ariell, Yeltsin, Paul y Michael, por sus ánimos, consejos y siendo ejemplo de profesionales a seguir, nunca permitieron que decaiga y fueron guías en todo este camino.

A mis compañeros de curso, con quienes compartí momentos buenos y malos pero que ha pesar de ello siempre me tendieron la mano cuando lo necesité, en especial a mi compañera Joselyne quien me apoyó en el desarrollo de esta investigación cuando yo ya no encontraba salida a ciertos problemas.

A mi tutor de tesis Ing. Luis Galarza y docentes de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, muchas gracias por todos los conocimientos impartidos a lo largo de la carrera, gracias por guiarme en esta etapa final, gracias por confiar en mi.

EL AUTOR

ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE



**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 JESUS

DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. MENDOZA MERCHÁN, EDUARDO VICENTE

OPONENTE

Índice General

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Definición del Problema.....	3
1.3. Justificación del Problema.....	5
1.4. Delimitación.	6
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.	7
1.5.1. Objetivo General.	7
1.5.2. Objetivos Específicos.....	7
1.6. Metodología de Investigación.	7
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....	10
2.1. Estado de Arte	10
2.2. Automatización industrial.	13
2.2.1. Noción de automatismo.	13
2.2.2. Elementos de un sistema de control automático.	14
2.2.3. Autómatas programables industriales.....	17
2.2.3.1. Estructura modular de un autómata programable.....	17
2.2.3.2. Lenguajes de programación de autómatas.	18
2.2.4. Clasificación de los sistemas de control según su tecnología.....	19
2.2.4.1. Lógica cableada.	19
2.2.4.2. Lógica programada.	20
2.3. Redes de Petri.	20
2.3.1. Definición de redes de Petri.....	20
2.3.2. Elementos de las redes de Petri.....	21
2.3.3. Lugares de entrada y salida.....	22
2.3.4. Marcado de una red de Petri.....	23
2.3.5. Disparo de una red de Petri.....	23
2.3.6. Propiedades de redes de Petri.	24
2.3.6.1. Propiedades funcionales.	24

2.3.6.2. Propiedades estructurales.....	25
2.4. Lenguaje unificado de modelado: UML.....	25
2.4.1. Definición de UML.....	25
2.4.2. Orientación a objetos.....	26
2.4.2.1. Ventajas de la orientación a objetos.	26
2.4.3. Principios básicos del modelado.....	27
2.4.4. Elementos estructurales.	28
2.4.4.1. Clases.....	28
2.4.4.2. Interfaz.....	28
2.4.4.3. Colaboración.	29
2.4.4.4. Casos de uso.....	29
2.4.4.5. Clase activa.....	29
2.4.4.6. Componentes.	29
2.4.4.7. Nodos.	29
2.5. Proceso de potabilización del agua.....	30
2.5.1. Etapas de la potabilización del agua.....	30
2.5.1.1. Captación.	30
2.5.1.2. Bombeo.....	31
2.5.1.3. Pre – tratamiento.	31
2.5.1.4. Tratamiento.	31
2.5.1.5. Distribución.	32
2.6. Sistemas SCADA.	33
2.6.1. Objetivos de los sistemas Scada's.	34
2.6.2. Prestaciones de los sistemas Scada's.	35
2.6.3. Arquitectura general de un sistema Scada.	36
2.6.3.1. Arquitectura del software de un sistema SCADA.	37
2.6.4. Componentes de un sistema Scada.....	39
2.6.4.1. Configuración.....	39
2.6.4.2. Interfase gráfica.....	39
2.6.4.3. Tendencias.....	39
2.6.4.4. Alarmas y eventos.	39

2.6.4.5. Recetas.....	39
2.6.4.6. Comunicaciones.....	40
Capítulo 3: Diseño, Implementación.....	41
3.1. Consideraciones iniciales.....	41
3.1.1. Descripción del sistema.....	42
3.1.1.1. Descripción del sistema de potabilización de agua.....	42
3.1.1.2. Descripción del subsistema de filtración de agua.....	43
3.1.2. Caracterización del sistema.....	46
3.1.3. Funciones del sistema.....	48
3.2. Arquitectura del sistema supervisorio.....	57
3.3. Modelado con diagramas UML.....	59
3.3.1. Diagramas de casos de uso.....	59
3.3.2. Diagramas de secuencia.....	64
3.3.3. Diagramas de estados.....	73
3.4. Modelado con redes de Petri.....	81
3.3.1. Modelado del control de acceso y selección de ventanas.....	81
3.5. Diseño del sistema supervisorio en un HMI Kinco.....	85
Capítulo 4: Presentación de resultados y discusión.....	88
4.1. Presentación de resultados.....	88
4.1.1. Resultados de software.....	88
4.1.2. Resultados de interfaz de usuario.....	89
4.2. Discusión de resultados.....	89
4.2.1. Cumplimiento de las funciones del sistema.....	89
4.2.2. Cumplimiento de los objetivos.....	90
4.2.2.1. Cumplimiento del objetivo general.....	90
4.2.2.2. Cumplimiento de objetivos específicos.....	90
4.2.3. Análisis de la metodología.....	91
4.2.4. Análisis de la solución del problema de investigación.....	91
Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.....	93
5.1. Conclusiones.....	93
5.2. Recomendaciones.....	94
Bibliografía.....	95

Anexos	100
Anexo A: Modelado de funciones del sistema supervisorio.	100
Anexo B: Tabla de marcado de redes de Petri.	106
Anexo C: Ventanas del sistema supervisorio en el HMI.	107

Índice de Figuras

Capítulo 1:

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

Capítulo 2

Figura 2. 1: Elementos de un sistema de control automático	14
Figura 2. 2: Simatic S7-1200, Siemens	18
Figura 2. 3: Elementos de una red de Petri	22
Figura 2. 4: Lugares de entrada y salida de una red de Petri	22
Figura 2. 5: Marcado de una red de Petri	23
Figura 2. 6: Ejemplo de disparo de una red de Petri	24
Figura 2. 7: Elementos estructurales básicos UML	30
Figura 2. 8: Proceso de potabilización de agua	33
Figura 2. 9: Sistema SCADA, arquitectura básica	36
Figura 2. 10: Arquitectura general del software de un SCADA.....	38

Capítulo 3

Figura 3. 1: Diagrama del proceso de potabilización de agua	43
Figura 3. 2: Subproceso de filtración de agua	44
Figura 3. 3: Diagrama de flujo del proceso de filtración	45
Figura 3. 4: Diagrama de flujo del proceso de lavado de filtros	52
Figura 3. 5: Diagrama de flujo del proceso de enjuague y drenaje	54
Figura 3. 6: Arquitectura del sistema supervisorio inteligente.	58
Figura 3. 7: Diagrama de casos de uso: Monitorización y visualización	60
Figura 3. 8: Diagrama de casos de uso: Control y mando remoto	61
Figura 3. 9: Diagrama de casos de uso: Registro de históricos	62
Figura 3. 10: Diagrama de casos de uso: Tratamiento de alarmas	63
Figura 3. 11: Diagrama de casos de uso: Chequeo de comunicaciones	64
Figura 3. 12: Diagrama de secuencia: Monitorización y visualización (usuario)	65
Figura 3. 13: Diagrama de secuencias: Monitoreo y visualización (supervisor)	66
Figura 3. 14: Diagrama de secuencias: Control y mando remoto (usuario) ..	67

Figura 3. 15: Diagrama de secuencia: Control y mando remoto (Tec. mantenimiento)	68
Figura 3. 16: Diagrama de secuencia: Registro de históricos (usuario).....	69
Figura 3. 17: Diagrama de secuencia: Registro de históricos (supervisor) ...	70
Figura 3. 18: Diagrama de secuencia: Tratamiento de alarmas	71
Figura 3. 19: Diagrama de secuencia: Chequeo de comunicaciones	72
Figura 3. 20: Diagrama de estados: Monitorización y visualización (usuario)	73
Figura 3. 21: Diagrama de estados: Monitorización y visualización (supervisor).....	74
Figura 3. 22: Diagrama de estados: Control y mando remoto (usuario)	75
Figura 3. 23: Diagrama de estados: Control y mando remoto (Tec. Mantenimiento)	76
Figura 3. 24: Diagrama de estados: Registro de histórico (usuario).....	77
Figura 3. 25: Diagrama de estados: Registro de históricos (supervisor)	78
Figura 3. 26: Diagrama de estados: Tratamiento de alarmas	79
Figura 3. 27: Diagrama de estados: Chequeo de comunicaciones	80
Figura 3. 28: Red de Petri: control de acceso	81
Figura 3. 29: Red de Petri: Selección de ventana (Usuario)	82
Figura 3. 30: Red de Petri: Selección de ventana (Tec. Mantenimiento).....	83
Figura 3. 31: Red de Petri: Selección de ventana (Supervisor).....	83
Figura 3. 32: Pantalla principal del software Kinco HMIware	85
Figura 3. 33: Venta del control de acceso al sistema.....	86
Figura 3. 34: Ventana de selección de pestañas	86
Figura 3. 35: Ventana de monitorización y visualización	87

Resumen

En el presente trabajo de titulación se realiza el análisis y uso de herramientas matemáticas de modelado formal como Redes de Petri y UML en un sistema supervisorio para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua. Actualmente y debido a los grandes avances en la tecnología industrial y al requerimiento de supervisión de gran cantidad de datos e información de producción, el diseño y modelado de sistemas supervisorios se ve limitado con los típicos métodos de modelado formal. Para el desarrollo de esta investigación se emplean métodos de simulación y análisis de los diferentes subsistemas generados con redes de Petri y diagramas UML, además de valerse en las bases teóricas y bibliográficas de estas herramientas de modelado. Con la obtención de un modelo final para sistemas supervisorios se puede comprobar que ambas herramientas son de mucha utilidad al momento de modelar sistemas de supervisión y que gracias a las redes que se obtuvieron se pudo implementar un prototipo de sistema supervisorio en un módulo HMI Kinco comprobando así el dinamismo de este tomando en cuenta características, funciones y estructuras que condicionan al sistema requerido para el subproceso de filtración de agua.

Palabras claves: SUPERVISORIO, SCADA, PETRI, UML, FILTRADO, PROCESO, MODELADO.

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

Con el avanzado desarrollo de la tecnología los diferentes procesos de mejora de la calidad de productos o servicios se ven en la necesidad de ser optimizados tanto en tiempo como en recursos humanos. La tecnología ha evolucionado a grandes pasos que muchas empresas optan por mantenerse a la vanguardia tecnológica garantizando así sus productos.

Las plantas de potabilización de agua no son la excepción en el proceso de mejora de la calidad de este líquido vital, es así que la implementación de sensores inteligentes, sistemas de control, sistemas de supervisión y monitoreo forman parte de la mejora continua y de la optimización de su proceso, evitando que los paros que se ocasionen por daños o mantenimiento perjudiquen el correcto funcionamiento del sistema, para ello es muy importante conocer en su totalidad cada uno de los pasos que se ejecutan dentro del proceso en donde la sincronización de ellos, juega un papel muy importante siendo así que la optimización o modelado del sistema en caso, resulte un poco tediosa usando las técnicas de modelado matemático tradicional.

Los sistemas supervisorios se describen como sistemas de recopilación de datos útiles dentro de un proceso de producción, donde intervienen un conjunto de sensores que son los encargados de la recolección de información específica (Beatriz Portilla et al., 2014), donde luego de ser procesada, es útil para la toma de decisiones del proceso, decisiones que hasta la actualidad ciertos sectores de las industrias mantienen personal humano para la realización de esta tarea. El objetivo apunta a que esta toma de decisiones, proceso fundamental para que el proceso continúe sin interrupciones, sea basada en datos históricos y a casos previamente suscitados, asimismo, se desea lograr que las diversas máquinas y sus softwares sean tan potentes que ellos mismos consideren la mejor decisión frente a un problema en el desarrollo del proceso de producción.

En el presente trabajo de titulación se expone el modelado de un sistema supervisorio inteligente de un subsistema de filtración para una planta potabilizadora de agua empleando herramientas matemáticas de alta eficiencia como son el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) y principalmente las Redes de Petri (PN), herramientas que nos ayudan en la optimización del modelado formal y en la confiabilidad de que cada una de sus secuencias se cumpla con exactitud. El objetivo del trabajo de titulación es proponer un sistema de supervisión inteligente para poder operar un laboratorio que cumpla las funciones de filtración dentro del proceso de potabilización de agua. Parte del objetivo es realizar la simulación del proceso de modelado con Redes de Petri mediante el software de código abierto Visual Object Net, Pipes y parte de hardware HMI (Interfaz Hombre-Máquina) para la visualización del resultado del sistema supervisorio.

Durante el desarrollo del presente trabajo de investigación se pretende analizar de qué manera influye el modelado de un sistema mediante la aplicación del lenguaje UML y las Redes de Petri. Los requisitos del usuario para el desarrollo de softwares son cada vez más exigentes, especialmente para sistemas complejos. El uso del lenguaje de modelado unificado (UML) se describe como uno que está orientado a objetos tal como lo hacen los lenguajes de alto nivel (Java, Python, Ada entre otros). UML nos otorga facilidades al momento de realizar un modelado ya que se lo realiza gráficamente incrustando funciones acorde se va avanzando con el desarrollo de la función principal de un sistema (Braude, 2017), el enfoque introduce así condiciones previas y posteriores de orden superior (niveles jerárquicos). Se proporciona un proceso específico para llevarlo a cabo, junto con ejemplos. Permite la visualización del modelo de clase UML en un desarrollo rápido, especialmente cuando es compatible con herramientas.

1.2. Definición del Problema.

Con el paso del tiempo las diferentes tecnologías que están ligadas a la automatización industrial, sistemas de comunicaciones, redes industriales entre otros, han evolucionado con gran rapidez (Das et al., 2015) y de su mano la exigencia de mantener los sistemas de supervisión de procesos a la par con

la tecnología disponible. Pero cada vez estos sistemas de supervisión se vuelven más complejos de modelar debido a la gran cantidad de variables que existen dentro de un proceso, por lo cual es necesario el modelado de estos sistemas con la ayuda de herramientas matemáticas sofisticadas (Benitez-Pina et al., 2014). Es necesario acotar que el uso de inteligencia artificial responde a las necesidades de sistemas con muchas variables y complejidad en la toma de decisiones y que su aplicación genera cierta dificultad en el diseño del sistema, pero que permite resolver eficientemente los problemas de automatización en sistemas distribuidos.(Sanap et al., 2015)

La implementación de un sistema supervisorio inteligente se ve limitado cuando se desea que este tome una decisión acorde a datos previos es así como, con los sistemas de modelamiento tradicionales, no es suficiente. Las exigencias actuales debido a los rigurosos controles de calidad que manejan diferentes empresas de procesos han aumentado. El manejo de decenas y hasta centenas de variables de información van en aumento con la finalidad de poder saber qué está sucediendo en un proceso tan solo con mirar a una pantalla. Así, el problema al cual nos enfocamos en esta investigación se relaciona en optimizar la creación de sistemas de supervisión inteligentes que son los que nos permiten conocer mediante una interfaz gráfica lo que sucede en una industria de procesos.

En las plantas de potabilización de agua modernas, la automatización de los procesos permite ahorrar recursos y mejorar la calidad del agua tratada. Dentro del proceso de potabilización de agua, el subproceso de filtrado es el que más atención requiere, debido a su importancia en el tratamiento de potabilización de agua, como sus particulares requerimientos, especialmente en el mantenimiento de estos. El agua que no ha recibido un tratamiento de filtración contiene partículas que incluyen partículas suspendidas, parásitos, bacterias, algas, virus, hongos y un rango de material disuelto y particulado derivado de las superficies, con el que el agua pudo haber entrado en contacto después de caer como lluvia. Esto contamina el agua para uso doméstico y para beber. La utilización de dicha agua tiene el potencial de causar enfermedades como el cólera y la diarrea (Mehendale et al., 2016), es así que

el proceso de filtración del agua se debe llevar de manera cautelosa y para ello, el manejo de una gran cantidad de sensores y variables necesarias en la supervisión se vuelve un problema que apunta a la utilización de herramientas de modelado matemático tales como UML-PN.

El estudio e investigación del modelamiento de sistemas supervisorios inteligente se da por la dificultad que se presenta al momento del diseño óptimo de los mismos debido a las razones presentas en líneas anteriores. El uso de sistemas de supervisión en subsistemas de filtración de agua también se enmarca en el problema ya que al ser un proceso de suma importancia en el tratamiento del líquido vital como lo es el agua, no debe presentar problemas al momento de querer controlar, supervisar o monitorear el proceso, mejorando así la calidad del agua y ahorrando costos tanto en la implementación del SCADA como en la búsqueda de errores y fallas dentro del proceso.

1.3. Justificación del Problema.

La implementación de sistemas supervisorios modelados acorde a las diferentes necesidades que se presentan en el subproceso de filtrado de agua se facilitan con el uso de las herramientas que se emplean en esta investigación y que permiten optimizar el proceso de filtrado teniendo como resultado una mejora en la calidad de agua, producción y reducción de costos.

El agua es uno de los recursos más importantes que nos brinda la naturaleza y uno de los imprescindibles para la supervivencia por lo que se ha convertido en un bien preciado en el mundo entero. La tecnología actual permite optimizar el proceso de tratamiento del agua por medio de las conocidas plantas potabilizadoras de agua donde se destaca la principal intervención de las zonas de filtrado. Estas infraestructuras permiten el ingreso del agua no potable a zonas de tratamiento donde luego de rigurosos procesos que en la actualidad son automatizados, se obtiene un líquido vital de calidad pero no obstante, actualmente debido a la gran demanda de habitantes en las ciudades y las diferentes actividades donde el agua es indispensable, las plantas potabilizadoras necesitan la mejora de sus sistemas

para optimizar el tiempo del proceso, evitar fallos entre otros problemas que se pueden suscitar, generando así un ahorro de recursos en expansión de infraestructura por el aumento de la demanda (LLAPASI, 2018)

Inspecciones programadas y específicas se requieren para el procedimiento de filtración y a su vez de purificación del agua que es almacenada en enormes tanques de abastecimiento. Estas inspecciones y trabajos de mantenimiento son riesgosos, ya que el operador está expuesto a diferentes químicos y procesos que podrían perjudicar su salud (Ozkaya, 2019). Hoy en día, la mayor parte del sistema de filtrado de agua todavía se opera manualmente donde no hay automatización en el subproceso de filtración y no hay actividad para monitorear la calidad del agua antes y después de este proceso. Típicamente, el nivel de turbidez del agua debe estar por debajo de NTU 25 (Nephelometric Turbidity Unit, Unidades Nefelométricas de turbidez) con un valor de pH entre 6-8 (Erfianto & Putrada, 2019).

1.4. Delimitación.

Las plantas potabilizadoras en cada una de sus etapas presentan un nivel de complejidad considerable ya que intervienen diferentes elementos entre ellos elementos de control, sensado y supervisión. Este último elemento ha aumentado su complejidad de diseño debido a los requerimientos actuales de las empresas. Debido al nivel de complejidad que se presenta en todo el proceso de potabilización, en esta investigación se plantea únicamente el modelado de un sistema supervisorio inteligente para el subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua, tomando en cuenta que dentro de este subproceso al igual que los restantes merecen un estudio detenido para la comprensión a exactitud de los pasos que se ejecutan y de esta manera llegar a optimizar cada este subproceso.

Para constatar el estudio representativo del uso del modelado matemático en sistemas de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua se presenta lo siguiente:

- a) Simulación de redes de Petri con el uso de software Visual Object Net y el software Pipes.
- b) Uso de dispositivos de visualización HMI, para implementar un prototipo del diseño del sistema supervisorio.
- c) Desarrollo de los diagramas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) en plataformas en línea que permitan la mayor facilidad de representación.

1.5. Objetivos del Problema de Investigación.

1.5.1. Objetivo General.

Proyectar un sistema de supervisión inteligente utilizando herramientas de modelado UML-PN para la operación a escala de un subsistema de filtración de una planta potabilizadora.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- Proponer una arquitectura de control para un sistema supervisorio inteligente, considerando las funciones, variables y requerimientos para el caso de una planta de tratamiento de agua potable que dispone de seis unidades de filtración.
- Realizar el diseño modular jerárquico del sistema supervisorio, utilizando técnicas de modelado UML y redes de Petri, que permitan la verificación y validación formal del sistema.
- Implementar el prototipo de visualización del sistema supervisorio en un dispositivo HMI que permita observar la estructuración de funciones.

1.6. Metodología de Investigación.

En el presente proyecto se realiza una investigación de tipo correlacional debido a que las diferentes variables que se obtienen van a interactuar en el sistema y al ser un número considerable de estas se requiere conocer cuáles de ellas se relacionan entre sí. Con la finalidad de comprobar las ventajas que se obtienen al usar el modelado de redes de Petri para procesos industriales, se realiza la investigación utilizando un enfoque cuantitativo debido a que todas las variables con las que se trabaja son cuantificables o medibles. A pesar de ser un método gráfico el utilizado por las

redes de Petri para el modelado, se respaldan en una sólida formulación matemática, que requieren el uso tanto de una investigación de tipo correlacional, como de enfoque cuantitativo. La finalidad de este trabajo es presentar un modelado bajo el estudio de redes de Petri que permita la simulación, validación y generación de código para autómatas programables en un sistema de producción y envasado de gaseosas.

Juntamente al método gráfico de las redes de Petri, se emplean las simulaciones para evaluar el desempeño del diseño propuesto permitiéndonos así la revisión y corrección de errores en la ejecución del modelo y la experimentación para la recolección de datos de las plantas potabilizadoras de agua.

Los métodos utilizados en el desarrollo de esta investigación son: simulación y análisis. La simulación nos ayuda a la búsqueda de formas de implementación de los sistemas supervisorios y a su ejecución para la verificación de errores y corrección de los mismos; el método de análisis, indaga a mayor profundidad un tema en específico para conocer hasta los más pequeños detalles logrando así encontrar lo necesitado para el desarrollo de la investigación, donde los puntos esenciales son los diferentes tipos de modelados matemáticos para sistemas industriales y en concreto los sistemas supervisorios inteligentes empleados en subsistemas de filtración de plantas potabilizadoras de agua.

En el desarrollo de esta investigación, en base a la metodología y métodos empleados, se desarrollan las siguientes actividades:

1. Caracterizar desde el punto de vista teórico y contextual los sistemas de supervisión en subsistemas de filtración de plantas potabilizadora de agua.
2. Definir las funciones, variables y otros requerimientos a tener en cuenta para diseñar el sistema de supervisión para el caso de una planta que tiene seis unidades de filtración.
3. Proponer una arquitectura de supervisión para un sistema supervisorio inteligente para el caso de uso.

4. Modelar el sistema supervisorio propuesto utilizando UML (Diagramas de casos de uso, diagramas de secuencia, diagramas de estados).

Capítulo 2: Fundamentación Teórica

2.1. Estado de Arte

Con el constante crecimiento del desarrollo industrial y las diferentes tecnologías de la información, los sistemas de producción y manufactura han sido producto de los grandes cambios que ha significado la intervención de los sistemas de control y supervisión. Los sistemas de monitoreo desempeñan roles importantes en las líneas de proceso de fabricación al supervisar la condición del estado de las máquinas para evitar fallas accidentales de las mismas. Esos sistemas necesitan ser mejorados en sus funcionalidades mediante la adaptación de mecanismos más eficientes, autoconfigurables y de autodeterminación para el soporte inteligente de operaciones de manufactura. (Shin et al., 2016). Este nuevo concepto de supervisorios inteligentes, es caracterizado por su arquitectura avanzada que se basa en un flujo bidireccional de comunicación y eso implica componentes, incluidos sensores de medición mejorados, vinculados a través de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos SCADA (Fadhel Khelifa & Jelassi, 2014).

Una vez que se ha referenciado que los sistemas de supervisión significan un gran cambio en las diferentes industrias, se busca aun más con la mejora de sus modelos de implementación y diseño, es así que no se utilizan las típicas herramientas de modelamiento, por el contrario, se implementan herramientas sofisticadas para el modelamiento como por ejemplo el Lenguaje de Modelado Unificado (UML). Es de facto el lenguaje de modelado estándar para diseño orientado a objetos y documentación. Cuando los diagramas UML transmiten contradicciones o semántica conflictiva, se dice que los diagramas son inconsistentes. Tales inconsistencias pueden ser una fuente de fallas en los sistemas de software. Por lo tanto, es fundamental que se detecten (a través de una especie de actividad de verificación), analizada y fijada ahorrando así los inconvenientes que se pueden suscitar al momento de la implementación del diseño dentro de cualquier sistema de producción o control (Torre, 2016). A pesar de la aparición de UML como lenguaje de modelamiento y diseño, este no ha tenido mayor impacto en su adopción en

códigos abiertos puesto que la comunidad permanece centrada en desarrollar códigos y funciones para cumplir con las características solicitadas en un sistema y prestan atención en los beneficios que UML les otorga, desde la verificación de errores hasta la optimización completa de un sistema en pocos pasos. Otros beneficios de este enfoque incluyen ampliar los límites de la contribución a la corrección de errores al incluir modeladores y usuarios finales y agregue incrementalmente el modelo UML en proyectos de código abierto (Aldaeej & Badreddin, 2016).

UML luego de servir como herramienta de modelado, se complementa con otros lenguajes o herramientas para optimizar aún más un modelo creado en base a UML. Redes de Petri ayuda con la verificación del funcionamiento del modelo por implementar no solo por simulación sino también formalmente. Para una congruencia más cercana entre UML y el modelo de red de Petri se define una cola de eventos. Cada máquina de estado asignada a un objeto tiene su propia cola de eventos que está disponible mientras la máquina lo esté. Eso permite modelar no solo un simple mensaje que pasa sino también casos, cuando el estado la máquina no puede manejar un evento (Szmuc & Szmuc, 2016). Para sistemas prácticos de fabricación automatizada, Las técnicas de control de supervisión (SCT) son de gran importancia y deben integrarse en sus modelos de planta. SCTs son frecuentemente acompañado de problemas de simplificación del supervisor. En el pasado, se da por sentado que la simplificación del supervisor está asociada con la estructura de los sistemas, porque la mayor simplificación de las técnicas se basa en el análisis de la estructura. Un estudio muestra que en realidad es independiente de los sistemas estructurales. Esta declaración contra-intuitiva es activada por una técnica de simplificación llamada análisis de desigualdad, que es notablemente presentado en tres perspectivas. Primero, emplea álgebra para simplificar las ecuaciones del supervisor. En segundo lugar, no solo puede explicar tanto la dependencia fuerte como la débil mediante análisis de álgebra, pero también la dependencia que el análisis de estructura no puede describir. Tercero, es robusto a la formación de desigualdad, cambio de estructura y métodos de control de la vida. Gracias a estas características, el supervisor y la simplificación a través del análisis de desigualdad se

convierten en un trabajo sistemático irrelevante para los sistemas originales y su control (Chen & Hu, 2016).

El manejo de alarmas en el sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA) es un problema crítico para asegurar las infraestructuras críticas. Cada error o demora en borrar una alarma puede poner en peligro la confiabilidad y seguridad del sistema. Se analiza y modela la gestión de comunicación de alarmas SCADA utilizando el lenguaje de modelado unificado y las redes de Petri temporizadas de colores. El modelo de manejo de alarmas propuesto no se refiere a una aplicación específica y se basa en un enfoque general cuyas transacciones de alarmas están integradas con los comandos del despachador y el mantenimiento del operador del proceso (Mahmoudi-Nasr, 2019).

Con el desarrollo y avance de las investigaciones de las herramientas de modelado en mención, se espera que los sistemas de supervisión inteligentes lleguen a tal nivel de que incluyan la inteligencia artificial para la toma de decisiones. Los sistemas de monitoreo, recolectan todos los datos de variables de campo que intervienen en un proceso de producción pero los sistemas de entrega de muestras son propensos al mal funcionamiento para lo que se busca un método donde intervenga la inteligencia artificial como un sistema experto de diagnóstico de fallas y adquisición de conocimientos para que en posterior en base a estos diagnósticos se ejecuten sistemas de control de fallas automáticos (Tang et al., 2017). Las tecnologías avanzadas como la tecnología inalámbrica inteligente, redes inteligentes e inteligencia artificial por lo general son implementadas microcontroladores por la facilidad de su programación, pero todas estas aplicaciones se necesitan que vayan más allá y abarque el área industrial entre otras de suma importancia. Es así que dentro de los sistemas de monitoreo inteligente se incluyen este tipo de tecnologías que trabajan en tiempo real en la supervisión de variables de campo (Lone & Chavan, 2018).

2.2. Automatización industrial.

La automatización es la utilización de varios tipos de sistemas (eléctricos, electrónicos, neumáticos, electromecánicos, etc.) y esquemas de control para realizar diferentes tareas básicas o complejas con mínima o ninguna intervención humana (Brooks, 2017). En estos últimos años las diferentes carreras de ingenierías orientadas a las industrias y control de procesos han tenido un crecimiento notable, gracias a la inserción de los controles automáticos, internet industrial y otras herramientas y sistemas que colaboran significativamente en el aumento de la producción y abarato de costos.

2.2.1. Noción de automatismo.

La automática industrial está basada en diferentes sistemas cuyo objetivo común es el sustituir la intervención del operador humano y que sea reemplazado por dispositivos electrónicos o mecánicos que se encarguen de los procesos repetitivos, ubicando así al operador humano en tareas que hasta el día de hoy no han podido ser reemplazadas por robots. Todos estos procesos automáticos se encuentran vigilados y comandados por lo que se denomina un autómata programable que no es nada más que el dispositivo que se encarga de gobernar el funcionamiento de toda una máquina o de una serie de procesos. Un claro ejemplo del uso diario doméstico, encontramos el microondas que es un electrodoméstico que consta de un panel de mando donde están todas las configuraciones necesarias para realizar las acciones que uno elija y a su vez este controlador que se encuentra en su interior se asegura que cumpla cada una de estas acciones seleccionadas para la calefacción, cocción o descongelado de alimentos. El ámbito industrial no es la excepción, pues dentro de este es donde más se encuentran máquinas y procesos con controles automáticos donde hace ya varios años atrás sustituyeron la mano del hombre. En la actualidad si una empresa quiere ser competitiva frente a otra, es obligatorio el uso de las tecnologías de control mejorando así la productividad, la calidad y disminuyendo los costes de producción ayudando así al progreso económico de un país o sector. (Torres, 2003)

2.2.2. Elementos de un sistema de control automático.

Los sistemas de control automático, por lo general se encuentran en las industrias ya que dentro de estas se generan ciclos de trabajo repetitivos donde pueden ser sustituido por autómatas.

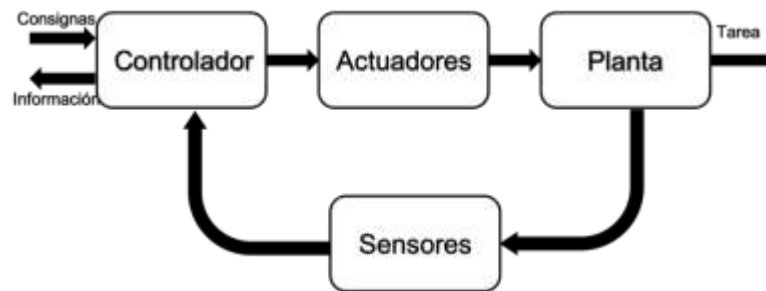


Figura 2. 1: Elementos de un sistema de control automático
Fuente: (Torres, 2003)

La figura 2.1, nos muestra los elementos de un sistema de control automático donde se resalta la importancia de cada uno de ellos y del trabajo que cumplen en el sistema.

- a) Planta.- Se describe a la máquina o proceso el cual es objeto para realizar las acciones de control.
- b) Sensores o captadores.- Son los dispositivos que se encargan de la medición y conversión de las variables físicas por variables eléctricas. Por medio de ellos se puede captar la información de las variables como temperatura, humedad, presión, velocidad, caudal y decenas de variables que son de suma importancia conocer antes, durante y después de un proceso. Estos sensores pueden ser: finales de carreras, sondas de temperatura, sensores ultrasónicos o infrarrojos entre muchos más que nos proporcionan los datos deseados (Piedrafita, 2004).
- c) Actuadores.- Al contrario de los sensores o captadores que solo leen información del medio donde se encuentran, los actuadores realizan una acción en base a los datos que proporcionan los sensores y el controlador. Los actuadores se pueden clasificar en tres:
 - Eléctricos.- Los actuadores eléctricos son los diferentes dispositivos que necesitan la energía eléctrica para poder

generar su acción. La energía eléctrica que usan puede ser de corriente directa o continua (DC) y de corriente alterna (AC).

Entre los principales actuadores eléctricos tenemos los motores, servomotores, motores paso a paso, electroválvulas entre otros elementos que pueden cumplir una acción en base a señales eléctricas. (Ramírez et al., 2014)

- Pre accionador eléctrico.- Los preaccionadores eléctricos son los elementos que permiten conmutar el paso de la corriente a los diferentes actuadores. Gracias a ellos se puede realizar la acción de control ya que el dispositivo central o controlador solo se encarga de enviar una señal de acción, pero los actuadores necesitan de una etapa de fuerza y es en ese caso que trabajan los preaccionadores que no son nada más que los grupos de contactos, bobinas, variadores de velocidad, arrancadores etc. que se acoplan directamente a los actuadores.
- Hidráulicos.- Los actuadores hidráulicos se basan en la transformación de la energía almacenada de un fluido a presión y que por general suelen ser aceites de diferentes viscosidades que dependerán del trabajo a realizar.

La principal ventaja de este tipo de actuadores es la relación potencia/peso que existe entre ellos y se la emplea cuando el esfuerzo a desarrollar es muy importante como por ejemplo las prensas de corte, elevadores hidráulicos entre otros; pero de igual manera presentan ciertas desventajas entre las que se señala la velocidad de actuación y la precisión en este tipo de actuadores.

- Pre accionador hidráulico: Los preaccionadores hidráulicos permiten que se ejecute una acción por parte de los actuadores. Las válvulas hidráulicas son las que permiten el paso del líquido al actuador, pero no tendría razón de ser el control automático si no existe una válvula controlada eléctrica o electrónicamente, es en este caso que se utilizan las electroválvulas o válvulas motorizadas

que mediante señales de un controlador manejan la posición de apertura o cerrado para el paso del líquido.

- Neumáticos.- Los actuadores neumáticos son aquellos que aprovechan la transformación de la energía acumulada del aire comprimido para convertirlo en un trabajo mecánico que es efectuado principalmente por cilindros, motores y dispositivos neumáticos en movimiento lineal o rotativo.

- Pre accionador neumático.- Al igual que los preaccionadores hidráulicos, para la neumática también se emplean electroválvulas que darán o no darán paso del aire comprimido a los diferentes actuadores. (Piedrafita, 2004)

- d) Controlador.- Los controladores son el cerebro funcional de todo el circuito de automatización ya que en él se carga la programación de las funciones que va a ejecutar, entre las funciones están las de lectura y escritura.

La función de lectura se encarga de recibir las señales que emiten todos los sensores y procesarlas para que en base a esa información se ejecuten las acciones.

La función de escritura ejecuta los comandos creados en la programación del controlador, estas señales son recibidas por los preaccionadores que pueden ser de los diferentes tipos que se mencionan en el ítem anterior.

- e) Consignas.- Las consignas o parámetros iniciales son todos los valores que se ingresan como referencia para que se ejecute un proceso como por ejemplo la temperatura que se requiere que llegue un sistema, el nivel máximo o mínimo al que puede llegar un tanque de algún líquido, la velocidad de un motor etc.

La consigna a su vez funciona como dato referencial para comparar si el sistema ha logrado cumplir con el parámetro ingresado, todo este proceso de comparación se lleva a cabo en el controlador. En caso de haber cumplido o no el valor de la consigna, el controlador debe tomar la decisión de qué acción ejecutar en base a la información de estado que el sensor emita.

- f) Tarea.- Es la acción que cumple el actuador, como por ejemplo el de encender una resistencia de calefacción para calentar un líquido, aperturar o cerrar una válvula motorizada, encender o apagar un motor.

2.2.3. Autómatas programables industriales.

La definición de autómata programable es la de un sistema electrónico programable que se diseña para poder operar en un entorno industrial, utiliza diferentes tipos de memorias en las cuales se almacenan los códigos de programación para la interpretación de las señales externas, su procesamiento y ejecución de acciones. Con todos estos procesos se crean soluciones a problemas empleando funciones lógicas, secuencias, temporización, conteo, sensado entre muchas más funciones que son necesarias en el entorno industrial de control.

2.2.3.1. Estructura modular de un autómata programable.

La parte principal de un autómata programable es la Unidad Central de Proceso que es la encargada de procesar toda la información tanto en la entrada como en la salida de este. Acompañando a este procesador se encuentran las unidades de memoria RAM, ROM y memorias de seguridad grabable eléctricamente.

Un autómata programable internamente se maneja con canales de comunicación denominados buses internos de comunicación. A estos buses se les puede adjuntar módulos con los cuales se cumplen funciones específicas en las entradas y salidas de este. Un ejemplo de entradas son los módulos de sensores, pulsadores señales análogas o digitales que sirven como información de entrada; las salidas como por ejemplo señales análogas o digitales conectadas a módulos de preaccionamiento como los contactores, variadores de frecuencia, arrancadores etc.

En la figura 2.2, se aprecia el CPU Simatic S7-1200 de la marca Siemens, el cual ejecuta el programa del usuario y se puede conectar a la red con diferentes componentes de automatización. Pero su configuración física

puede ser expandible con muchos más módulos, es así como se considera que existen autómatas en tres clasificaciones. (Piedrafita, 2004)

- a) Autómatas compactos
- b) Autómatas semimodulares
- c) Autómatas modulares



Figura 2. 2: Simatic S7-1200, Siemens
Fuente: (Siemens, (2019). *Simatic S7-1200*. Figura recuperada de <https://new.siemens.com/global/en.html>)

2.2.3.2. Lenguajes de programación de autómatas.

Conjuntamente a la evolución de los autómatas se ha producido un avance en los diferentes tipos de programación de estos mismos. En sus inicios, los autómatas eran programados con las conocidas listas de instrucciones y el lenguaje de contactos o escalera como lenguaje de programación gráfico.

La lista de instrucciones es una evolución del lenguaje, que en su tiempo fue conocido como lenguaje ensamblador y que continuamente fue añadiendo más opciones de lectura y escritura en salidas digitales. Este tipo de lenguaje es considerado de bajo nivel ya que solo permite la ejecución de una acción u operación por cada línea de código.

El lenguaje de contactos es una imitación del funcionamiento de los conocidos relés eléctricos y es el lenguaje que mayor mente se emplea en las diferentes marcas de autómatas puesto que es mucho más sencillo para ser

manejado por los operarios de una industria. Sin embargo, en el desarrollo de aplicaciones muy grandes, este se ve limitado o muy tedioso al momento de ser implementado.

Estos dos lenguajes son los que representan mayormente a dos grandes grupos de lenguajes de programación en autómatas ya que los lenguajes de programación se dividen en:

a) Gráficos

- Diagrama de escaleras (Ladder Diagrams)
- Flujogramas
- Diagramas de funciones lógicas
- Grafcet

b) Informáticos

- Lista de instrucciones
- Basic
- Pascal
- C

2.2.4. Clasificación de los sistemas de control según su tecnología.

Las tecnologías han avanzado y evolucionado con el paso del tiempo y de la mano de la tecnología están los sistemas de automatización industrial, específicamente los controladores que presentan una clasificación que se divide en dos grupos: la lógica cableada y la lógica programada. (García, 2001)

2.2.4.1. Lógica cableada.

Su definición se da por los diferentes elementos que intervienen en su implementación. Un ejemplo es la tecnología eléctrica, sus uniones físicas implementan mediante la utilización de cables eléctricos, contactores, relés pulsadores entre otros elementos. Así mismo la tecnología electrónica usa las puertas lógicas para realizar los sistemas de control automático.

En la tecnología fluidica y neumática, se da el caso de la utilización de tuberías de diferentes materiales como acero, cobre, plástico, etc. para juntar los elementos que intervienen en su implementación como válvulas, manómetros, preostatos etc. Estas últimas tecnologías presentan limitaciones debido a la imposibilidad de realizar acciones complejas de control, sus sistemas son de gran volumen y peso, no presenta una flexibilidad frente a modificaciones y sus reparaciones en caso de daños o cambio de piezas son muy costosas.

2.2.4.2. Lógica programada.

La aparición de la lógica programada se da desde la aparición de los microprocesadores y microcontroladores que fueron implementados en los controladores industriales ofreciendo mayor rentabilidad frente a la lógica cableada. Entre las ventajas se pueden mencionar la flexibilidad que ofrece al realizar cambios, existe la posibilidad de realizar cálculos científicos, implementar algoritmos mucho más complejos para el control de los procesos y la implementación de dispositivos de comunicación.

En la actualidad y con la exigencia de los sistemas de control en las diferentes empresas, se realiza la combinación de ambas tecnologías, creando así sistemas más rentables y que ofrecen alcances mucho mejores que optimizan eficazmente la producción de una empresa.

2.3. Redes de Petri.

2.3.1. Definición de redes de Petri.

(Sakib et al., 2014) menciona que una red de Petri (PN) es un lenguaje de modelado matemático y una herramienta gráfica para la descripción y análisis de sistemas concurrentes, asíncronos, paralelos, distribuidos, no deterministas y estocásticos, concordando con (Junker & Schreiber, 2008) que afirma lo antes mencionado. Las redes de Petri tienen una representación gráfica ejecutable, que admite la intuitiva comprensión del sistema modelado y la comunicación entre científicos que trabajan experimental y teóricamente. Hay objetos movibles, la animación de los cuales visualiza posibles flujos a través de la red. La animación modelo ayuda a experimentar el

comportamiento de la red y permite probar si el modelo realmente lo hace comportarse de la manera deseada.

Una de las grandes ventajas de la teoría de la red de Petri es que comprende la definición de propiedades estructurales y de comportamiento. La teoría de la red de Petri permite formular criterios de validación del modelo, que aumentan la confianza en el modelo. Entonces todo el proceso de modelado es un procedimiento iterativo de diseño, animación y análisis de modelos. Además, las redes de Petri apoyan la integración de métodos cualitativos y cuantitativos al servir como una descripción matemáticamente unificadora.

2.3.2. Elementos de las redes de Petri.

Los elementos básicos que permiten la definición y representación de una red de Petri son los siguientes y se presentan en la figura 2.3.

- a) Lugar. - Representado por un círculo, puede ser representado como una condición, un estado parcial, una espera, un procedimiento, un conjunto de recursos, una posición gráfica de transporte, etc. En general, todos los lugares tienen un predicado asociado, por ejemplo, máquina libre en espera.
- b) Transición.- Representado por una barra o rectángulo, está asociado con un evento que ocurre en el sistema, como una operación de inicio de evento.
- c) Marca o tokens.- Representada por un punto en un lugar, es un indicar que indique que se verifica la condición asociada a un lugar. Puede representar un objeto en una determinada posición geográfica (en un estado particular, o incluso una estructura de datos manipulados. Por ejemplo, una máquina libre indica que la máquina es libre (predicado verdadero) si no tienes tokens en este lugar. Si en su lugar hubiera tres tokens en espera, indicaría que hay tres en espera. (Cardoso & Valette, 1997)
- d) Arcos.- Son los segmentos que tienen una orientación y unen los lugares con las transiciones de forma alternativa.

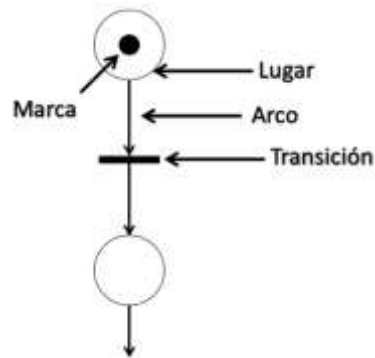


Figura 2. 3: Elementos de una red de Petri
Fuente: (Cardoso & Valette, 1997)

2.3.3. Lugares de entrada y salida.

Los lugares pasan a denominarse lugares de entrada a una transición solo si existe un arco que se oriente desde el lugar hasta la transición, de la misma manera los lugares de salida son lo contrario y se definen solo si existe un arco orientado desde la citada transición a un lugar. En la figura 2.4 podemos ver los ejemplos de los lugares de entrada y salida de una red de Petri.

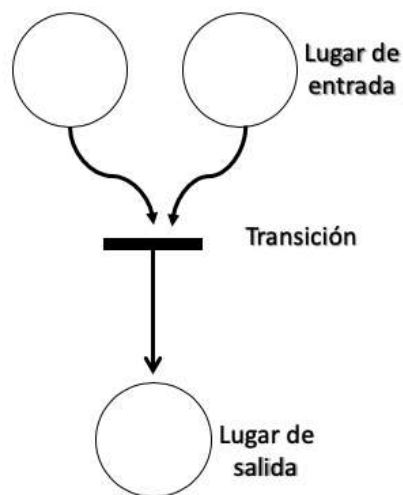


Figura 2. 4: Lugares de entrada y salida de una red de Petri
Fuente: (Cardoso & Valette, 1997)

2.3.4. Marcado de una red de Petri.

El marcado de una red de Petri tiene que ver con el número entero positivo, no necesariamente limitado de marcas o tokens que puede tener un lugar y que se representa con un punto. (Murillo, 2008)

En la figura 2.5 se observa que el lugar dos denotado con P2, por su nombre en ingles (place), tiene tres marcas, diferente es el caso de P4 y P3 que contienen tan solo una marca y P1, P5, P6 que no contienen ninguna marca en su interior. A todo este conjunto de marcas, en un instante determinado se le denomina marcaje o marcado de una Red de Petri.

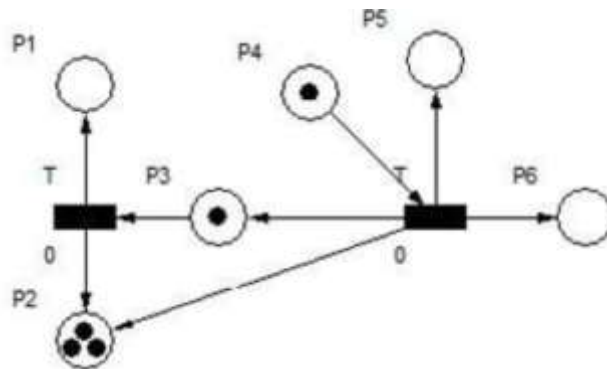


Figura 2. 5: Marcado de una red de Petri
Fuente: (Murillo, 2008)

2.3.5. Disparo de una red de Petri.

Para la descripción de lo referente al disparo de una red de Petri se tomará un ejemplo expuesto por (Medina et al., 2013).

Como se visualiza en la figura 2.6, es el ejemplo de la reacción química del agua representada mediante una red de Petri. En la figura 2.6 (a), se tiene como entrada las dos moléculas de O₂ y H₂. La transición t se encuentra habilitada ya que la cantidad de marcas en los lugares de entrada es igual o mayor que el peso del arco que en este caso ejemplo es 2. Se procede con el disparo de las marcas donde se desplazan y quedan como se muestra en la figura 2.6(b). Se toman dos marcas del H₂, uno de O₂ y se finaliza con el lugar de salida quedando expresado en H₂O, esto se ejecuta de acuerdo con el valor del peso del arco que conecta la transición.

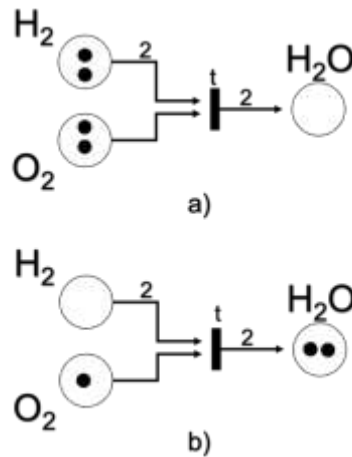


Figura 2. 6: Ejemplo de disparo de una red de Petri
Fuente: (Medina et al., 2013)

2.3.6. Propiedades de redes de Petri.

Según (Murillo, 2008), las redes de Petri mantienen dos tipos de propiedades generales: las que son dependientes del marcado que son denominadas propiedades funcionales y las independientes del marcado inicial llamadas propiedades estructurales.

2.3.6.1. Propiedades funcionales.

- Limitación. - Se dice que una red de Petri es k -limitada para un determinado número de marcas si el valor máximo de marcas existentes en un lugar es igual a k . Si el número máximo de marcas que contiene la red es uno, se dice que la red de Petri es 1-limitado o binaria. Esta propiedad es esencial para la realización física de una red de Petri.
- Vivacidad.- Una red de Petri cumple con la vivacidad cuando garantiza una operación sin bloqueos y es lo que se busca en la ejecución de programas o modelos.
- Reversibilidad.- La red debe garantizar su repetitividad n veces debido a que todos los sistemas de control trabajan de manera cíclica.
- Alcanzabilidad.- Desde un estado inicial se requiere que la red continúe su paso automáticamente hasta un estado deseado, si no cumple con esta capacidad, no se comporta con lo deseado.

2.3.6.2. Propiedades estructurales.

- a) Cobertura.- Un marcado dentro de una red de Petri es un conjunto de marcas cubiertas o contenidas por lugares.
- b) Distancia sincrónica.- Es la dependencia mutua entre un sistema, condición o evento.

2.4. Lenguaje unificado de modelado: UML.

Con el avance de las tecnologías y las rigurosas exigencias de los sistemas de control automático se presenta la necesidad de crear modelos matemáticos relacionados al control para facilitar el diseño tanto de sistemas de supervisión, control, adquisición de datos etc. UML se presenta como una herramienta sofisticada para el modelamiento de diversos sistemas y cuya definición se presenta a continuación:

2.4.1. Definición de UML.

El Lenguaje Unificado de Modelamiento (UML), es un lenguaje estándar que tiene prestaciones para la escritura de planos de software donde su principal utilidad se da con la visualización, construcción y documentación de diferentes artefactos de componen un sistema con gran cantidad de software. UML además se utiliza para modelar desde pequeños sistemas de información hasta grandes aplicaciones distribuidas basadas en la web en tiempo real. (Alarcon, 2000)

UML es ahora el lenguaje de modelado de facto para el desarrollo de software. Varias características explican su popularidad: es una notación estandarizada, rica en expresividad; UML proporciona 13 tipos de diagramas que permiten modelar varias vistas y niveles de abstracción diferentes. Además, UML admite extensiones específicas de dominio que utilizan estereotipos y valores etiquetados. Finalmente, varias herramientas de casos integran el modelado UML con otras tareas, como generar código y modelos de ingeniería inversa a partir del código. (Lange et al., 2006)

2.4.2. Orientación a objetos.

La típica forma de programar hace referencia a la ecuación de Wirth (Alarcon, 2000): Algoritmos + Estructura de datos = Programa.

Esta ecuación nos referencia a que la programación está orientada a procedimientos donde el código y los datos se tratan por separado y se cumplen línea a línea hasta obtener un resultado deseado, objetivo de la programación.

En la programación orientada a objetos, se aplica la técnica de programación donde el soporte fundamental es el objeto. Cuando se habla de objeto, se hace referencia a una extensión de tipo abstracto y está definido por el usuario, este encapsula el conjunto de datos y los procesos que estos cumplen como por ejemplo las operaciones entre ellos. Cabe destacar que dentro de estas técnicas se cumplen otras más que son: la herencia, abstracción polimorfismo y encapsulamiento ya mencionado.

La programación orientada a objetos, muestra significativas ventajas entre las cuales se presentan:

2.4.2.1. Ventajas de la orientación a objetos.

- **Fiabilidad.**- Los programas orientados a objetos son mucho más confiables por la sencilla razón de se toma como referencia al objeto definido que está ampliamente testeado.
- **Modificabilidad.**- Este tipo de programas presentan la facilidad de ser modificados de acuerdo a la exigencia sin dañar toda la estructura del programa, pues solo se basa en eliminar, modificar o agregar nuevos objetos a la programación global.
- **Mantenibilidad.**- Su mantenimiento presenta facilidad de realizar ya que sus estructuras están basadas en objetos donde se puede ocultar información irrelevante y dejando a la vista lo más importante facilitando así la comprensión.

- Reusabilidad.- La programación hecha en diferentes objetos puede ser nuevamente usada en otros proyectos a lo que se llama también reciclaje de código.

2.4.3. Principios básicos del modelado.

El modelado de un sistema cumple un propósito que es cumplir con los requisitos que necesita el usuario de una manera óptima y simplificada. Para poder conseguir un software o un sistema de calidad, que sea duradero y que a pesar de su complejidad sea fácil de manejar se debe idear una sólida base arquitectónica que presente posibilidad al cambio. UML se presenta como herramienta sofisticada de modelado evitando así la escritura de miles de líneas de código redundante y otorga un enfoque rápido de lo que se quiere lograr.

Dentro del ámbito industrial, el obtener un programa de calidad es esencial ya que este no debe presentar fallo alguno y de ser así las industrias estarías perdiendo cientos o miles de dólares de ingresos por paros o daños en los procesos que tal programa supervisa o controla. Para conseguir que un programa otorgue la calidad requerida, es necesario que se sigan reglas y pautas para así obtener un modelo óptimo que represente de la mejor manera el proceso y el problema que se desea abordar. El modelado es el centro del desarrollo de un software de calidad. Los programas actuales mantienen modelos para explicar el comportamiento de los sistemas, sin el uso de modelos el desarrollo se ve muy complicado y tedioso.

Exponiendo estas razones que presenta la utilización de un modelo para el desarrollo de un software es inevitable su uso. Resumiendo, que un modelo es una simplificación de la realidad que describe todo un sistema y con el cual podemos conseguir cuatro objetivos:(Alarcon, 2000)

- Los modelos nos permiten visualizar específicamente cómo es un sistema y a donde queremos llegar en el desarrollo del software.
- Un modelo especifica la estructura y cómo se comporta un sistema.
- El modelo es una base que nos guía para la construcción de un sistema.

- Los modelos documentan los cambios y decisiones que se han adoptado.

Existen cuatro principios básicos de modelado:

- a) Elección del modelo.- Se debe seleccionar un modelo adecuado dependiendo de lo requerido para el software y por lo general en la industria un modelo orientado a objetos muestra gran flexibilidad y adaptabilidad.
- b) Todo modelo puede ser expresado a diferentes niveles de precisión.- Determina la necesidad de detalle dependiendo de cada parte del proyecto y etapa.
- c) Los mejores modelos están ligados a la realidad.- El objetivo es conseguir modelos que se apeguen a la realidad y la representen claramente.
- d) Un solo modelo no es suficiente.- La selección de un solo modelo para un sistema no es suficiente, es preferible trabajar con varios modelos e irlos interrelacionando con el objetivo de conseguir uno solo que abarque las características de los otros siempre y cuando sea funcional para todo el sistema en caso.

2.4.4. Elementos estructurales.

Los diferentes elementos estructurales dentro de UML son partes estáticas del modelo y representan o definen partes conceptuales o materiales: (Alarcon, 2000)

2.4.4.1. Clases.

Se definen como clases a una descripción del conjunto de objetos que se encuentran compartiendo los mismos atributos, relaciones, semántica y operaciones. Su representación gráfica es un rectángulo donde se incluyen sus atributos operaciones y principalmente su nombre.

2.4.4.2. Interfaz.

La interfaz sencillamente es una colección de operaciones de una clase o de un componente. Con la interfaz se describe el comportamiento exterior

de ese elemento ya sea tan solo una parte o el comportamiento completo de este. La interfaz se representa con un círculo.

2.4.4.3. Colaboración.

Es una interacción a manera de sociedad de roles y otros elementos que proporcionan un comportamiento cooperativo mucho mayor que un que el comportamiento de todos sus elementos. Las diferentes colaboraciones abarcan tanto una dimensión estructural como de comportamiento. Dentro de una colaboración pueden intervenir diferentes clases. Su representación gráfica es una elipse de línea discontinua.

2.4.4.4. Casos de uso.

Casos de uso definen a la descripción de una serie de acciones que se ejecutan en un sistema para la obtención de un resultado que es de interés. Su principal utilidad es organizar el comportamiento del modelo del sistema en función. Se representa con una elipse de línea continua.

2.4.4.5. Clase activa.

Es parecida o igual a una clase normal con la excepción de que los objetos de esta clase representan elementos que manejan un comportamiento concurrente con respecto a otros elementos. Su representación gráfica es idéntica a una clase normal con el uso de líneas más gruesas.

2.4.4.6. Componentes.

Es una parte física de un sistema informático y estos a su vez conforman un conjunto de interfaces. Los componentes representan un encapsulado de elementos físicos-lógicos.

2.4.4.7. Nodos.

Al igual que los componentes, los nodos son un elemento físico computacional que disponen de memoria y pueden tener la capacidad de procesamiento.

Todos los elementos que se mencionan forman parte de la estructura básica de UML y aunque pueden existir variaciones dependiendo del caso de

sus cambios optimizan su uso en el sistema. En la figura 2.7 se muestra un diagrama de la vista general de UML con los elementos mencionados.

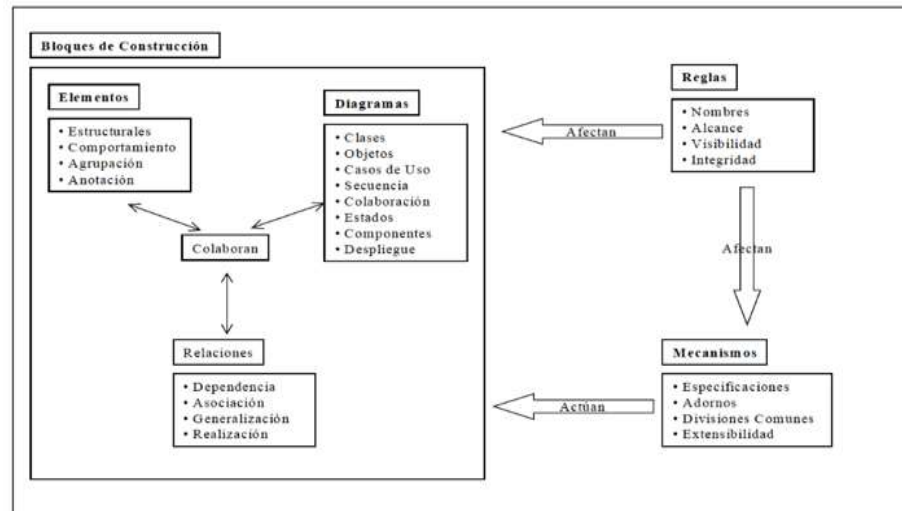


Figura 2. 7: Elementos estructurales básicos UML
Fuente: (Alarcon, 2000)

2.5. Proceso de potabilización del agua.

El agua desde su estado natural rara vez se presenta en calidad óptima para su consumo, es por eso por lo que para salvaguardar la vida de miles de millones de personas el agua debe pasar por un proceso de potabilización donde se controla la calidad con la que el usuario accede a este líquido vital.

El proceso de potabilización se da en múltiples etapas y cada etapa cuenta con subetapas que se encargan de garantizar un producto óptimo para el consumo humano. (*Veolia Water Technologies supplies the world with drinking water, s/f*)

2.5.1. Etapas de la potabilización del agua.

El proceso de potabilización se divide en 5 etapas y dentro de las cuales se manejan subetapas o subprocessos los cuales se presentan a continuación:(Idrovo, 2010)

2.5.1.1. Captación.

El proceso de captación se da en embalses en ríos, manantiales, lagos, donde ingresa el agua a los sistemas de tuberías para ser transportada hasta las plantas donde será tratada para el consumo humano.

2.5.1.2. Bombeo.

La etapa de bombeo empieza una vez captada el agua donde grandes sistemas de bombas son accionados para ayudar a este líquido a llegar a los reservorios de pre-tratamiento. Existen diversas plantas de tratamiento de agua que no cuentan con el sistema de bombeo inicial ya que gracias a la geografía donde se encuentran este proceso se cumple por gravedad y solo utilizan grandes compuertas de paso para restringir o dar acceso al agua.

2.5.1.3. Pre – tratamiento.

Dentro del proceso de pre-tratamiento encontramos 4 subprocesos que empiezan una vez que los reservorios iniciales cuentan con la cantidad de agua necesaria para ser tratada.

- Desarenador.- Su objetivo principal es el eliminar los desechos grandes como el material sedimentable donde gracias a la gravedad quedan en el fondo de los reservorios.
- Pre-oxidación.- Gracias a esta etapa se oxida la materia orgánica y ciertos metales disueltos como hierro y magnesio lo que da como resultado que el agua cambie de color, olor y sabor.
- Adsorción.- El carbón activo en polvo forma parte de este paso y ayuda a disolver sustancias disueltas en el agua cruda.
- Pre-alcalinización.- Cuando la alcalinidad del agua bruta no es la necesaria para incorporar sulfato de aluminio se agrega ceniza de soda, cal hidratada o soda cáustica, este proceso es muy cuidadoso por lo que se utilizan dosificadores de gran precisión de acuerdo al volumen total de agua.

2.5.1.4. Tratamiento.

El proceso de tratamiento se divide en 5 subprocesos un poco más robustos que los anteriores ya que este es el último paso antes de proceder a almacenar o distribuir el agua a los hogares.

- **Coagulación.-** Neutraliza las partículas a través de la dosificación de sulfato de aluminio. Dentro del reservorio y gracias a grandes paletas de mezclado a alta velocidad, agitan el agua para que esta se mezcle con el coagulante.
- **Floculación.-** Luego de haber agitado el agua, esta pasa a un segundo reservorio a una velocidad inferior para que gracias al coagulante se formen partículas mucho más pesadas. Estas partículas se llaman flóculos.
- **Sedimentación.-** Al reducirse la velocidad de circulación de agua, las partículas descienden por su propio peso. Esa sedimentación de los flóculos le otorga al agua una mayor claridad.
- **Filtración.-** Es una etapa importante dentro del proceso de potabilización ya que es la etapa final de clarificación y la que debe cumplir las normas de calidad con respecto a la turbiedad y color. El agua pasa a través de un medio poroso donde se retienen los flóculos pequeños y los que no fueron eliminados en la sedimentación.
- **Desinfección.-** Se agrega unas cuantas gotas de cloro dependiendo del volumen de agua en el reservorio, el cloro es un agente desinfectante que se lo utiliza comúnmente para destruir microorganismos que pueden transmitir enfermedades.

2.5.1.5. Distribución.

La etapa de distribución se divide en dos pasos:

- **Tanque de reserva.-** Del tanque de reserva se distribuye el agua a toda una ciudad y este nuevamente es abastecido cumpliendo todos los pasos anteriores.
- **Control final.-** Antes de llegar a los consumidores, el agua es rigurosamente controlada por químicos expertos que analizan muestras tomadas en diferentes etapas del proceso de potabilización.

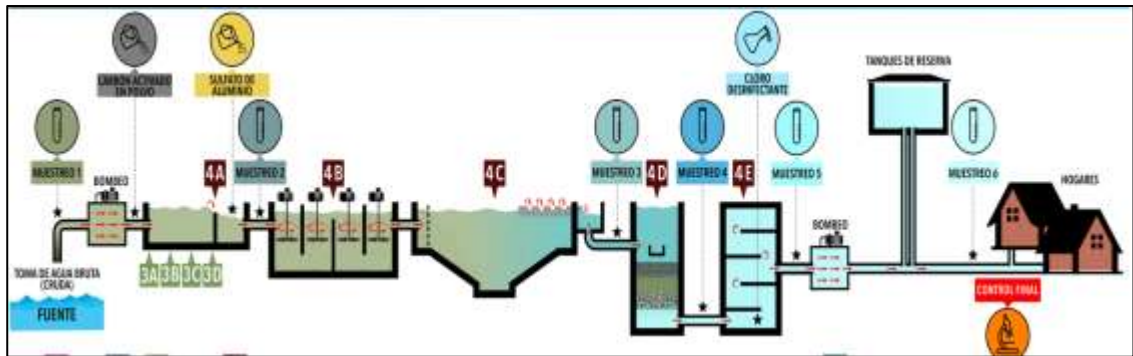


Figura 2. 8: Proceso de potabilización de agua
Fuente: (OSE, 2019)

Con todos estos pasos se cumple todo el sistema de una planta potabilizadora de agua el cual se representa en la figura 2.8 para un mayor entendimiento, siendo este el tema central de la investigación.

2.6. Sistemas SCADA.

El término SCADA es la abreviación de Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos y define a los diferentes softwares que nos permiten el acceso a datos de forma remota de un proceso y que, a su vez, utilizando las herramientas de comunicación que sean necesarias, permita el control de este. Haciendo referencia a la definición citada, vemos que no se trata de un simple sistema de control, muy por el contrario, es una utilidad de un software de monitorización o supervisión que nos permite gestionar los diferentes niveles de control de un proceso industrial. (Rodríguez, 2013)

(Sallam & Malik, 2019) definen a los sistemas SCADA's como la combinación de telemetría y adquisición de datos. Comienza con la medición de los datos por dispositivos específicos en el campo de aplicación y recopilados a través de dispositivos electrónicos inteligentes, luego transfiere estos datos a una estación maestra para implementar los algoritmos de procesamiento y control necesarios. El sistema SCADA consta de cuatro componentes: instrumentación, estaciones remotas, redes de comunicación y unidad terminal maestra. La integración del sistema SCADA y el sistema de automatización de subestación resulta en un monitoreo y control de área amplia en tiempo real de la subestación controlando, por ejemplo, el flujo de energía, el cálculo de los límites de energía y la operación de la subestación.

La corrección del factor de potencia se implementa insertando condensadores de derivación en el sistema. El sistema de corrección del factor de potencia está protegido contra sobrecorriente, sobretensión y sobretemperatura mediante el uso de relés adecuados.

Los primeros sistemas SCADA se implementaron para monitorear procesos de producción específicos, y se emplearon sistemas separados para administrar activos, coordinar operaciones de mantenimiento, optimizar cadenas de suministro y otras operaciones comerciales. Las empresas de hoy en día se componen frecuentemente de un mosaico de estos sistemas de información heredados. Uno de los conceptos centrales de IoT es la comunicación máquina a máquina. Es uno de los avances que hicieron de los controladores lógicos programables (PLC) una invención tan revolucionaria. Al dar a las máquinas la capacidad de tomar decisiones y realizar acciones basadas en nada más que la información que les proporcionan otras máquinas, la tecnología SCADA redefinió por completo los procesos involucrados en industrias como la fabricación, el tratamiento del agua, el petróleo y el gas, y mucho más. La automatización de tareas impulsada por dispositivos mecánicamente autónomos ha mejorado la velocidad, la eficiencia y la calidad de los procesos industriales. (Geng, 2017)

2.6.1. Objetivos de los sistemas Scada's.

Los sistemas Scada's se manejan principalmente como herramientas de monitorización, supervisión y mando. Como todo sistema este también posee objetivos que cumplir para poder definirse como tal, y entre ellos tenemos:

- **Economía.-** Los sistemas supervisorios al estar compuestos por sistemas de telemetría mantienen la facilidad de transmitir los datos a diferentes plataformas o dispositivos que permiten saber qué ocurre en determinado momento durante un proceso. Realizar una supervisión desde un dispositivo móvil, una computadora, una Tablet o cualquier dispositivo conectado al internet es mucho más económico que enviar a técnicos a

realizar revisiones periódicas y determinar posibles fallos del sistema.

- **Accesibilidad.-** Hace referencia a que todos los datos los tenemos a tan solo un clic en la computadora. Poder saber si existen fallos o anomalías en el sistema, reconfigurar parámetros o sacar de funcionamiento elementos que podrían estar generando fallos entre muchas acciones más, es la accesibilidad que nos permiten los sistemas SCADA.
- **Gestión.-** Un SCADA al ser una herramienta de recopilación de datos, estos pueden ser tratados en el mismo programa teniendo la posibilidad de mostrar gráficos, estadísticas, valores tabulados, etc. Que permitan dar un mayor entendimiento de los valores que el sistema nos está entregando.
- **Flexibilidad.-** Otorga facilidad para expandirse ya sea agregando módulos de sensores para integrar mayor cantidad de información o agregando nuevas prestaciones en el programa. No debe limitarse ya que no existen elementos físicos ni de cableado que se tengan que agregar.
- **Conectividad.-** El objetivo es tener sistemas abiertos que permitan la interconexión de diferentes elementos de diversas marcas sin ningún inconveniente en los protocolos de comunicación. (Rodríguez, 2013)

2.6.2. Prestaciones de los sistemas Scada's.

Los sistemas Scada como una herramienta de interfaz gráfica nos ofrece una lista de utilidades y prestaciones encaminadas a crear una comunicación certera y lo más clara posible entre el proceso y los operadores.

- **Monitorización.-** Es la representación de todos los datos del proceso a tiempo real. El proceso inicia desde la medición de los mismos por medio de los elementos de campo como son los sensores y otros elementos. Los datos viajan al controlador y este se encarga de enviarlos a las estaciones remotas para luego ser procesados y mostrados en las diferentes ventanas del sistema.

- Supervisión.- La supervisión va más allá de que la monitorización pues esta ofrece la opción de ejecutar cambios en las programaciones de los controladores de ser necesario y principalmente se encarga de la toma de decisiones basándose en las programaciones y datos establecidos.
- Creación de alarmas y eventos.- Esta es una de las funciones principales del sistema ya que es el que notificará al operador de las averías que se han generado además de guardar registros con la fecha y hora del suceso del evento pudiendo así llegar de manera rápida a la causa del daño.
- Mando.- Presentan la posibilidad de que los operadores puedan ejecutar cambios de consignas u otros datos claves que estén orientados al proceso directamente desde su computador.
- Recetas.- Son las combinaciones de diferentes variables de un proceso que por lo general siempre son las mismas y mantener un sistema de recetas nos ayuda a configurar toda una planta de producción con tan solo ejecutar un comando. (Rodríguez, 2013)

2.6.3. Arquitectura general de un sistema Scada.

En el desarrollo de los sistemas automatizados se localizaba todo el control en el PC de donde se distribuía el control al resto de la planta y en base a este diseño ha quedado una arquitectura dividida en tres bloques principales:

- Software de adquisición de datos y control (SCADA)
- Sistema de control (sensores y actuadores)
- Sistemas de interconexión (comunicaciones)

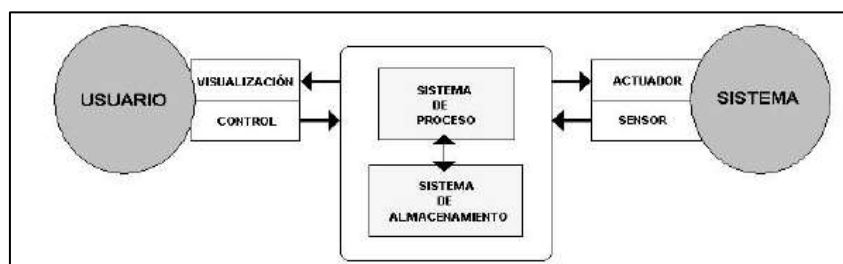


Figura 2. 9: Sistema SCADA, arquitectura básica
Fuente: (Rodríguez, 2013)

Como se muestra en la figura 2.9, distinguimos los 3 bloques de la arquitectura. El usuario, mediante las diferentes interfaces gráficas y de visualización tiene el acceso a las zonas de control del proceso, todo esto se lo maneja desde un PC donde reside el programa de comunicación. La comunicación que se origina entre estos dos elementos o bloques por lo general se da por redes Ethernet industriales que brindan mayor confianza dentro del entorno de trabajo.

Un sistema SCADA es una aplicación que está diseñada para funcionar desde los ordenadores de control de producción y se encuentra ubicada en los niveles superiores de la automatización. Este software proporciona comunicación entre los diferentes dispositivos de campo como los son los sensores y actuadores, RTU (Remote Terminal Unit), controladores, de donde se controla en totalidad el proceso desde una o varias pantallas.

2.6.3.1. Arquitectura del software de un sistema SCADA.

El software que comprende diferentes ventanas de visualización se ejecuta en un computador juntamente con programas específicos que permiten la comunicación con el resto de los dispositivos de planta. Es de suma importancia contar con los drivers y licencias de programas evitando así inconvenientes al momento del trabajo. Los drivers realizan la función de servir como traductores ente los lenguajes de los controladores, la PC y el sistema SCADA, es posible modificar componentes para funciones específicas del programa, pero todo esto depende de las facilidades que otorguen los drivers y los componentes físicos.

Luego de que los datos han sido captados durante el proceso, estos son procesados y pueden ser transferidos a las aplicaciones del software SCADA y a partir de ellos generar hojas de cálculos, históricos, alarmas, entre otras herramientas que brindan una mayor información demo que está pasando en el proceso.

En la figura 2.10, se puede visualizar la arquitectura del software de un sistema SCADA. En un software SCADA podemos diferenciar dos bloques bien definidos: el del programa de desarrollo y el programa de ejecución. El

primero engloba las diferentes utilidades que nos ofrece el SCADA tales como la creación de gráficos, dibujos, objetos, textos etc. Mientras que el segundo bloque es el encargado de ejecutar la aplicación juntamente con el programa en el que se ha desarrollado. De igual manera la figura 2.10, nos da una aproximación gráfica de cómo es el funcionamiento interno del software para una aplicación de supervisión.

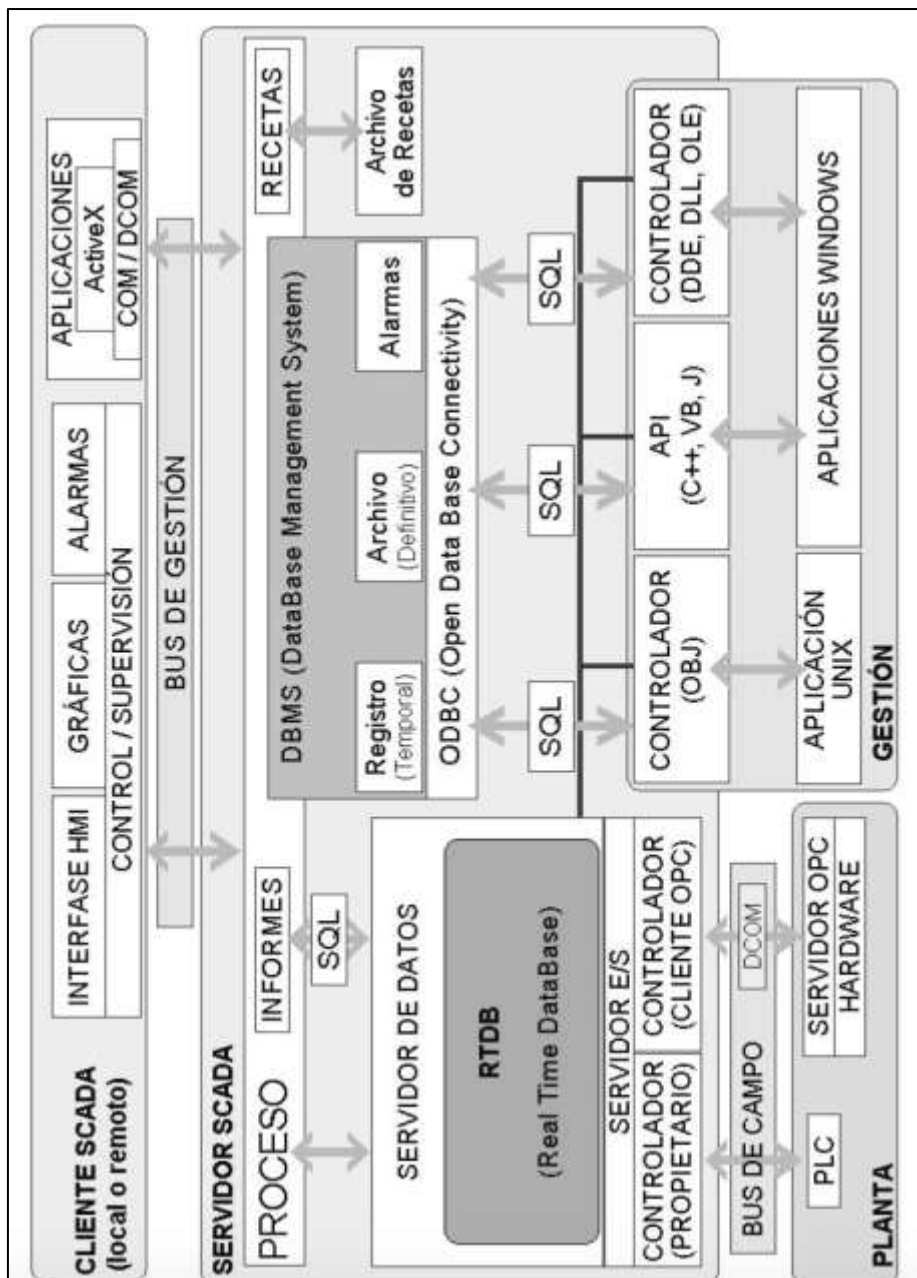


Figura 2. 10: Arquitectura general del software de un SCADA
Fuente: (Rodríguez, 2013)

2.6.4. Componentes de un sistema Scada.

Cada sistema consta de componentes que lo conforman. Los sistemas SCADA de igual manera cuentan con elementos que forman parte del programa y de todo el sistema, entre ellos tenemos:

2.6.4.1. Configuración.

Define las características acordes al entorno de trabajo y lo adapta a las diferentes necesidades del proceso. Entre las principales necesidades tenemos, la organización de las ventanas o pestañas del programa que deben poseer una estructura de fácil entendimiento y herramientas que permitan la realización de tareas de manera rápida y eficiente.

2.6.4.2. Interfase gráfica.

Las interfaces gráficas nos permiten una recreación del proceso que se está supervisando y ofrece un mayor entendimiento del mismo. Las interfaces gráficas están compuestas de imágenes, textos y mediante ellos se puede aplicar las funciones de control y supervisión de la planta.

2.6.4.3. Tendencias.

Son parte de las utilidades que nos brinda un sistema SCADA y nos permite la representación de la evolución de las diferentes variables del sistema con un mayor entendimiento.

2.6.4.4. Alarmas y eventos.

Las alarmas y eventos son una parte principal dentro de los sistemas SCADA pues son los encargados de vigilar los parámetros de las variables del sistema y en caso de suceder actos o eventos no deseables, notificarlos y mantener un registro de los mismos. Los eventos no deseables merecen una atención rápida por parte de operarios o técnicos encargados para evitar el paro total o parcial del proceso, de ser así, la producción se ve afectada.

2.6.4.5. Recetas.

Gracias a este concepto es posible mantener una lista de comandos y configuraciones para determinados procesos y con tan solo cargarlos al sistema, se economiza tiempo de programación del proceso. Todo este proceso de configuración se realiza desde la pantalla del SCADA el cual se

encarga de enviar las nuevas condiciones a cada uno de los controladores y estos empiecen a operar con la nueva configuración.

2.6.4.6. Comunicaciones.

El sistema de comunicaciones juega un papel importante dentro del sistema SCADA ya que gracias a él se consigue la transmisión de los datos del lugar de trabajo a cada uno de los ordenadores que cuentan con el SCADA para poder visualizar la información. Al ser comunicaciones industriales, estas deben poseer varias características que nos garanticen el óptimo funcionamiento y la principal característica es la robustez de todo el sistema tanto físico como a nivel de configuración. (Sallam & Malik, 2019)

Capítulo 3: Diseño, Implementación.

En el desarrollo de este capítulo se describen las consideraciones iniciales del sistema, sus funciones y la caracterización del sistema supervisorio inteligente para el subproceso de filtración en una planta potabilizadora de agua. Asimismo, se presenta el diseño juntamente con arquitecturas, topologías, el proceso de modelado y el modelo final del sistema objetivo de investigación. Finalmente se exponen los resultados obtenidos, pruebas y simulación del modelo.

Previo a la presentación del diseño del supervisorio inteligente, se expone la descripción del sistema y su caracterización para tener una vista más clara y general de qué trata el sistema en desarrollo.

3.1. Consideraciones iniciales.

En el entorno industrial, el proceso de automatización de sistemas de producción es sumamente necesario si lo que se quiere es ser competitivo frente a otras industrias del mismo ámbito. La calidad, tiempo y costo de producción son elementos importantes que se deben tomar en cuenta en la competitividad de una industria captando así una mayor acogida en el mercado.

Pero no solo las plantas de fabricación de productos son las que necesitan ser automatizadas, casi todo proceso requiere de la intervención de sistemas de control y supervisión automáticos para poder mejorar su calidad y por ende su productividad. Es así como las plantas de potabilización de agua no son la excepción ya que en ellas se procesa el líquido vital que luego será distribuido para el consumo en las ciudades, pueblos y diferentes sectores necesitando así sistemas muy precisos de supervisión para obtener un líquido de calidad y óptimo para el consumo humano.

Las plantas potabilizadoras de agua cuentan con múltiples etapas para realizar el proceso de potabilización, pero en el desarrollo de esta investigación se pone en estudio el subproceso de filtración con el objetivo de demostrar las diferentes ventajas que otorga el realizar un sistema

supervisorio inteligente aplicando las técnicas de modelado matemático juntamente con las herramientas de Redes de Petri y el Lenguaje Unificado de Modelado (UML).

3.1.1. Descripción del sistema.

La descripción del sistema está combinada con las partes de control automático y supervisión puesto que es necesario que ambas vayan de la mano para comprender cómo funciona el subsistema de filtración y cómo va a ser monitoreado por el supervisorio inteligente en base a un modelado matemático y técnicas de inteligencia artificial.

3.1.1.1. Descripción del sistema de potabilización de agua.

Como se menciona en el capítulo 2, el proceso de potabilización de agua se encuentra dividido en 5 etapas donde cada una cumple una función específica para al final obtener un líquido vital de calidad y poder asegurar su consumo.

La figura 3.1 nos da una visión general de las múltiples etapas que se cumplen en el proceso de potabilización del agua desde su ingreso a la zona de pretratamiento donde se adecua el líquido para ser tratado; la etapa media del proceso de potabilización es donde se concentran las funciones importantes como el mezclar el agua con reactivo para poder purificarla y eliminar todo tipo de componente contaminante, además en esta zona se encuentra la etapa de filtración la cual es objeto de esta investigación donde se aplica un sistema de supervisión inteligente para constatar el funcionamiento óptimo de las baterías de filtros y las diferentes funciones que se cumplen en este subproceso.

Finalmente, la zona 3 del proceso general de potabilización nos detalla cómo se almacena o se distribuye a las ciudades para el consumo de las personas. Gracias a todo este proceso, se obtiene el agua apta para el consumo humano, pero siempre se requiere mantener u optimizar su calidad razón por la cual los sistemas se mantienen en constante mejora con la ayuda de la automatización y supervisión de procesos.



Figura 3. 1: Diagrama del proceso de potabilización de agua
Elaborado por: Autor.

En la presente investigación y en base a los procesos descritos de la potabilización del agua, se pretende la implementación de un sistema supervisorio inteligente para el subproceso de filtración de agua. Para poder realizar el modelado, diseño e implementación es necesario el conocimiento de los pasos de todo el proceso tanto de potabilización como de la parte de filtración para evitar errores en el desarrollo.

3.1.1.2. Descripción del subsistema de filtración de agua.

El objeto de la investigación es el análisis y diseño de un sistema supervisorio para el subproceso o subsistema de filtración donde se amerita el conocimiento a cabalidad de cómo se da subproceso de filtrado, como se mencionaba con anterioridad, el conocer el proceso con exactitud disminuye el margen de error al momento del diseño consiguiendo así un sistema sin errores y que se acople a cada una de las necesidades del sistema.

Para una mayor comprensión, la figura 3.2, nos proporciona una visión del subproceso de filtración, el cual está comprendido por: seis unidades filtración, tanque de lavado y almacenamiento. Actuadores como bombas y electroválvulas que controlan el paso del líquido a las diferentes secciones de filtración, los sensores son los encargados de registrar la información del proceso para luego enviarlas al sistema de supervisión.

El ingreso del agua aún con sedimentos a la zona de filtros, se realiza por el tubo de interconexión, cada una de las unidades de filtración tiene cinco válvulas que cumplen funciones diferentes: (V1) da paso a la entrada de agua a ser filtrada, (V2) la salida de agua luego del proceso de filtración, (V3) da el paso al agua para realizar el lavado de filtros a contracorriente, (V4) salida de agua de desecho y (V5) salida de drenaje, tal como se ilustra en la figura 3.2.

La función de lavado se habilita siempre y cuando exista un nivel mayor a 0.2 metros en el tanque de almacenamiento. Si este nivel presenta valores inferiores el proceso de lavado quedará bloqueado donde se evita la entrada de agua a los mismos que proviene del tanque de lavado. El nivel de habilitación puede ser ajustado durante la operación del sistema. Durante la carrera de filtración el nivel de agua en los filtros irá aumentando, debido a que la acumulación de sedimentos en los filtros hará que estos pierdan capacidad de carga, hasta llegar a un valor de nivel máximo deseado.

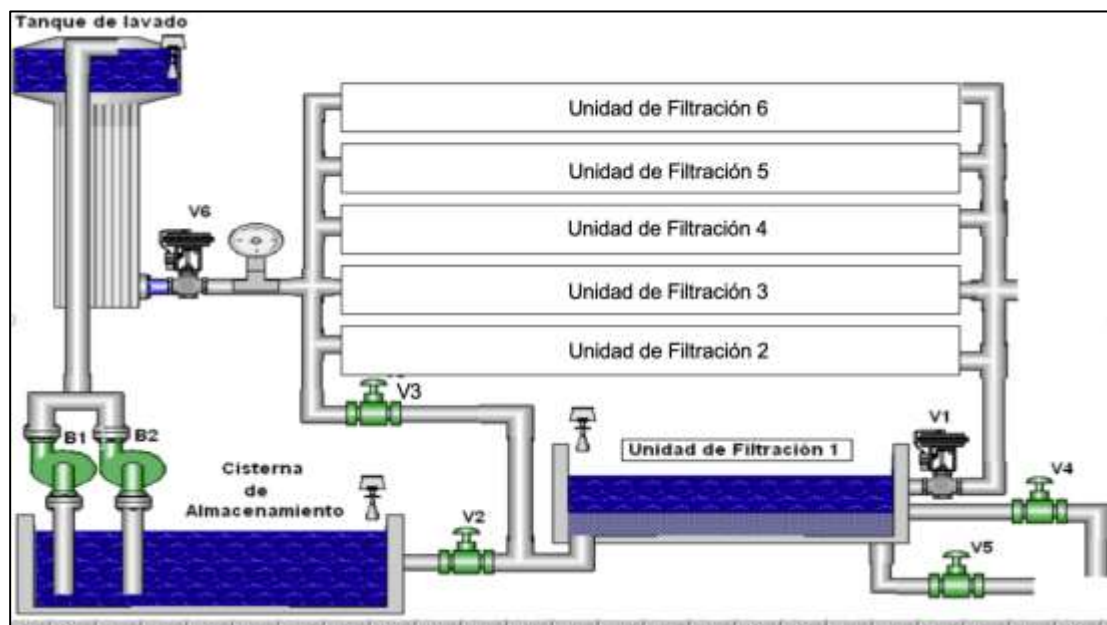


Figura 3. 2: Subproceso de filtración de agua
Elaborado por: Autor.

Al igual que la figura 3.2 no muestra el proceso de filtración. Es de suma importancia la comprensión con un diagrama mucho más específico de cómo se realiza el flujo de acciones. La figura 3.3, demuestra todo lo mencionado con anterioridad en un diagrama de flujo de todo el proceso, mostrando los estados, acciones y condiciones que se cumplen secuencialmente.

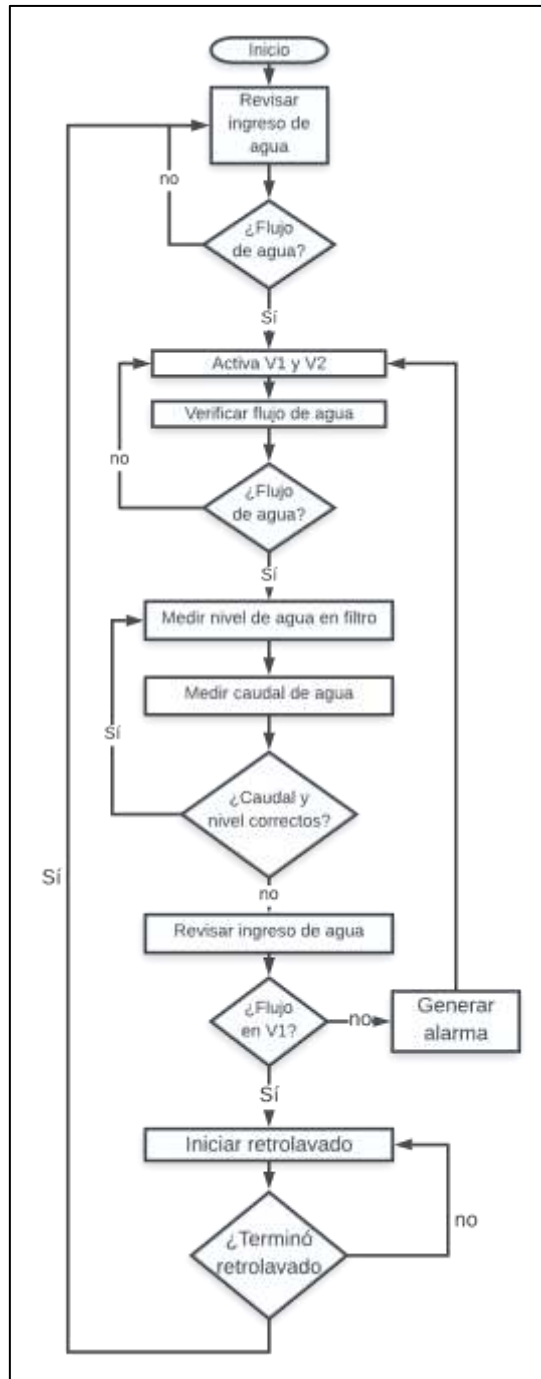


Figura 3. 3: Diagrama de flujo del proceso de filtración
Elaborado por: Autor.

3.1.2. Caracterización del sistema.

En la caracterización del sistema, describimos los aspectos técnicos y funcionales del sistema supervisorio. Conociendo que la supervisión, monitorización y control es la jerarquía más alta en los sistemas automatizados, para comprender la descripción se lo hace en niveles: sensores y actuadores, controladores y supervisión.

- Sensores y actuadores

Para el desarrollo del sistema Supervisorio Inteligente se emplean sensores y actuadores de tipo industrial con la certeza de que ofrecen una mayor confiabilidad en las mediciones de las diversas variables del proceso.

La presión, nivel, caudal son las variables que están siendo medidas con los dispositivos de campo y se encuentran ubicadas en puntos estratégicos donde es necesaria la medición para la ejecución de alguna acción.

Las características técnicas de los sensores varían acorde a la variable que están midiendo, pero en común podemos mencionar las salidas son de 4-20 mA ya que ofrecen la facilidad de comunicación con cualquier protocolo, pero en el caso del subsistema de filtración, se trabaja con una red de comunicación de instrumentación AS-i que ofrece la comodidad de agregar un número elevado de elementos en serie en la misma red.

Otra de las características técnicas que se manejan en común los sensores es su alimentación o polarización ya que en su mayoría operan de 12-24VDC.

Otro caso son los actuadores ubicados en campo, que ejecutarán acciones acordes a las variables que se están midiendo para poder mantener un sistema estable y que cumpla cada una de las funciones para lo que fue diseñado.

Las bombas, electroválvulas y válvulas proporcionales son los elementos actuadores que se consideran en el subsistema de filtración y permiten su óptimo funcionamiento.

- Controladores

En la etapa o nivel de control, se opera con un controlador industrial de marca Siemens Simatic S7-1200 el cual posee las siguientes características técnicas de operación:

Alimentación: 110 – 220 VAC

Frecuencia: 50/60 Hz

14 entradas digitales 24VDC

10 salidas digitales 2A

2 entradas análogas de 0-10VDC

Sus principales acciones serán las de en base a los datos de los sensores, procesar la información y controlar los actuadores, asimismo por medio del PLC se obtienen los datos para poder crear los sistemas de supervisión y HMI de control de etapas.

- Supervisión

En el nivel de supervisión, monitorización y control al ser el superior de todos se realizan las tomas de decisiones por parte de los encargados, gerentes de operaciones o personal capacitado en el área.

Dentro de esta parte se propone el sistema Supervisorio Inteligente el cual cumple con cada una de las características de un sistema SCADA, control de acceso, múltiples ventanas en cada zona de supervisión para tener un mejor control y supervisión de variables. Se trabaja con una ventana general por el subproceso de filtración y ventanas secundarias para cada batería de filtros. La generación de alarmas e históricos se ejecutan en base a las condiciones determinadas en literales anteriores, de igual manera la adquisición y registro de todas las

variables para mantener una base de datos que ayude a la formación de un aprendizaje automático lo que va de la mano a la tolerancia a fallos ya que el sistema en caso de existir algún diagnóstico erróneo podrá actuar con valores promedios o en tendencia para poder mantener el correcto funcionamiento pero siempre llevando un registro del tiempo en donde empezó el daño hasta cuando se ejecutó una solución al mismo.

El sistema supervisorio se implementa en una pantalla HMI de marca Kinco, en la cual se muestran las diferentes ventanas con las que cuenta. El dispositivo HMI presenta los siguientes requerimientos:

Voltaje de operación: 12 a 24 VDC

Potencia: 7.2W

Ambos requerimientos son mínimos pues todo depende de las señales que reciba desde el controlador, pero para el caso de investigación solo se presentan las diferentes ventanas del sistema para demostrar la implementación del sistema modelado.

El HMI Kinco nos presenta amplios beneficios pues cuenta con características que satisfacen las diferentes necesidades a nivel industrial, tales como:

- 7 pulgadas de pantalla táctil
- 65536 colores
- 50000 horas de uso
- Conexiones: ethernet, Serial Port, USB, RS2323, RS485
- Protección IP65

3.1.3. Funciones del sistema.

En la automatización de una planta potabilizadora, los subsistemas correspondientes al control y supervisión del funcionamiento de los filtros están integrados con el resto de los subsistemas de la planta y para ello se establecen las funciones principales y secundarias de la automatización y supervisión de los filtros:

Entre las funciones principales tenemos:

1. Realizar la medición del nivel en el filtro
2. Realizar medición de la presión de agua en la entrada de lavado en el filtro
3. Controlar los estados de funcionamiento del filtro (Filtración, lavado, enjuague o drenaje)
4. Controlar el nivel en el filtro durante el estado de filtración
5. Controlar la presión de agua de lavado antes de entrar a los filtros
6. Controlar el nivel de agua en el tanque de lavado
7. Controlar la secuencia de arranque/parada de las bombas B1 y B2 para llenar el tanque de lavado

Funciones secundarias:

1. Señalizar cada una de las variables que están siendo medidas, así como sus rangos máximos y mínimos establecidos ofreciendo una mayor información al usuario sobre el comportamiento de las variables en el proceso.
2. Adquisición y registro de todas las variables en las seis unidades de filtración, la cisterna de almacenamiento y el tanque de lavado.
3. Generación de alarmas para estados anormales de las variables, estableciendo niveles de prioridad según sea requerido.
4. Interfaz de usuario con acceso restringido para configurar el sistema, mostrar o cambiar los valores deseados de las variables controladas.
5. Diagnóstico de fallos de todos los sensores, actuadores y bombas de las seis unidades de filtración, la cisterna de almacenamiento y el tanque de lavado.
6. Funciones de tolerancia a fallos en el control de las bombas de agua para el tanque de lavado.
7. Gestión de producción de los filtros, para mantener la capacidad productiva mínima requerida en la planta (mantener cuatro filtros en estado de filtración, gestionar el proceso de lavado y tomar en cuenta el diagnóstico de fallos del equipamiento).

8. Gestión de mantenimiento a partir del diagnóstico de todos los sensores, actuadores y bombas de las seis unidades de filtración, la cisterna de almacenamiento y el tanque de lavado

Todas las señales serán visualizadas en la pantalla del supervisorio. La representación de las unidades de filtración, la cisterna de almacenamiento y el tanque de lavado debe garantizar la visualización en tiempo real del estado de funcionamiento de cada subsistema. La secuencia de operaciones del filtro depende de los cuatro estados posibles: filtración, lavado, enjuague y drenaje. Por su parte, se debe controlar la presión de agua para el lavado de los filtros y el proceso de llenado del tanque de lavado. Todos los subsistemas deben ser controlados mediante configuraciones con PLC para ejecutar las respectivas secuencias de operaciones.

Los requisitos o requerimientos funcionales constituyen las necesidades del proceso que se deben satisfacer durante el diseño e implementación del sistema y con ello se presentan las secuencias de funcionamiento deseadas: Unidades de filtración, Tanque de lavado y Gestión de Producción.

- Unidades de filtración. - Las mismas tienen cuatro estados deseados: filtración, lavado, enjuague y drenaje. Adicionalmente se establece el estado de emergencia para una parada imprevista. También, se propone un Lazo de control de nivel en el filtro cuyo funcionamiento se habilita cuando se cumplen ciertas condiciones en el estado de filtración. A continuación, se detallan cada uno de estos haciendo referencia a los elementos que se ilustran en la figura 3.2:

Estado de filtración:

Modo manual:

- a) El valor de apertura de V1 y el estado abierta o cerrada de V2, V3, V4 y V5 se ordena por el operador.

Modo automático:

- a) Se verifica el estado cerrado de V3, V4 y V5, en caso necesario mandar a cerrarla(s).

- b) Se realiza apertura de V1 en forma de rampa desde 0 al 80 % durante 30 s y se espera hasta alcanzar un valor de nivel que esté en un rango de $\pm 15\%$ del nivel deseado.
- c) Luego de cumplir paso b) se habilita el lazo de control PID para controlar el nivel en el filtro.
- d) Luego de ejecutar el paso c) abrir V2
- e) Detener el estado de filtración si:
 - Nivel real \geq Nivel deseado + 18 % y la posición de V1 \leq 20 %
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Producción
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Mantenimiento
 - O se conmuta a Modo manual

Estado de lavado:

Modo Manual:

- a) El cierre de V1 y el estado abierta o cerrada de V2, V3, V4 y V5 se ordena por el operador.

Modo automático:

- b) Se cierra V1
- c) Se verifica el estado cerrado de V3, V4 y V5, en caso necesario mandar a cerrarla(s).
- d) Se cierra V2 cuando el Nivel real \leq Nivel mínimo.
- e) Luego de ejecutar el paso d) abrir V4
- f) Luego de ejecutar el paso e) abrir V3
- g) Detener el estado de lavado si:
 - Tiempo con las condiciones del paso f) \geq Tiempo deseado de lavado (ejemplo: 10 min)
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Producción
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Mantenimiento
 - O se conmuta a Modo manual

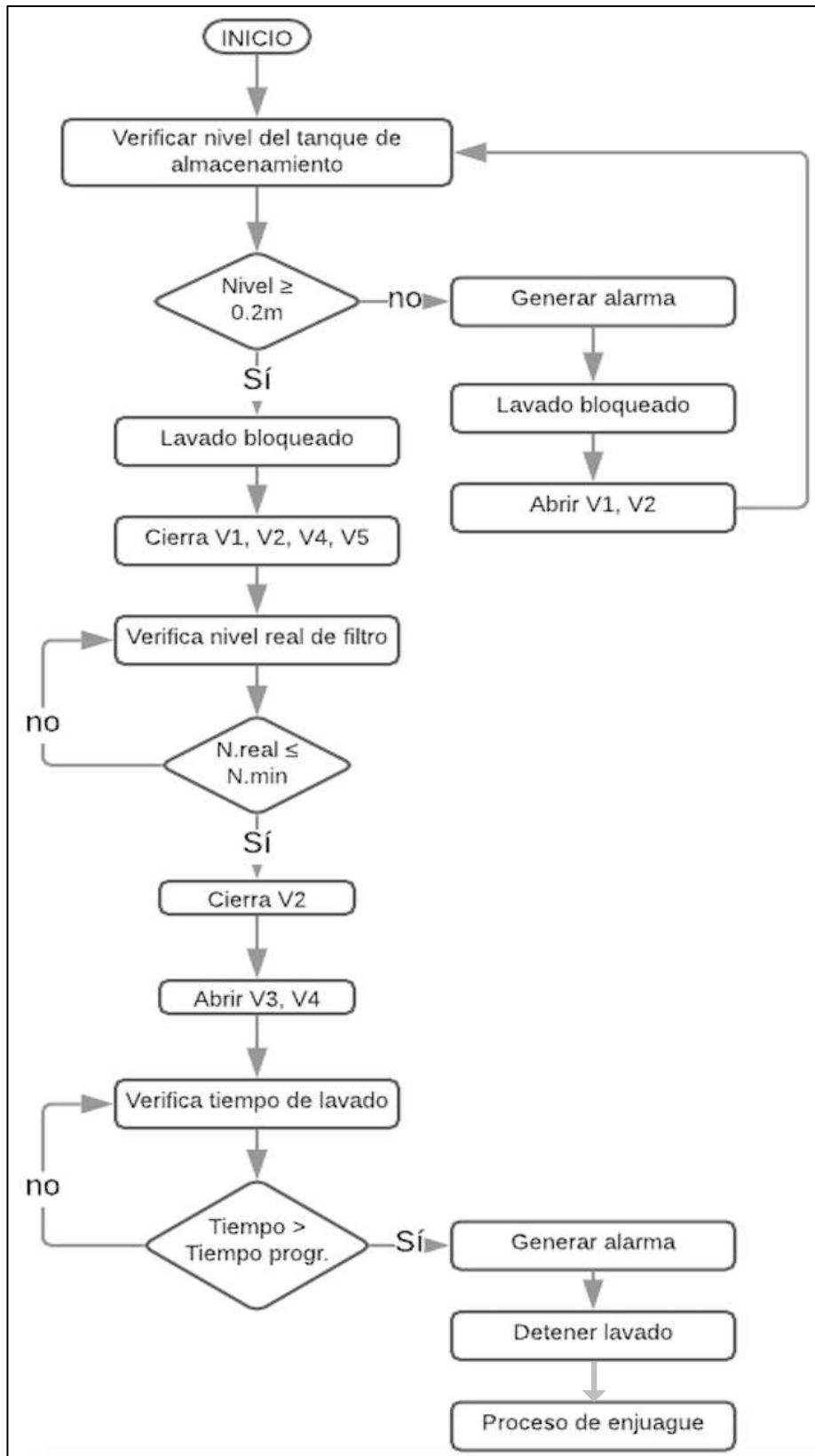


Figura 3. 4: Diagrama de flujo del proceso de lavado de filtros
Elaborado por: Autor.

Estado de enjuague:

Modo Manual:

- a) El cierre de V1 y el estado abierta o cerrada de V2, V3, V4 y V5 se ordena por el operador.

Modo automático:

- b) Se cierra V3
- c) Se verifica el estado cerrado de V2 y V5, en caso necesario mandar a cerrarla(s).
- d) Se verifica el estado abierta de V4, en caso necesario mandar abrirla
- e) Se realiza apertura de V1 en forma de rampa desde 0 al 80 % durante 30 s
- f) Detener el estado de enjuague si:
 - Tiempo transcurrido desde el inicio del paso e) \geq Tiempo deseado de enjuague (ejemplo: 3 min)
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Producción
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Mantenimiento
 - O se conmuta a Modo manual

Estado de drenaje:

Modo Manual:

- a) El cierre de V1 y el estado abierta o cerrada de V2, V3, V4 y V5 se ordena por el operador.

Modo automático:

- b) Se cierra V1
- c) Se verifica el estado cerrado de V2 y V3, en caso necesario mandar a cerrarla(s).
- d) Luego de cumplir paso c) se abre V5
- e) Luego de cumplir paso d) se cierra V4
- f) Detener el estado de drenaje si:
 - Tiempo transcurrido desde el inicio del paso d) \geq Tiempo deseado de drenaje (ejemplo: 5 min)
 - O se ordena por el subsistema de Gestión de Producción

- O se ordena por el subsistema de Gestión de Mantenimiento
- O se conmuta a Modo manual

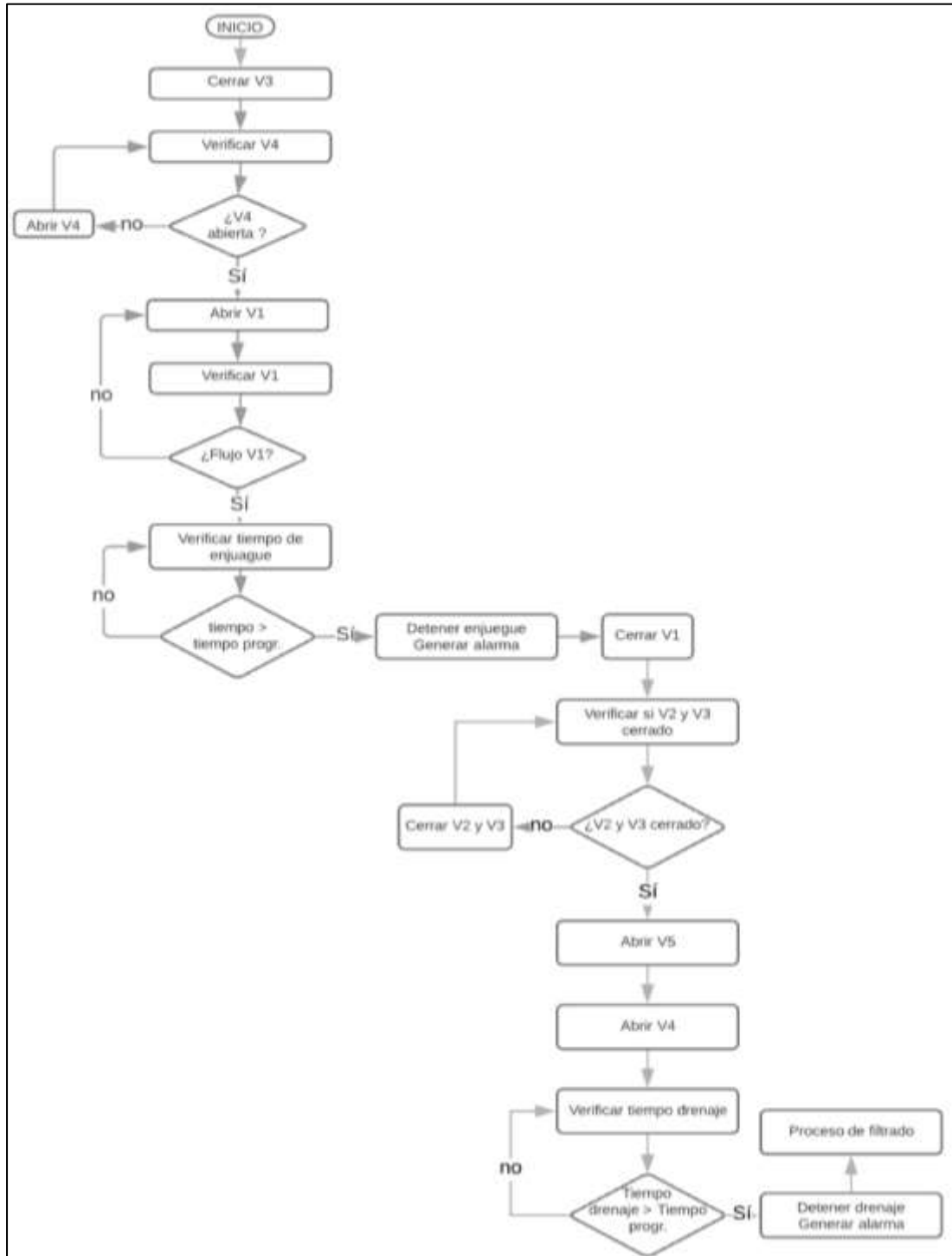


Figura 3. 5: Diagrama de flujo del proceso de enjuague y drenaje
Elaborado por: Autor.

Estado de emergencia:

- a) Se ordena parada de emergencia
 - b) Se cierran V3, V4 y V5 que son válvulas normalmente cerradas
 - c) Se abre V2 que es normalmente abierta, V1 queda en la última posición
- Tanque de lavado. - En el mismo los parámetros fundamentales a controlar son el nivel de agua en el tanque y la presión de salida para el lavado de los filtros. Por lo tanto, se proponen dos subsistemas: Lazo de control ON/OFF del nivel en tanque de lavado y lazo de control de presión a la salida para el lavado de los filtros. A continuación, se detallan cada uno de estos haciendo referencia a los elementos que se ilustran en la figura 3.2:

Lazo de control ON/OFF del nivel en Tanque de lavado:

Modo manual:

- a) El Arranque/Parada de las bombas B1 y B2 se ordena por el operador, para lo cual deberá tener en cuenta las mediciones de nivel en la Cisterna de almacenamiento y en el Tanque de lavado.

Modo automático:

- a) Se verifica el estado listo de las bombas B1 y B2.
- b) Arrancar una bomba:
 - Si Nivel mínimo cisterna de almacenamiento \leq Nivel cisterna de almacenamiento
 - Si Nivel mínimo tanque lavado \geq Nivel real tanque lavado
 - Y
 - Si B1 y B2 están listas,
 - Y B1 fue la última bomba que se paró, entonces arrancar B2,
 - O B2 fue la última bomba que se paró, arrancar B1,
 - O
 - Si solo B1 está lista arrancar B1
 - O
 - Si solo B2 está lista arrancar B2
- c) Parar la bomba B1 o B2 que está funcionando

- Si Nivel mínimo cisterna de almacenamiento \geq Nivel cisterna de almacenamiento
- Si Nivel máximo tanque lavado \leq Nivel real tanque lavado
- O se ordena por el subsistema de Gestión de Mantenimiento
- O se conmuta a Modo manual

Modo emergencia:

- a) Se ordena parada de emergencia
- b) Se para B1 y B2

Lazo de control de presión a la salida para el lavado de los filtros:

Modo manual:

- a) El valor de apertura de V6 se ordena por el operador, para lo cual deberá tener en cuenta la medición de presión a la salida del tanque de lavado para los filtros.

Modo automático:

Para este lazo de control se propone un controlador PI, tomando en cuenta los requerimientos de control para el caso de estudio, como puede ser un error a estado estacionario $\leq \pm 5 \%$ de la presión deseada y un máximo sobrepaso $\leq 15 \%$ por encima de la presión deseada.

Modo emergencia:

- a) Se ordena parada de emergencia
 - b) El lazo pasa a modo manual
 - c) V6 queda en la última posición
- Gestión de producción. - La gestión de producción tiene como objetivo fundamental garantizar que siempre estén funcionando al menos cuatro filtros en estado de filtración, para mantener la capacidad mínima deseada de procesamiento de agua en la planta. A continuación, se detallan los posibles eventos a considerar para cumplir el objetivo planteado, haciendo referencia a los elementos que se ilustran en la figura 3.2:

Modo manual:

- a) El funcionamiento de cada filtro es independiente al estado de los restantes filtros.

Modo automático:

- a) El funcionamiento del filtro es independiente al estado de los restantes filtros.

3.2. Arquitectura del sistema supervisorio.

A partir de los requerimientos funcionales la descripción, características y funciones del sistema propuesto del proceso de automatización industrial objeto de estudio, se propone una arquitectura jerárquica.

Por lo tanto, para garantizar la inteligencia distribuida es necesario un diseño modular de la arquitectura tal como se muestra en la figura 3.3. Hablar de un diseño modular es hacer referencia que estará dividido en diferentes o en varios sistemas o subestructuras modulares teniendo numerosos beneficios de diferentes perspectivas tanto físicas como de software entre las que sobresale la facilidad de hacer cambios en caso de avería si se tratase de equipos físicos o tener opciones de expansión. Por el lado de software así mismo cumple los principios de un sistema SCADA que brinde mantenibilidad y fácil expansión. De igual manera un aspecto importante son las comunicaciones en el sistema ya que siendo de estructura modular nos brinda la apertura de trabajar con diferentes protocolos y tipos de comunicaciones pudiendo así lograr un diseño y estructura mucho más confiable.

La arquitectura jerarquizada nos muestra 4 niveles en los cuales el sistema supervisorio inteligente cumple funciones importantes. El nivel de instrumentación inteligente requiere de instrumentos de campo (sensores y actuadores) con las características necesarias para cumplir sus funciones, todo con el fin de obtener información certera del proceso en el que se encuentran empleados. Los niveles de instrumentación por lo general se manejan con una red de tipo industrial denominada AS-i que es un bus e sensores y actuadores que maneja diferentes estándares internacionales garantizando así un sistema robusto. Este tipo de comunicación se maneja mediante el cable que lleva el mismo nombre AS-i por donde se alimentan los dispositivos y se transmite información. La instrumentación inteligente es la base de todo el proceso ya que sin ella no se puede tener los datos necesarios para poder comandar un proceso.

En el siguiente nivel, el control inteligente, está constituido por los controladores lógicos programables (PLC) y de igual manera que el nivel de instrumentación es de suma importancia para el procesamiento de datos y control del proceso ya que en ellos se alberga toda la programación de control para los diferentes elementos y dispositivos que constituyen el sistema automatizado. En el caso del subsistema de filtración de agua, el diseño jerarquizado que se observa en la figura 3.6, demuestra cuatro controladores que son asignados a los filtros, cisternas de almacenamiento y tanques.

El nivel de monitorización, esta constituido por las interfaces hombre-máquina y elementos de comunicación tanto para los niveles superiores e inferiores. Dentro de este se observan diferentes pantallas donde se visualizan datos e información específica de una parte del proceso o de elementos como maquinaria. La importancia de este nivel es la parte de comunicación ya que sin ella los otros niveles no podrían recibir los datos que se están generando ni poder enviar comandos o modificaciones.

Como último nivel, el de supervisión, control y adquisición de datos. Es una combinación de los niveles inferiores ya que desde este se realizan las tomas de decisiones, re-configuraciones de equipos y programación. Es el nivel focal de esta investigación donde se diseña un supervisorio inteligente para el subsistema de filtración de agua.

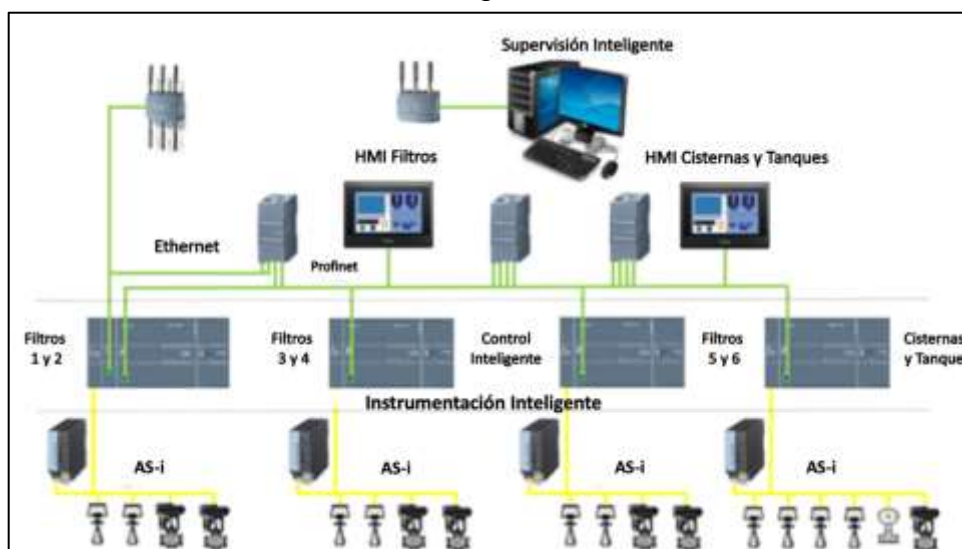


Figura 3. 6: Arquitectura del sistema supervisorio inteligente.
Elaborado por: Autor.

La contribución en esta investigación es el uso de técnicas de modelado matemático para la creación de sistemas supervisorios inteligentes, buscando facilitar el diseño de estos y se ejecuten sin problema alguno ya que un modelo demuestra los puntos débiles del mismo los cuales deben ser corregidos para mantener un sistema siempre operativo y preparado ante cualquier inconveniente.

3.3. Modelado con diagramas UML.

3.3.1. Diagramas de casos de uso.

Con la ayuda de los diagramas de casos de UML, representamos cada una de las acciones o funciones que realiza el sistema con un punto de vista del usuario al sistema final. Para muchos desarrolladores la implementación de este tipo de diagramas ayuda a comprender y a modelar el correcto funcionamiento de sistemas que actualmente son muy complejos debido a la gran demanda de información que requieren los procesos, inteligencia artificial, aprendizaje de máquina entre otras técnicas que están generando este nivel de complejidad.

En el modelado del sistema supervisorio se presentan las funciones con las que cuenta, tanto principales como secundarias. Estas funciones ayudan a poder realizar cada uno de los diagramas de casos con mayor facilidad. A continuación, se presentan cada uno de los diagramas de caso del sistema supervisorio donde se han definido 5 diagramas, uno por cada ventana o pestaña de funcionamiento con el cumple el sistema supervisorio las cuales son:

- Ventana de monitorización y supervisión
- Ventana de control y mando remoto
- Ventana de registro de históricos
- Ventana de tratamiento de alarmas
- Ventana de chequeo de comunicaciones

En la figura 3.7 se identifican los casos de uso que de la ventana de monitorización y visualización del sistema supervisorio donde destacan tres

actores fundamentales; el usuario o técnico encargado del sistema, el supervisor de la planta y en este caso en especial también destaca el supervisor inteligente ya que el realiza acciones y genera uso de funciones compartidas con los otros actores.

En los casos del usuario y el supervisor necesitan una validación de datos de ingreso ya que cuentan con casos de uso diferentes para cada uno. De igual manera se pueden apreciar en algunos casos las funciones <<include>> donde representa que de un caso de uso base está implícito otro, tal como es el caso de graficación de diagramas de tendencias donde están implícitos los gráficos de nivel, presión y caudal.

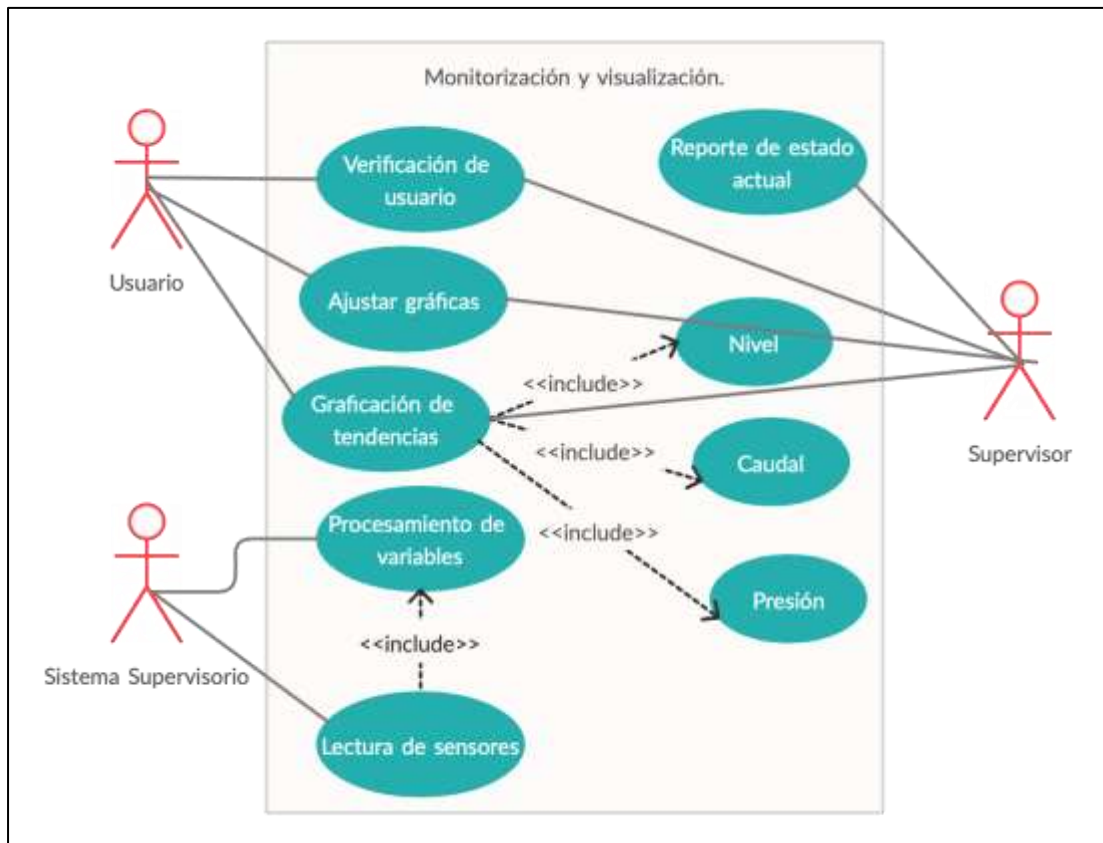


Figura 3. 7: Diagrama de casos de uso: Monitorización y visualización
Elaborado por: Autor.

La figura 3.8, representa los casos de uso de la ventana de control y mando remoto desde donde se realizan las diferentes acciones de funcionamiento de los equipos y elementos de procesos.

En este diagrama de casos interviene un nuevo actor que es el técnico de mantenimiento el cual atiende la gestión de mantenimiento de todo el proceso de filtración e incluida a esta función de mantenimiento se encuentran los controles de bombas y válvulas que a su vez también están ligados al usuario u operario de la planta.

El operario está encargado de realizar controles manuales de los diferentes procesos que se realizan en la zona de control o decidir si el proceso funciona de manera automática donde el sistema supervisorio es el encargado de la toma de decisiones basadas en experiencias previas o a datos ingresados. El controlador también cumple la función de comunicación con el controlador para poder enviar y recibir información del mismo luego de ser procesada y haber realizado los cálculos pertinentes para mantener el proceso siempre operativo.

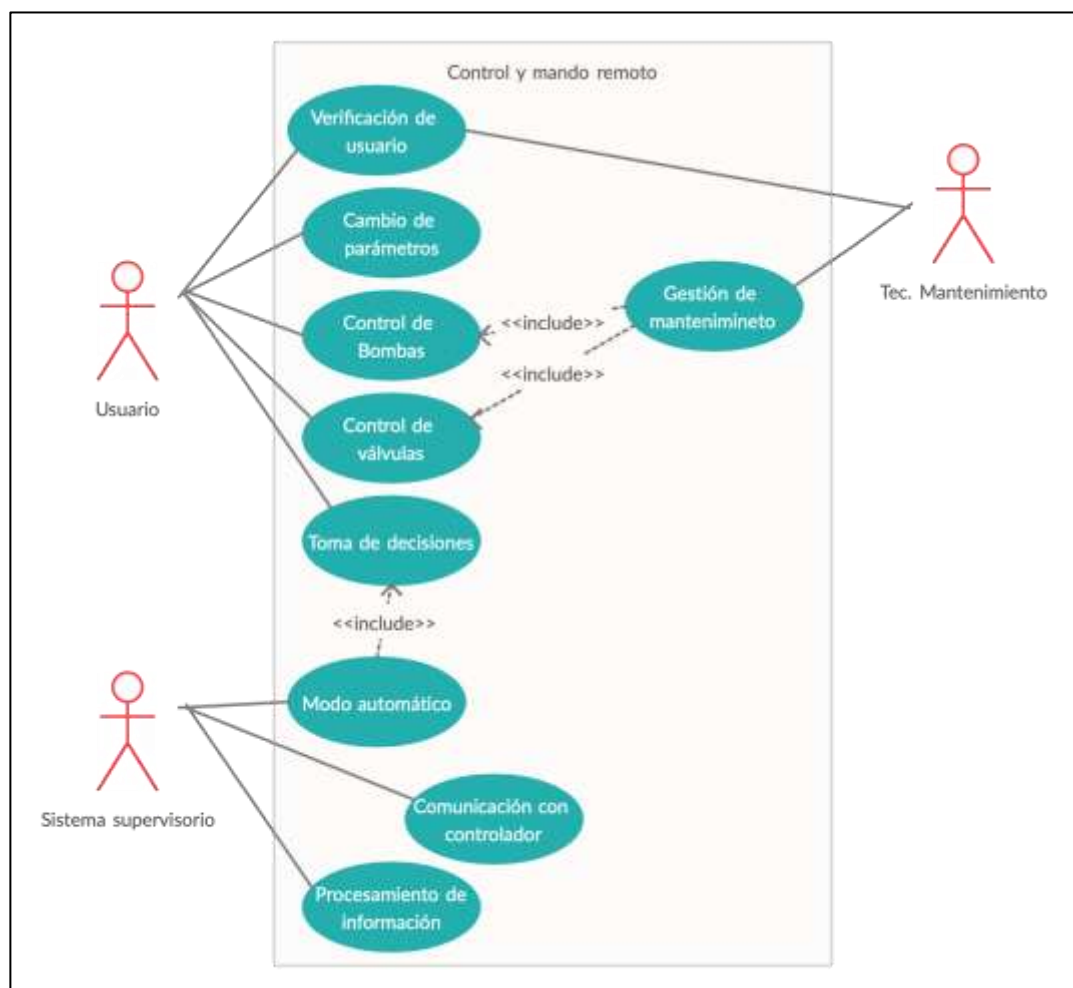


Figura 3. 8: Diagrama de casos de uso: Control y mando remoto
Elaborado por: Autor.

Para el diagrama de casos de uso de los registros de históricos de la figura 3.9, se evidencia que el sistema supervisorio mantiene una comunicación con la base de datos que es el lugar donde se encuentra toda la información almacenada de eventos suscitados con anterioridad y cuya conexión y comunicación es necesaria en todo el momento.

Un punto clave del sistema supervisorio es el registro y almacenamiento de recetas de producción y en base a ellas saber qué hacer y cómo controlar el proceso, ofreciendo una ventaja increíble a los operarios dando toda la facilidad de solo escoger la recete en vez de ingresarla cada vez que se necesite.

Como todos estos datos se encuentran de manera digital, por lo general, supervisores o los operarios necesitan tener estos datos en físico razón por la cual un caso de uso es la generación de informes en base a los datos que se encuentran almacenados.

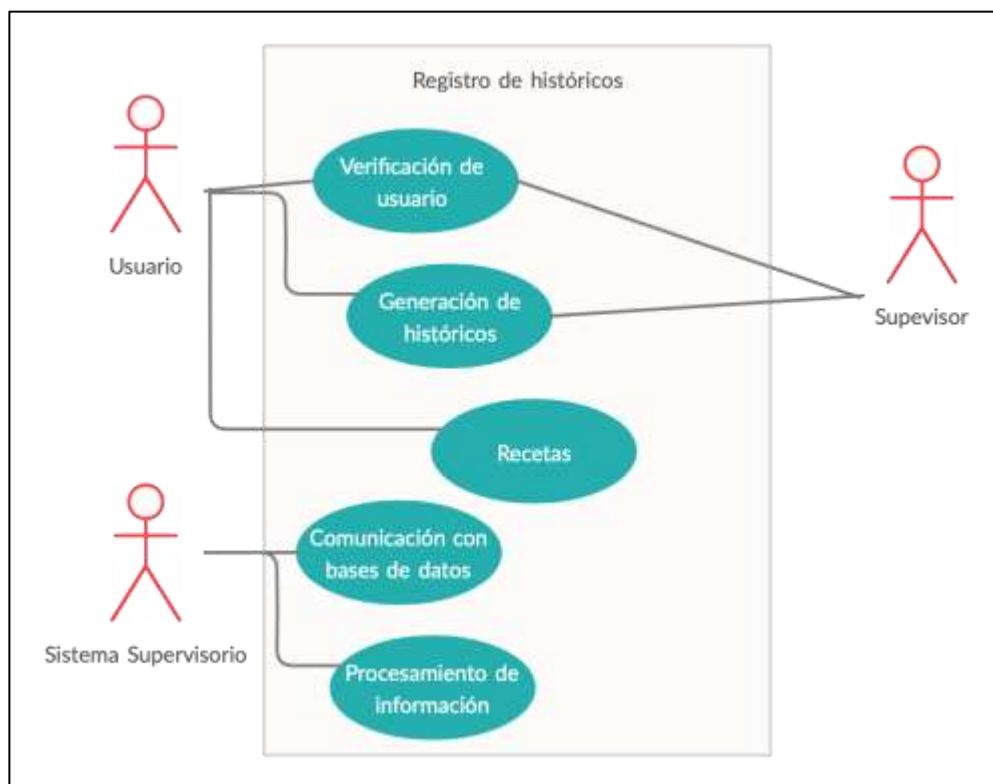


Figura 3. 9: Diagrama de casos de uso: Registro de históricos
Elaborado por: Autor.

En el tratamiento de alarmas se presenta el diagrama de casos de uso donde interviene el usuario y el sistema supervisorio ya que son los únicos autorizados a manipular este tipo de alertas del sistema que se suscitan cuando existe algún proceso que no está funcionando de la manera adecuada, generando registros de fallos y almacenándolos en las bases de datos correspondiente para posteriormente generar los reportes y realizar un análisis dando a conocer la causa de la falla.

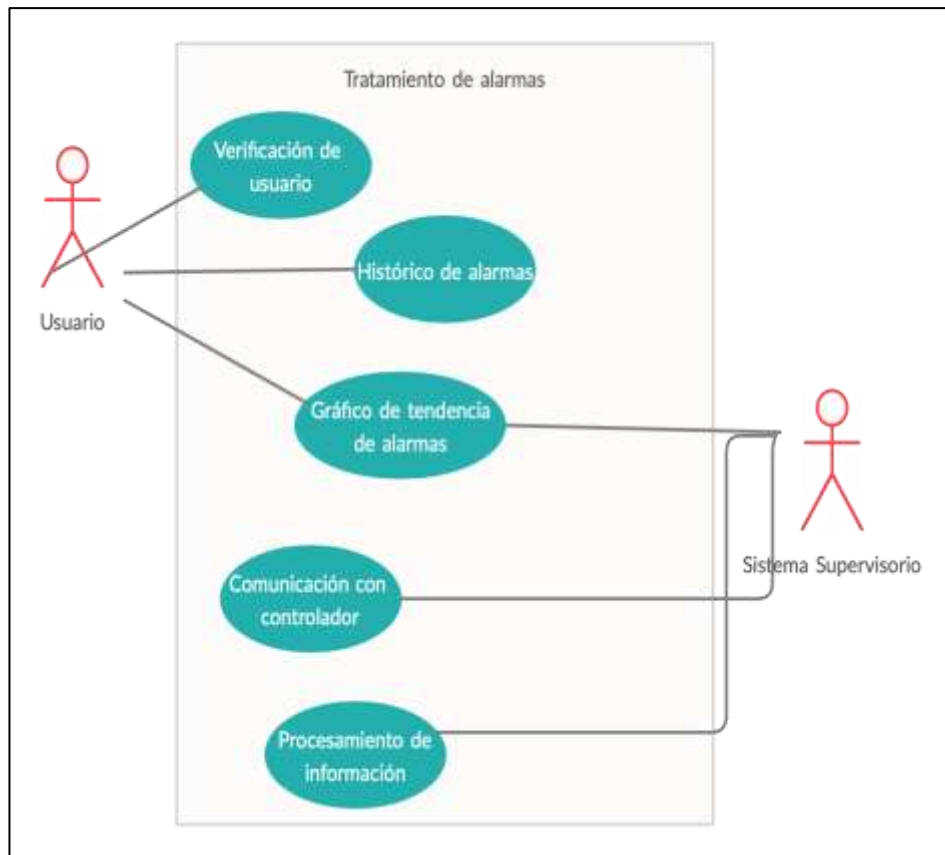


Figura 3. 10: Diagrama de casos de uso: Tratamiento de alarmas
Elaborado por: Autor.

En el último diagrama de casos de uso, se plasma el de chequeo de comunicaciones que mantiene el sistema supervisorio con cada uno de los dispositivos de envío y recepción de datos incluyendo los softwares de terceros que se encargan de compartir información del proceso. En la práctica es netamente una ventana de verificación de que todo esto funcione correctamente, que cada uno de los dispositivos se encuentren conectados o enlazados inalámbricamente, así como la latencia de cada dispositivo receptor.

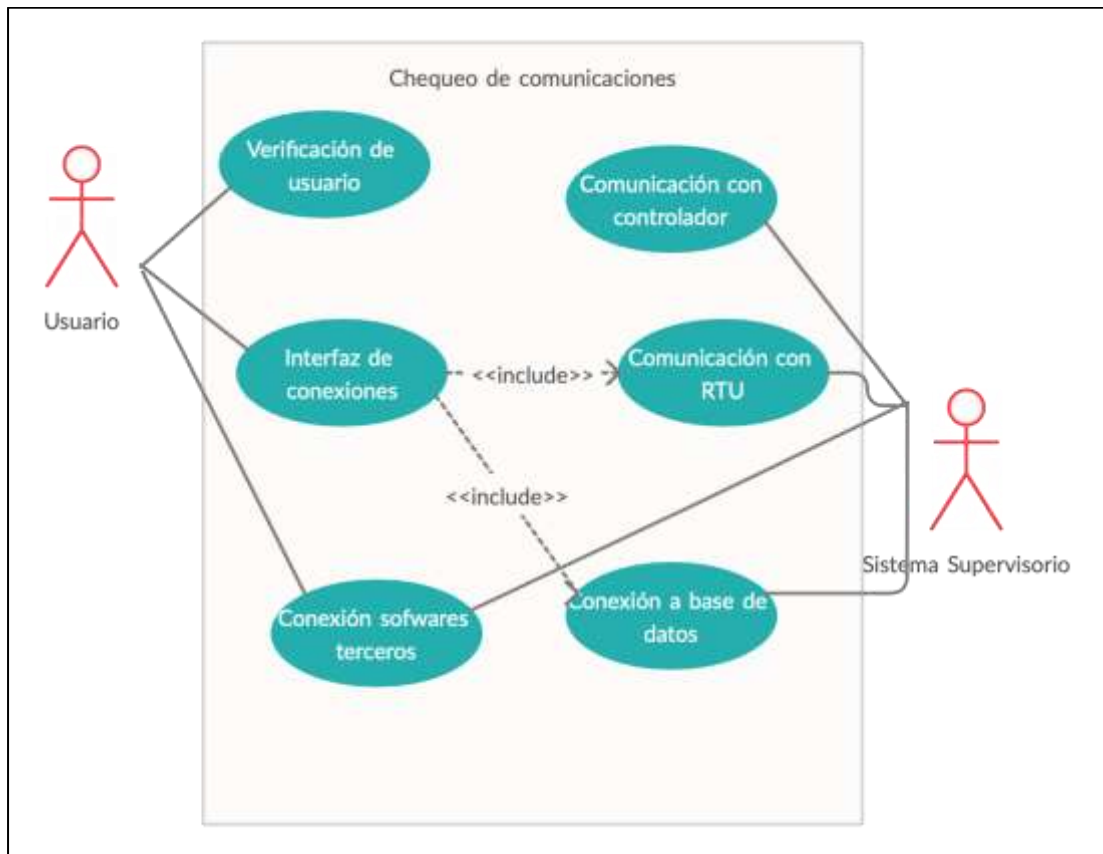


Figura 3. 11: Diagrama de casos de uso: Chequeo de comunicaciones
Elaborado por: Autor.

3.3.2. Diagramas de secuencia.

Los diagramas de secuencia nos ayudan a identificar la interacción que existe entre los diferentes objetos del sistema y de la forma en que se da esta interacción. A continuación, se presentan los diferentes diagramas de secuencia del sistema supervisorio, presentando en ciertos casos dos diagramas de secuencia por ventana ya que el sistema no es multiusuario, por ende, se debe verificar la interacción por individual de los sistemas y el actor.

En la figura 3.12, se observa el diagrama de secuencia de monitorización y visualización por parte del usuario donde el proceso inicia desde el arranque del sistema supervisorio y la autenticación por parte del usuario para validar su ingreso a este sistema. Como siguiente paso se refleja la actualización de datos y conexión a dispositivos donde se encuentran los datos almacenados. Seguidamente se presentan los gráficos de tendencias de las diferentes variables del proceso en donde se pueden realizar

modificaciones de parámetros de visualización o forma de los gráficos, siendo un proceso que no termina hasta que el usuario así lo necesite.

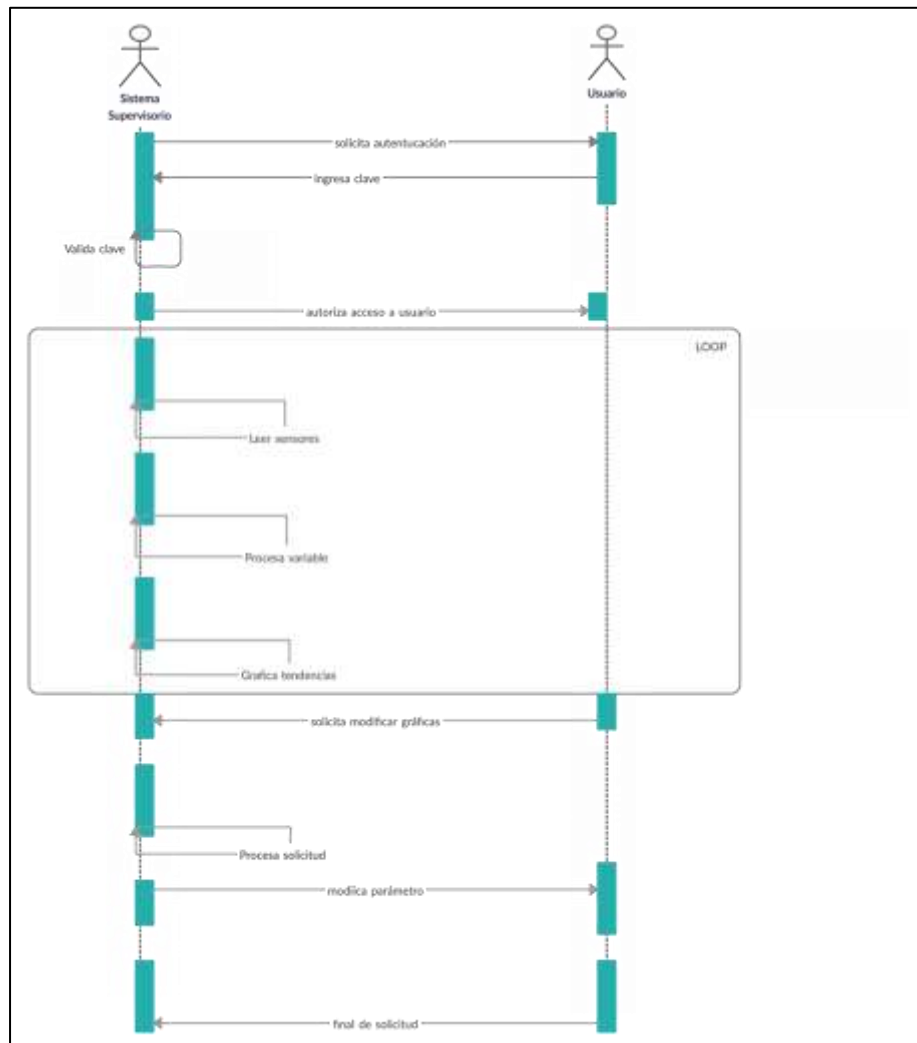


Figura 3. 12: Diagrama de secuencia: Monitorización y visualización (usuario)
Elaborado por: Autor.

En el caso del diagrama de secuencia de secuencia del monitoreo y visualización por parte del supervisor se evidencia que el proceso inicial es muy parecido al del usuario u operador con el único cambio de que un supervisor puede generar un informe o reporte del estado actual de cada una de las variables.

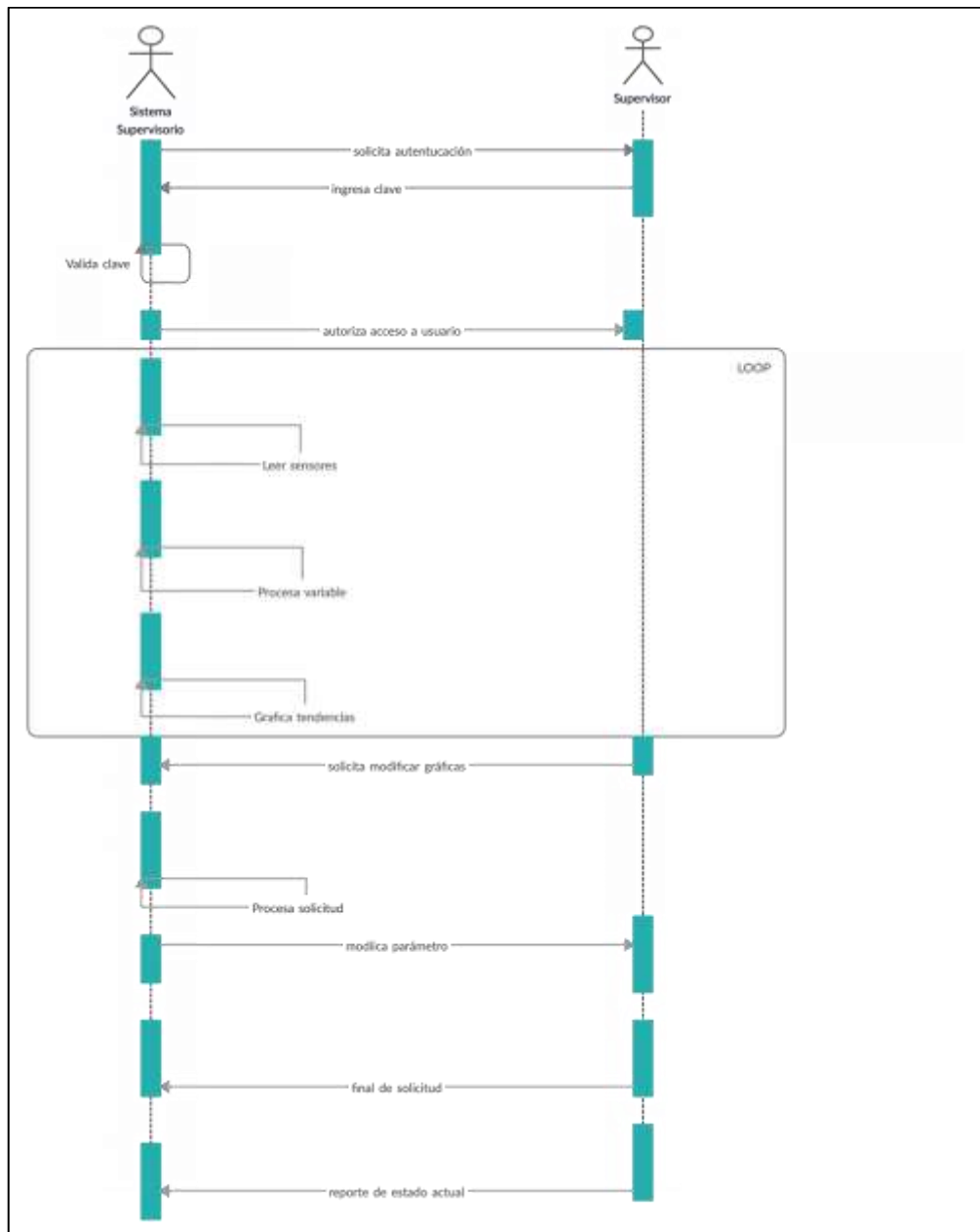


Figura 3. 13: Diagrama de secuencias: Monitoreo y visualización (supervisor)
Elaborado por: Autor.

De igual manera que en los diagramas de secuencia de monitoreo, en la parte de control y mando remoto también se presentan dos diagramas, uno para la parte del supervisor y otro para el usuario. Referente al usuario, este se encarga del manejo automático y manual del sistema de control y puede modificar los parámetros de funcionamiento acorde a los estados actuales del sistema. En modo automático, el sistema de control se ve supervisado y controlado por el supervisorio inteligente por ende la parte de control tanto de sensores y actuadores esta dirigida por esta parte del sistema total.

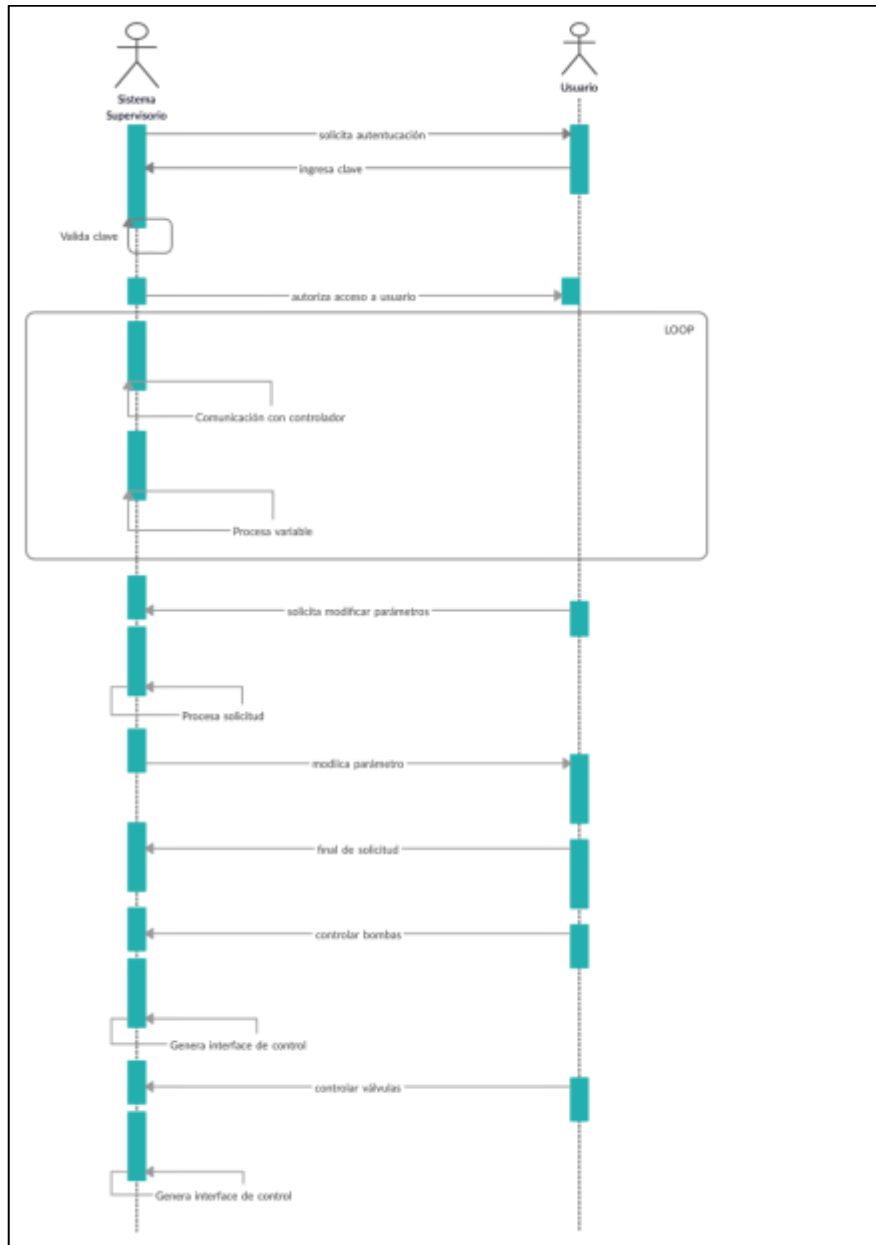


Figura 3. 14: Diagrama de secuencias: Control y mando remoto (usuario)
Elaborado por: Autor.

En el proceso de control y mando remoto y tal y como se presenta en la figura 3.15 del diagrama de secuencia, se muestra que el proceso es igual al del usuario, pero en este caso, el técnico de mantenimiento no presenta la opción de poder modificar los parámetros ya que estos están validados solo para que el operario, quien conoce el proceso a cabalidad, lo haga. Pero para el técnico de mantenimiento si se permite la parte de control ya que es el encargado de realizar la gestión de mantenimiento, teniendo la opción de para o poner en marcha algún actuador del proceso.

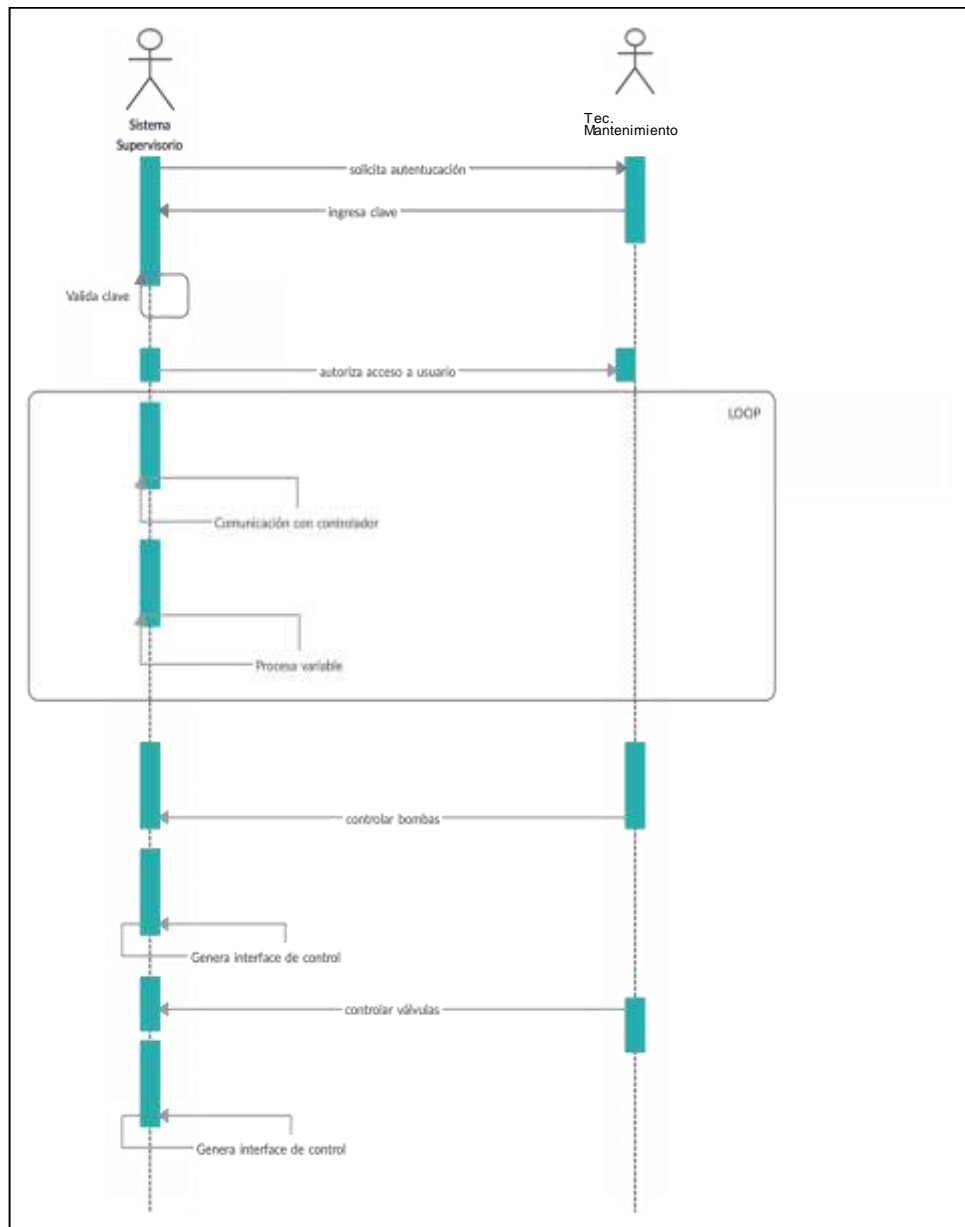


Figura 3. 15: Diagrama de secuencia: Control y mando remoto (Tec. mantenimiento)
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.16, se refleja el diagrama de secuencia del registro de históricos, función principal de un sistema supervisorio ya que gracias a esta función podemos llevar un control de los diferentes eventos que se han suscitado a lo largo de todos los días en que se ejecuta el proceso. En el diagrama de secuencia se evidencia que el sistema supervisorio mantiene comunicaciones clave con las diferentes bases de datos y registros donde se almacena información y datos importantes para el correcto funcionamiento del sistema.

Para el caso del usuario, este tiene acceso a la modificación o ingreso de nuevas recetas de funcionamiento al sistema, de igual manera tiene la posibilidad de generar informes correspondientes a los históricos desde la fecha en el que vea conveniente hacerlo.

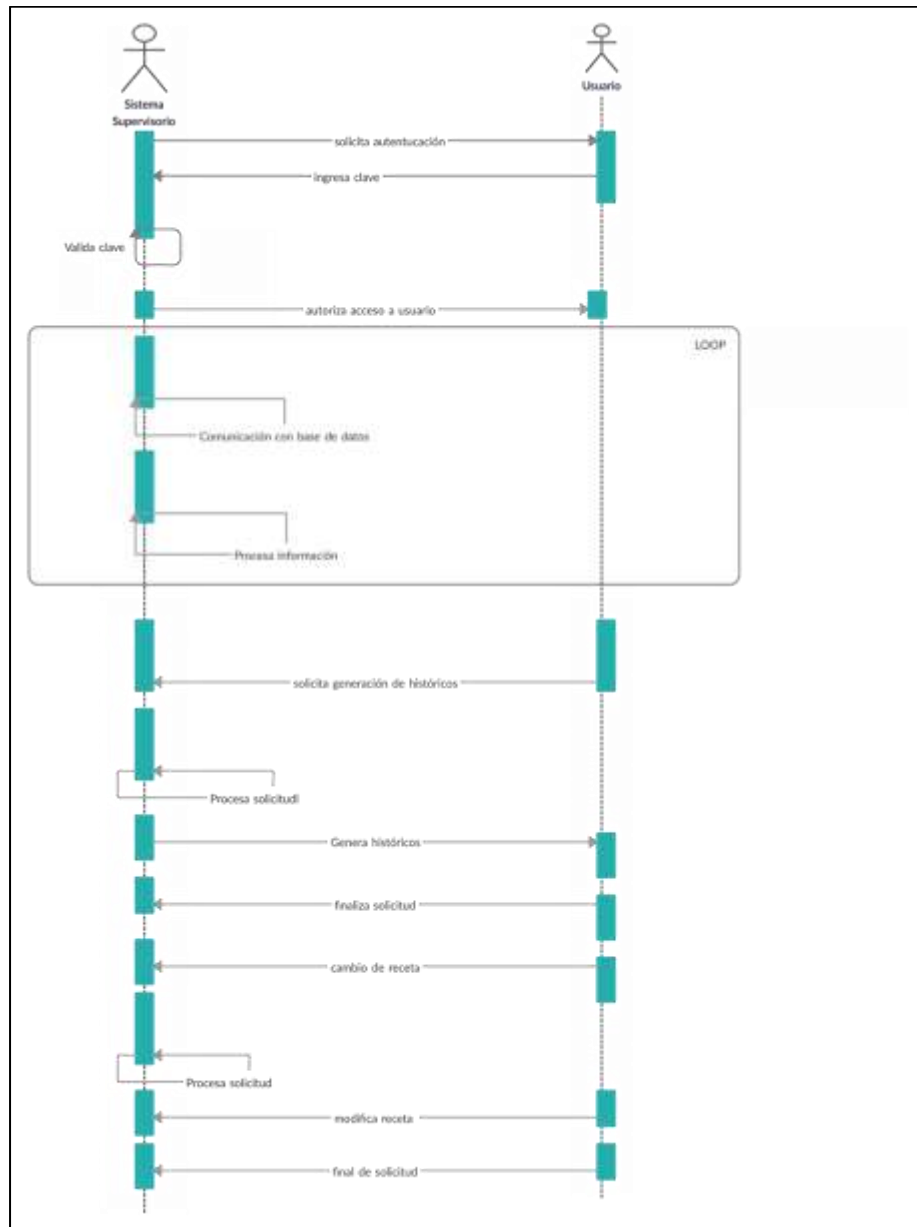


Figura 3. 16: Diagrama de secuencia: Registro de históricos (usuario)
Elaborado por: Autor.

En el caso del registro de históricos para el supervisor solo se presentan las opciones de generación de informes, mas no la de realizar modificaciones en recetas ya que de esto se encarga el operario encargado del sistema. El flujo de funcionamiento siempre se mantendrá en constante

actualización de datos y de solicitudes de generación de informes entre el sistema supervisorio y el supervisor.

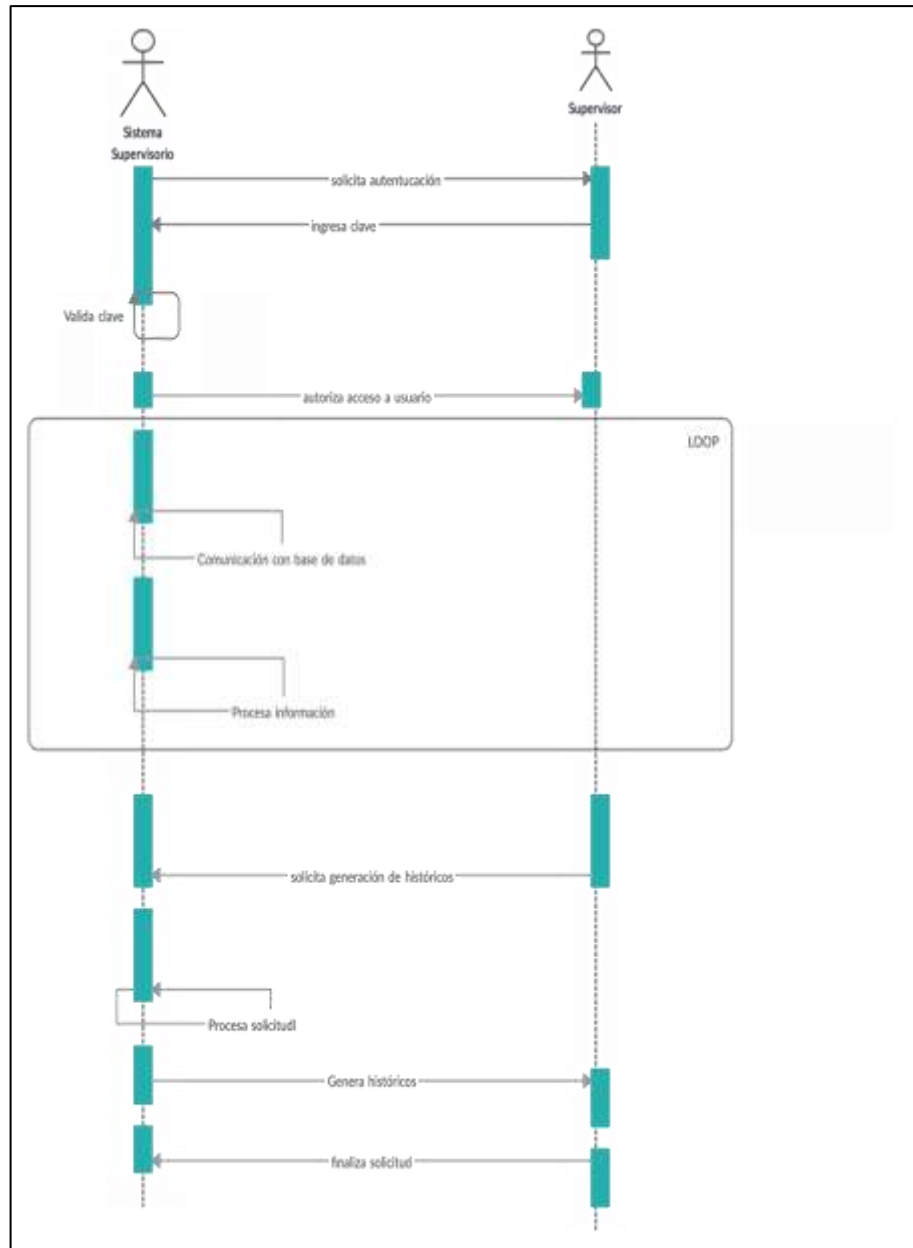


Figura 3. 17: Diagrama de secuencia: Registro de históricos (supervisor)
Elaborado por: Autor.

Para el diagrama de secuencias del tratamiento de alarmas se describe solamente el que interviene el usuario ya que solo este se encuentra autorizado a supervisarlas y saber o que ocurre. La interacción se da en todo momento entre el usuario y el sistema supervisorio donde se crean solicitudes de generación de informes para crear históricos de las alarmas suscitadas en

fechas anteriores y para poder supervisar los parámetros o límites de tendencias del proceso.

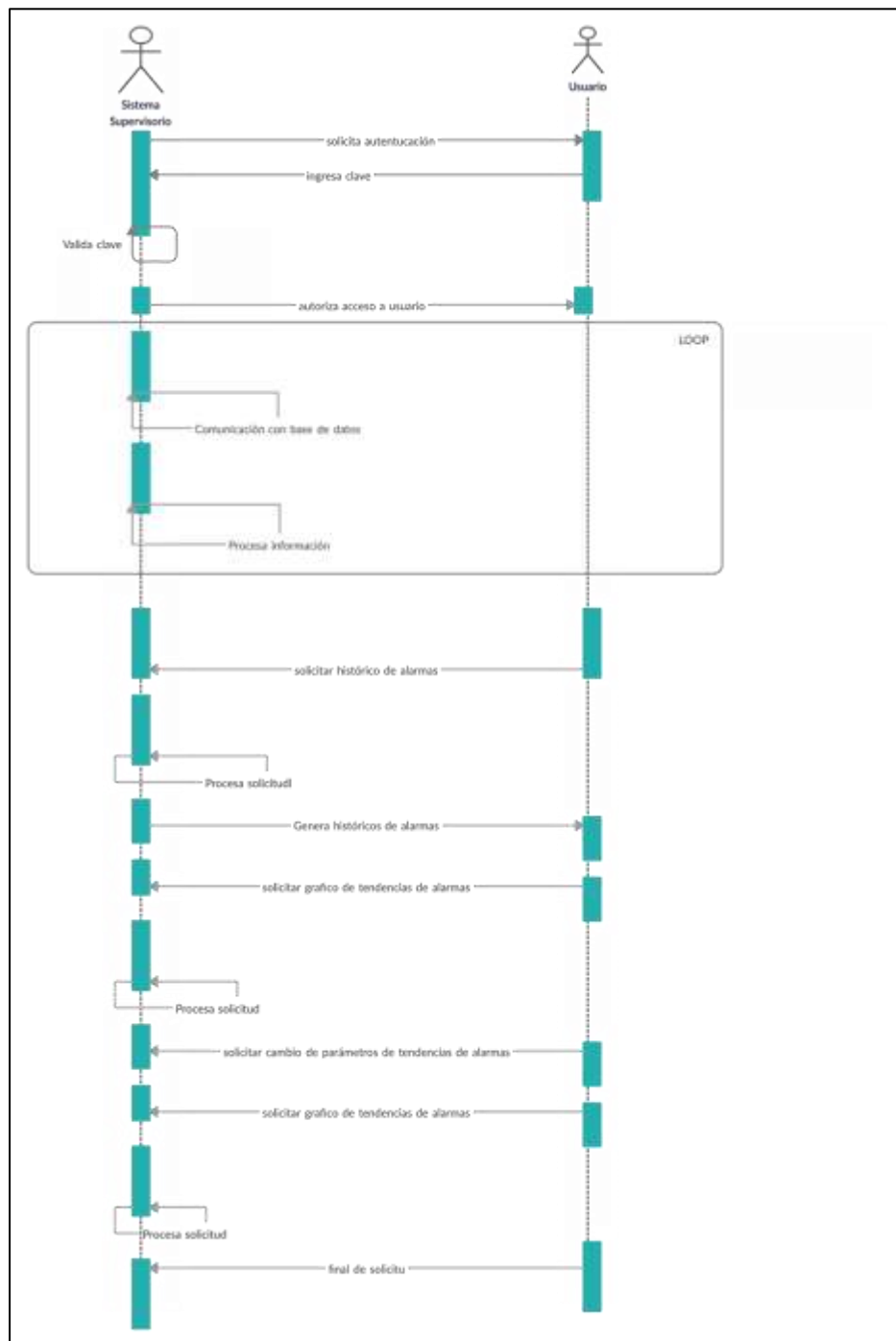


Figura 3. 18: Diagrama de secuencia: Tratamiento de alarmas
Elaborado por: Autor.

Como último diagrama de secuencias en la figura 3.19, se visualiza el de chequeo de comunicaciones donde el sistema supervisorio constata que todos los elementos de transmisión y recepción de datos. La interacción es

netamente entre el supervisor y el usuario que es el que certifica que todo esté funcionando de manera correcta y en caso de no ser así poder realizar las configuraciones necesarias mediante alguna interfaz.

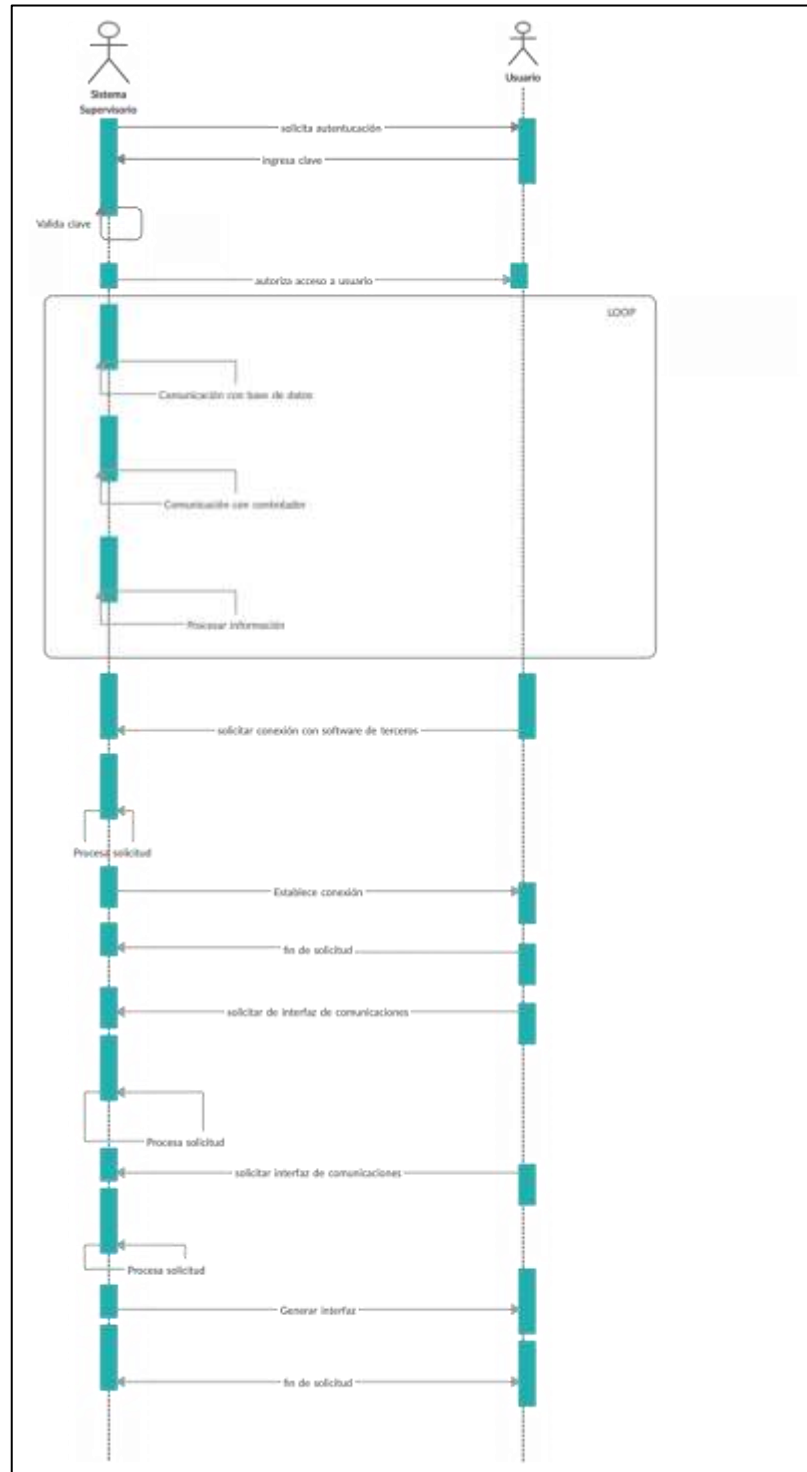


Figura 3. 19: Diagrama de secuencia: Chequeo de comunicaciones
Elaborado por: Autor.

3.3.3. Diagramas de estados.

Con los diagramas de estados podemos identificar por cual de ellos se encuentra transitando un objeto o una función del sistema, nos brinda una mayor visión de los pasos que se ejecutan en determinado proceso. Normalmente contienen estados y transiciones, a continuación, se presentan los diagramas de estados del sistema supervisorio dejando en constancia de que todos los procesos se mantienen ejecutándose repetitivamente hasta que el usuario, supervisor o técnico así lo decida.

En la figura 3.20 del diagrama de estados de monitorización y visualización se observa que el proceso inicia con el acceso del usuario al sistema, validando la información y brindando una interfaz con las diferentes gráficas de las variables del proceso que se encuentran en un lazo repetitivo (loop) generándose varias veces actualizando los valores. El usuario puede modificar las gráficas acorde a lo que necesite visualizar o mejorar para tener una vista mas clara y comprensible luego de haber realizado este tipo de cambio el sistema se mantiene con estos ajuste mostrando los datos nuevamente hasta que solo por medio de una orden externa que ejecuta el usuario, se podrá salir de la pestaña o ventana de visualización.

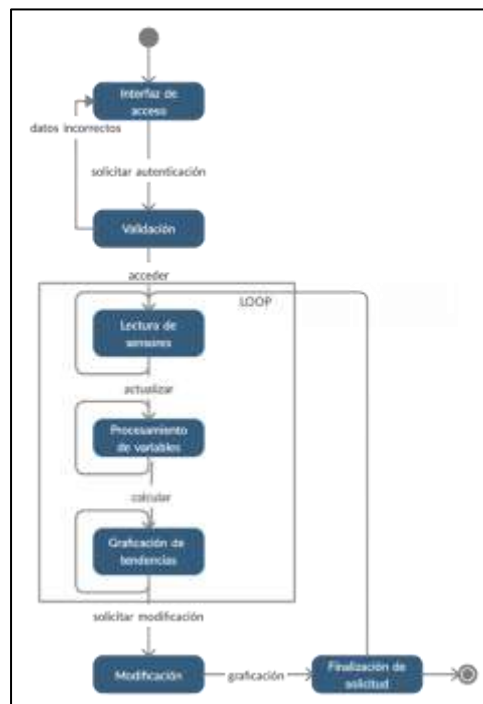


Figura 3. 20: Diagrama de estados: Monitorización y visualización (usuario)
Elaborado por: Autor.

Al igual que en el diagrama de la figura 3.20, la figura 3.21 muestra el diagrama de estados de la monitorización y supervisión del sistema supervisorio por parte del supervisor. El funcionamiento es igual al de la figura 3.20 con el único cambio que este, puede generar reportes de las gráficas para poder presentar informes o elaborar análisis del proceso en base a estas figuras de tendencias, la opción de generación de informes se maneja bajo la validación de que el que este ingresando en el sistema sea el supervisor.

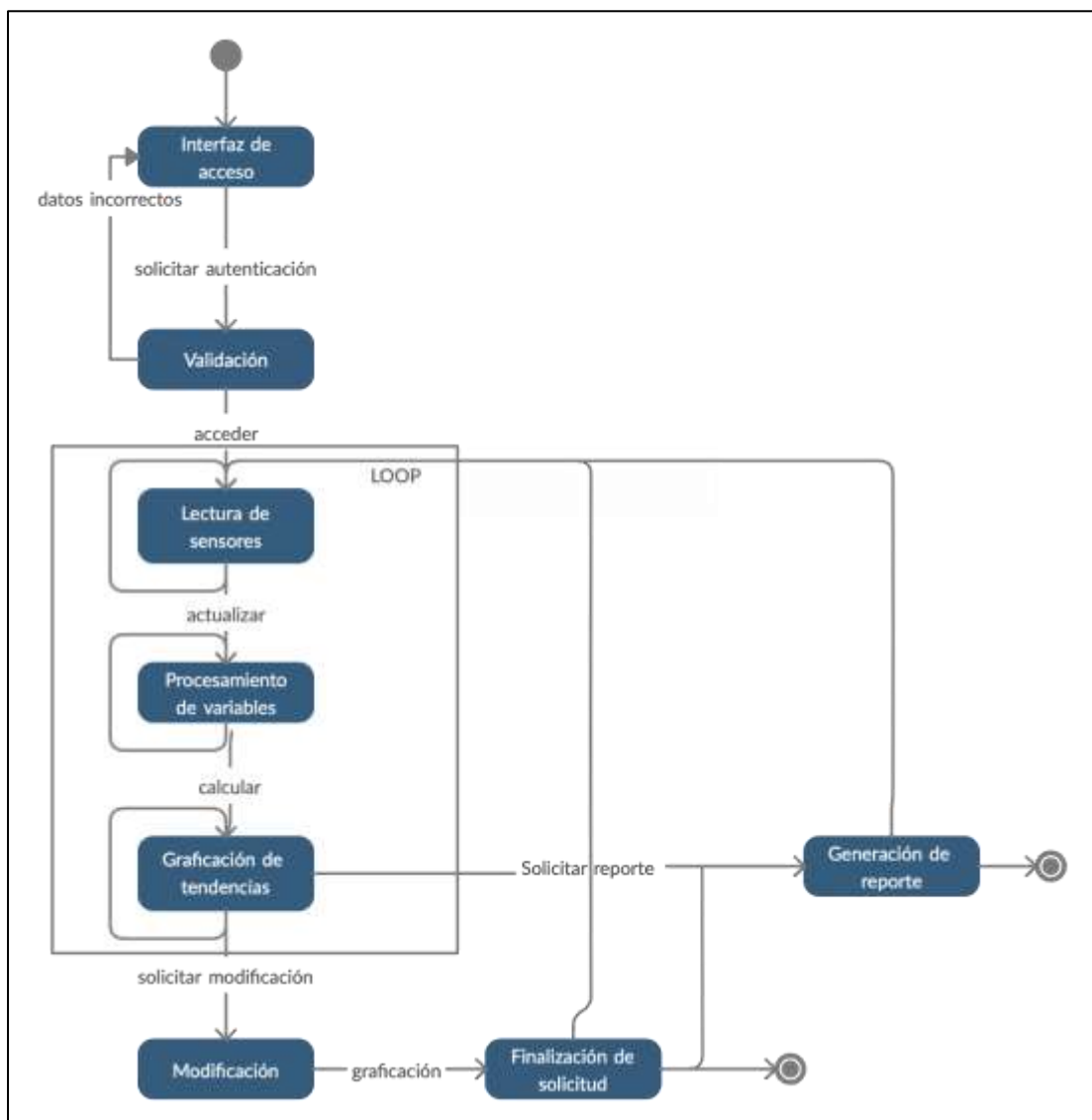


Figura 3. 21: Diagrama de estados: Monitorización y visualización (supervisor)
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.22, se muestra el diagrama de estados de control y mando remoto del sistema supervisorio donde de igual manera que en los

diagramas de secuencia se encuentra dividido en usuario y supervisor ya que cada uno contiene funciones que el otro no puede manipular. En el caso de la figura 3.22 el control y mando remoto corresponde al usuario, donde el proceso inicia con la validación de los datos de ingreso donde luego de acceder se establecen las conexiones con el controlador para proceder a la parte de control del sistema. Existe una opción o estado donde se pueden modificar parámetros de funcionamiento o seleccionar el modo de cómo opera la planta potabilizadora de igual manera poder activar o desactivar válvulas y/o motores para proceder a un control manual.

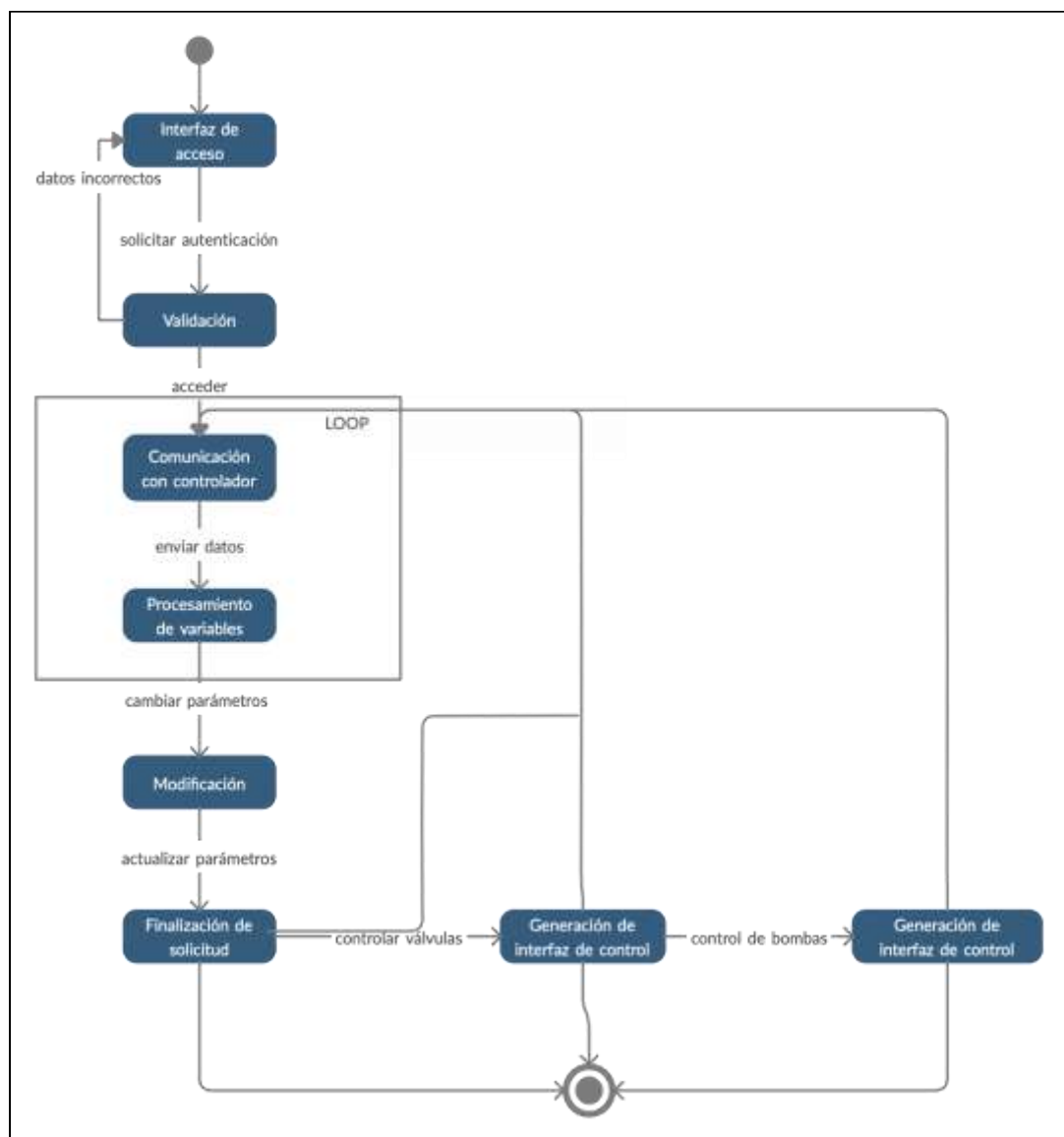


Figura 3. 22: Diagrama de estados: Control y mando remoto (usuario)
Elaborado por: Autor.

En el control y mando remoto orientado al técnico de mantenimiento, se evidencia que solamente puede generar la parte de control puesto que él solo tiene esta opción para la gestión de mantenimiento y corrección de fallas técnicas en los elementos de campo del proceso de filtración. De igual manera que el usuario, el técnico de mantenimiento valida sus datos y el sistema logra comunicarse con el controlador para poder enviar y recibir los comandos de control y de esta manera proceder a la inspección, mantenimiento, calibración entre otros procesos que este tiene a cargo.

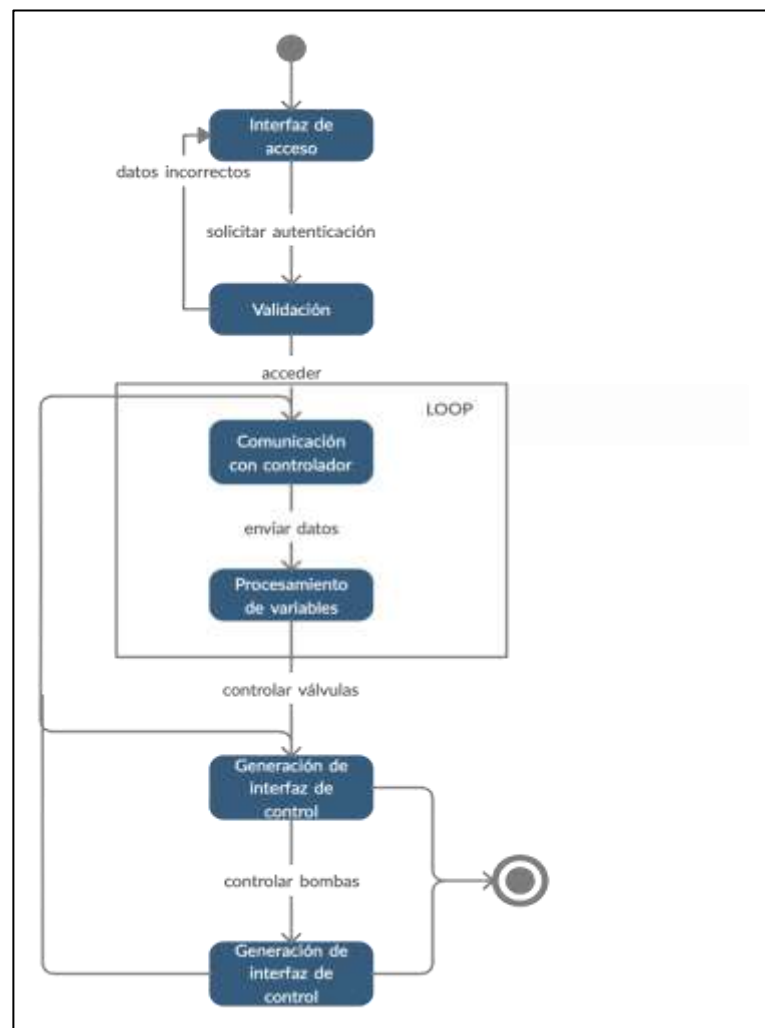


Figura 3. 23: Diagrama de estados: Control y mando remoto (Tec. Mantenimiento)
Elaborado por: Autor.

Para el diagrama de estados 3.24 correspondiente al registro de históricos por parte del usuario, inicia con la validación de acceso para seguir con la comunicación y conexión a base de datos donde está almacenada la

información de los procesos desde los inicios del mismo así como las alarmas que se han ejecutado anteriormente o recetas de producción, todo esto se genera mediante interfaces de visualización tanto para constatar datos o para modificarlos.

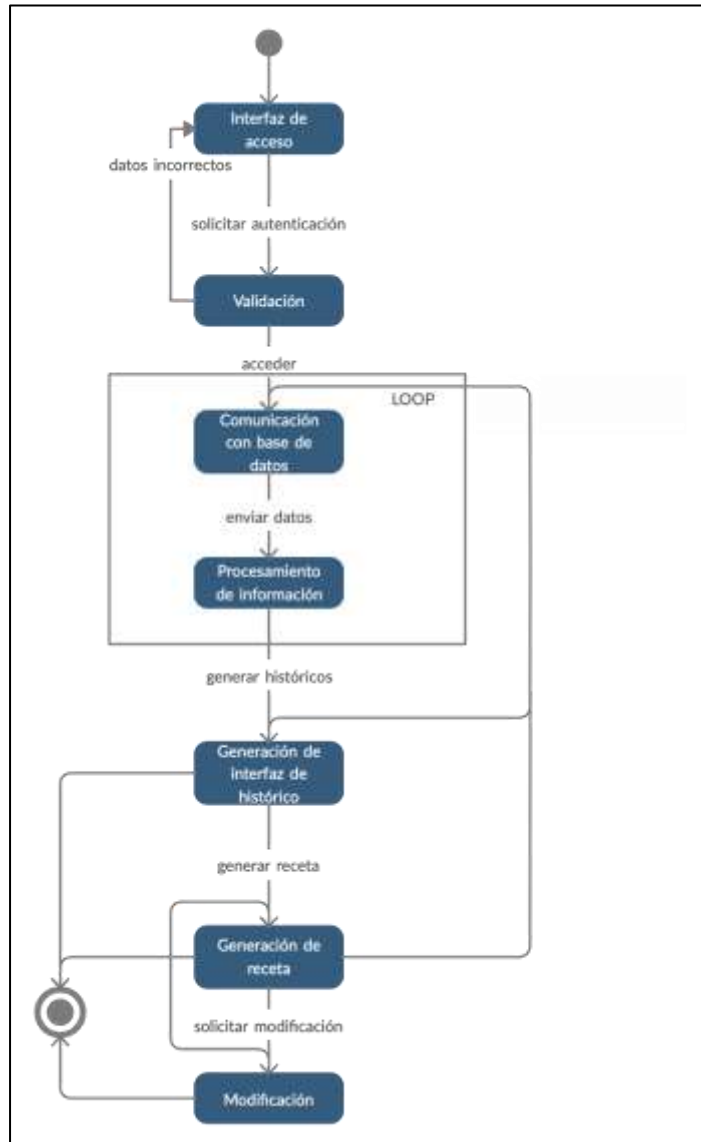


Figura 3. 24: Diagrama de estados: Registro de histórico (usuario)
Elaborado por: Autor.

Para la figura 3.25 correspondiente al registro de históricos por parte del supervisor, ejecuta las mismas acciones que el usuario con una diferencia mínima de no poder cambiar ni generar las recetas, solo administrar los datos e informes en base a estos. Se ejecuta de la misma maneja con la validación de datos al ingreso, lo que hace que se asignen las funciones dependiendo de quien sea.

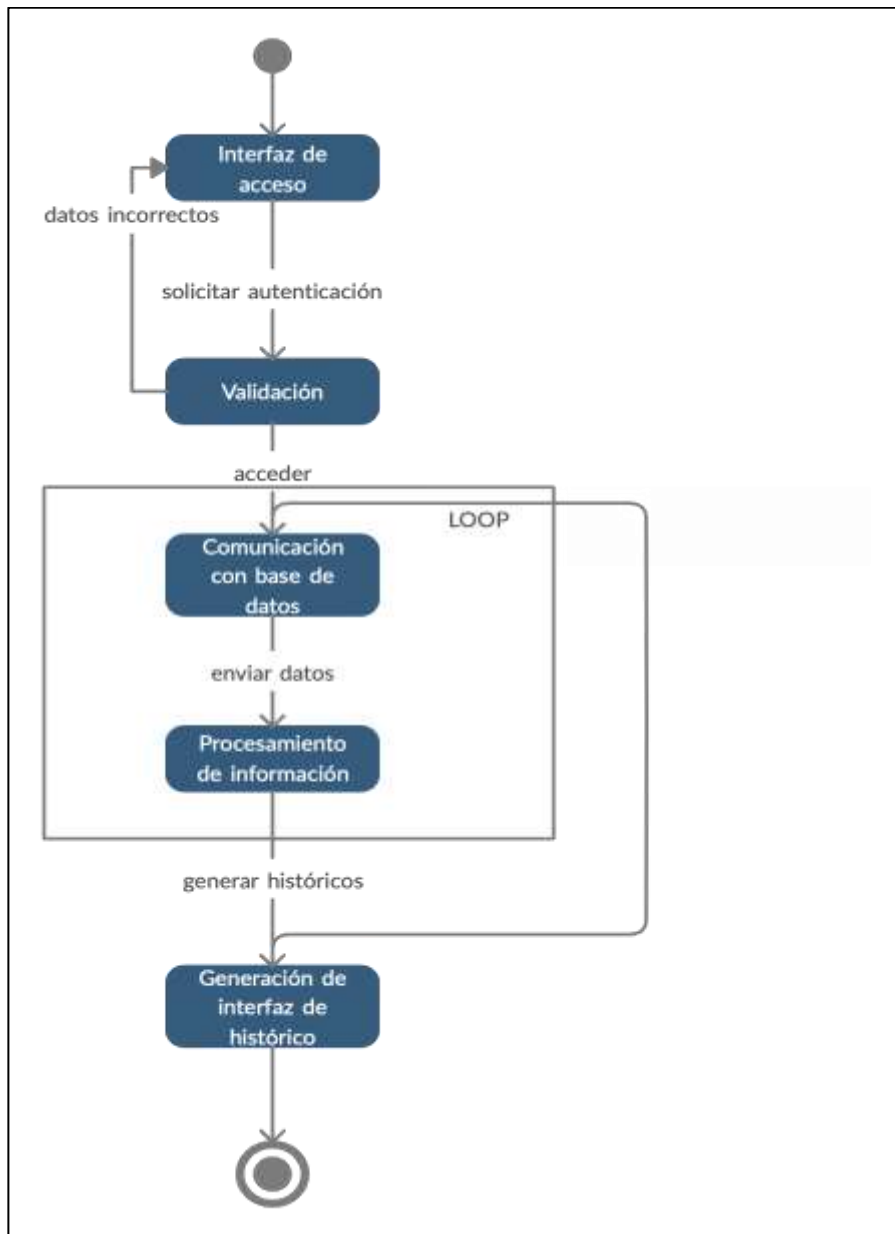


Figura 3. 25: Diagrama de estados: Registro de históricos (supervisor)
Elaborado por: Autor.

Para el tratamiento de alarmas de la figura 3.26, es muy importante recalcar que solo tiene acceso el usuario principal del sistema para poder tratar las alarmas ya que los supervisores pueden revisar los registros históricos del proceso y ya conocer información procesada y exacta para saber que fue lo que sucedió. El proceso es igual a los anteriores que inicia con la validación del usuario y generación de los gráficos de alarmas, así como interfaces de modificación de parámetros.

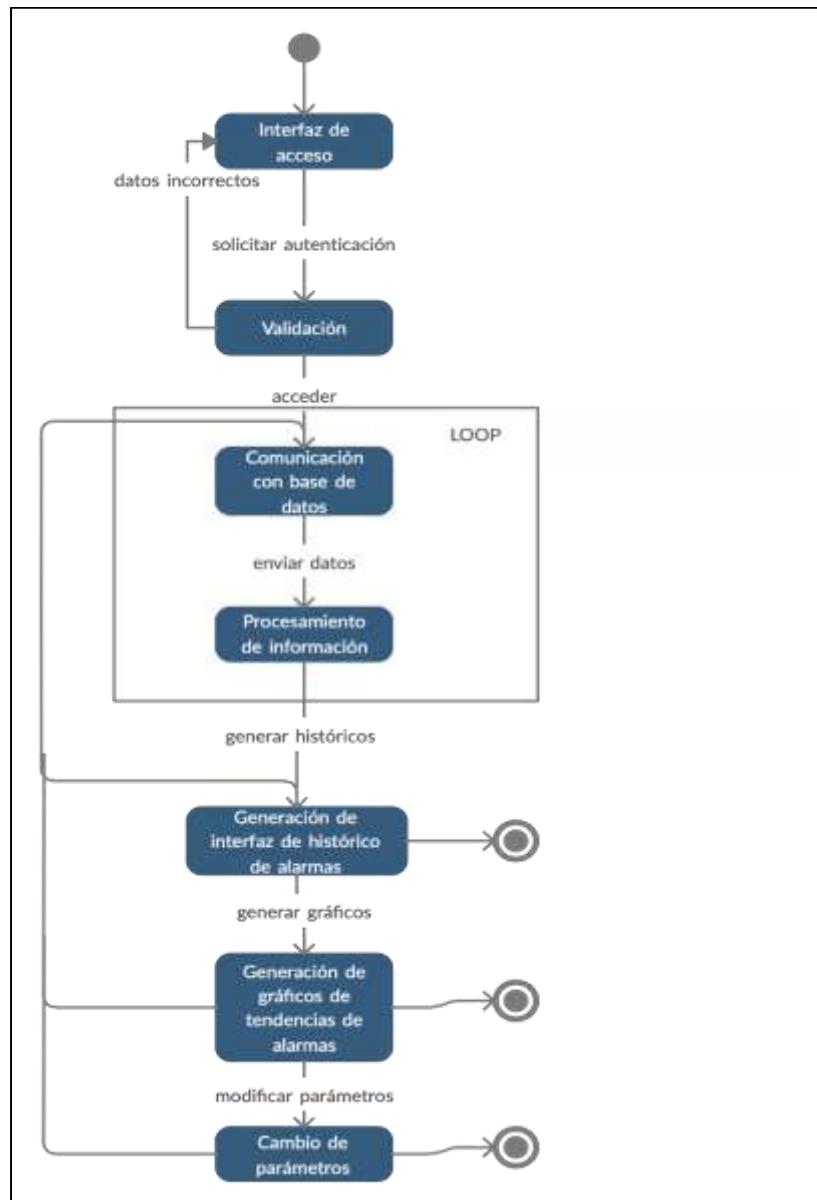


Figura 3. 26: Diagrama de estados: Tratamiento de alarmas
Elaborado por: Autor.

En el diagrama de estados de la figura 3.27, se presenta el chequeo de comunicaciones que realiza el sistema supervisorio donde ha pesar de que siempre se está ejecutando la conexión con todos los periféricos de emisión y recepción de datos, se debe tener en cuenta una ventana donde se realicen nuevas conexiones o poder revisar e estado de las mismas. El proceso se inicia con la validación del usuario, que se encarga de revisar que cada uno de los elementos mantengan una conexión bien establecida y de igual manera para otorgar acceso a nuevos dispositivo o softwares de terceros como programas de análisis de datos u hojas de Excel para el análisis de dato entre

otros casos que se pueden presentar. Entre todas las pestañas o ventanas del proceso, se puede mencionar que la del chequeo de comunicaciones es la base de todas ya que sin tener cómo verificarlas no se establecerán las emisiones de datos y se podría perder información valiosa del proceso.

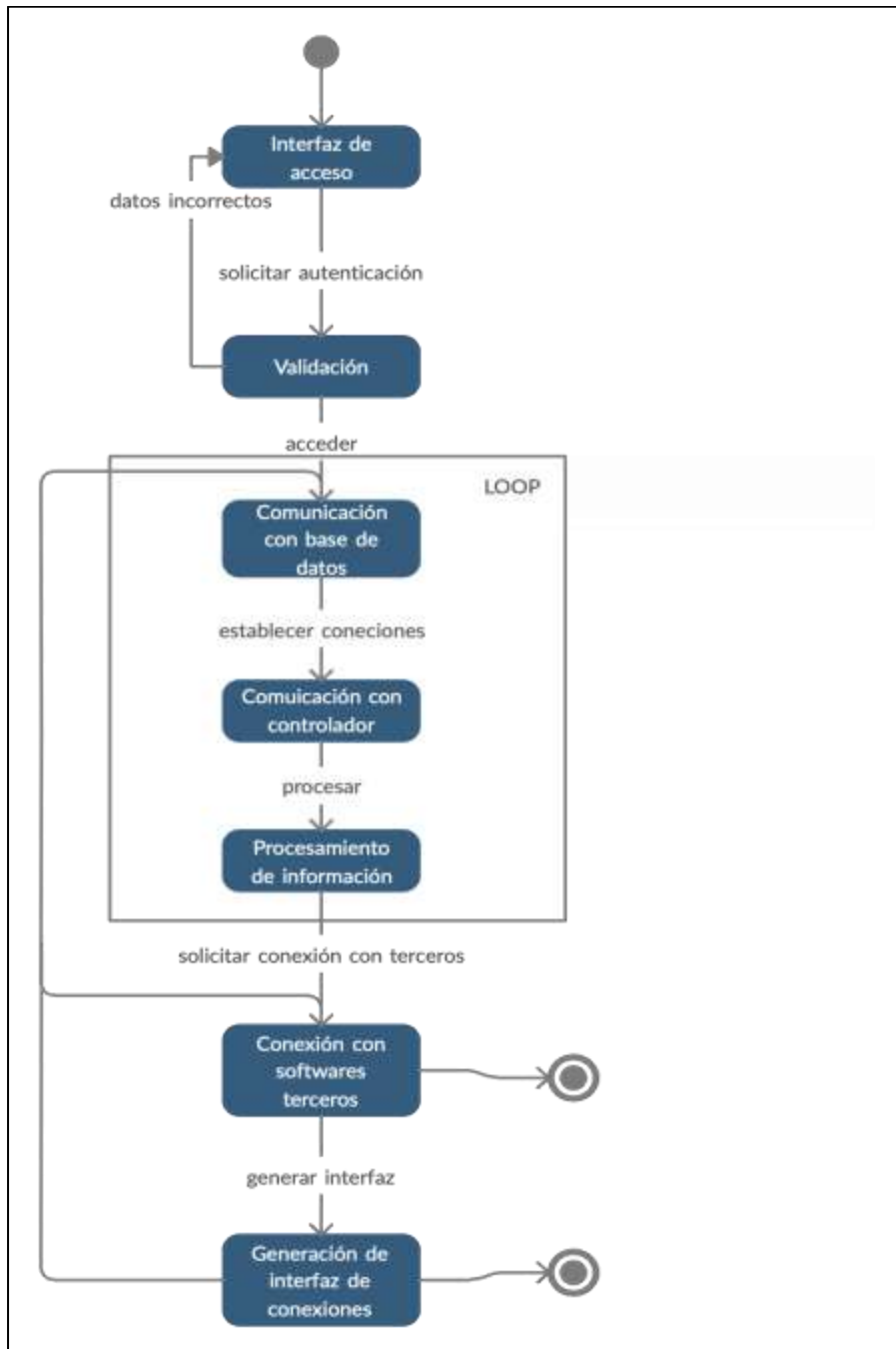


Figura 3. 27: Diagrama de estados: Chequeo de comunicaciones
Elaborado por: Autor.

3.4. Modelado con redes de Petri.

Las redes de Petri nos ofrecen una visión del funcionamiento de un sistema y gracias a que son herramientas gráficas, se puede implementar redes que cumplan las condiciones dadas para un sistema. En el presente tema, se modela el sistema supervisorio desde el punto de vista del funcionamiento del mismo cumpliendo cada una de las reglas de las redes y de las condiciones propuestas para el sistema como por ejemplo los controles de acceso y restricciones de ventanas acorde al actor que intervenga.

3.3.1. Modelado del control de acceso y selección de ventanas.

El control de acceso en el sistema supervisorio es de suma importancia puesto que solo uno de los actores puede ingresar al sistema a la vez, por ende, en el modelado con redes de Petri se debe tomar en cuenta a continuación, se presenta la red del control de acceso al sistema.

La red de la figura 3.28 presenta a los tres actores al ingreso donde solo uno puede acceder teniendo en cuenta la orientación de los arcos que inhiben el acceso y donde el actor que tenga acceso tendrá que hacer validar sus datos, solo en el caso de que los datos ingresados sean correctos, el actor podrá ingresar a la selección de pestañas teniendo en cuenta nuevamente la limitación de acceso a las mismas.

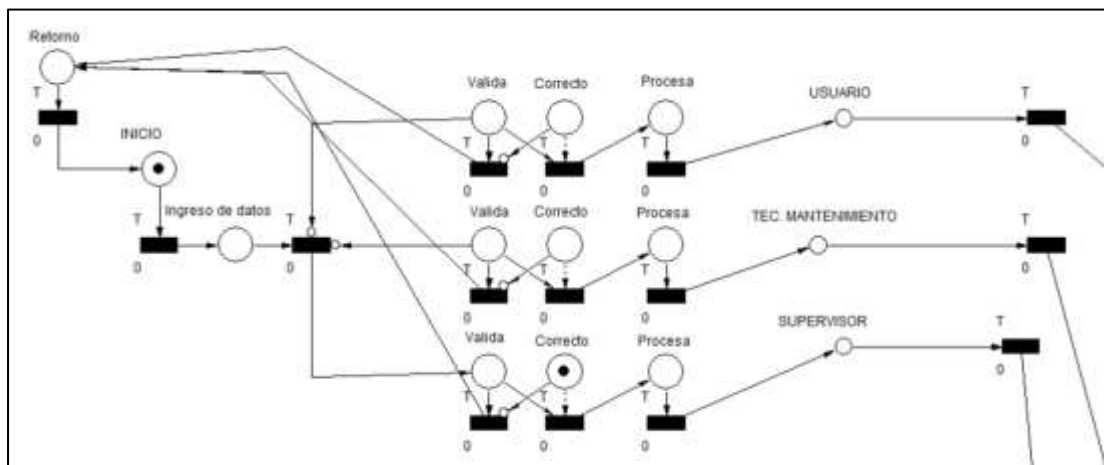


Figura 3. 28: Red de Petri: control de acceso
Elaborado por: Autor.

Para la selección de ventanas, se realiza el modelado asignando los ingresos dependiendo del actor puesto que no todos podrán acceder y tener

la posibilidad de hacer las mismas acciones. Para el caso del usuario presenta el acceso y control a todas las ventanas las cuales son: Monitorización, control, alarmas, históricos y comunicaciones, las cuales se identifican en la figura.

La figura 3.29, muestra la elección de la ventana a acceder por parte del usuario donde constan las cinco opciones a las que tiene un libre acceso, se ha considerado proveer el acceso a todas las ventanas al usuario por ser la persona facultada con los conocimientos del proceso completo de potabilización y que conoce a cabalidad cada una de las etapas siendo así que puede ejecutar cambios para mantener el correcto funcionamiento. Un punto importante es que dentro de esta red, entra una subred del proceso de que cumple cada una de las ventanas en las que tiene acceso, las cuales se presentarán en el desarrollo de este capítulo.

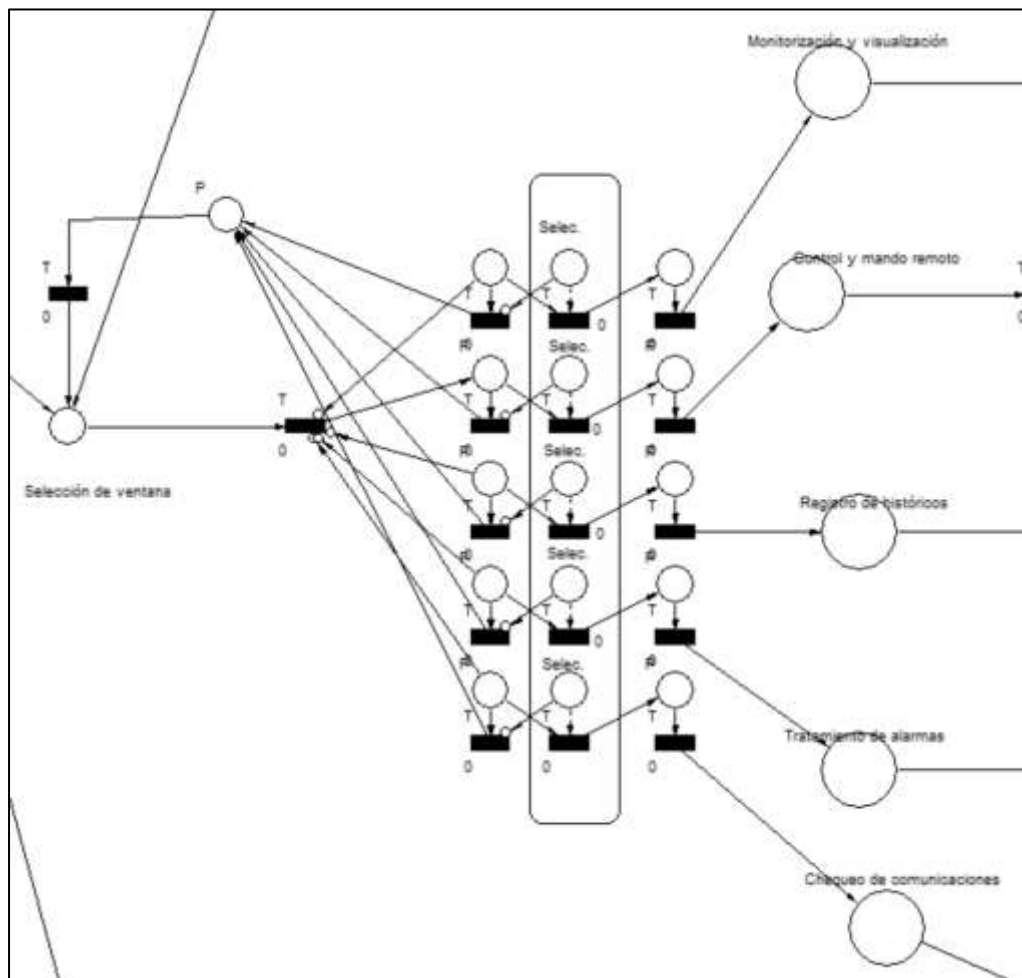


Figura 3. 29: Red de Petri: Selección de ventana (Usuario)
Elaborado por: Autor.

La figura 3.30, plasma la elección de ventana para el técnico de mantenimiento que es uno más de los actores pero que su límite de acceso llega tan solo a la ventana de control y mando remoto ya que se considera que tan solo puede manipular el estado de activación o desactivación de bombas y válvulas para mantener el sistema siempre operativo.

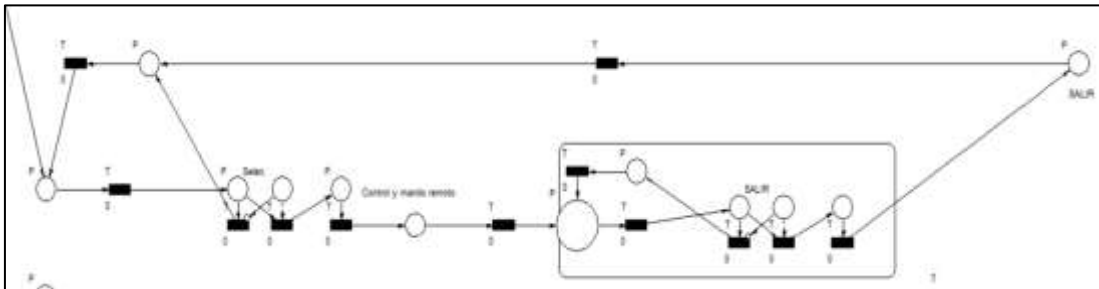


Figura 3. 30: Red de Petri: Selección de ventana (Tec. Mantenimiento)
Elaborado por: Autor.

Como último actor tenemos al supervisor de la planta potabilizadora, el cual mantiene el acceso a tan solo dos ventanas del proceso. En la figura 3.31, se visualiza la selección de venta entre la de registro de históricos y monitorización ya que al ser la persona que tan solo necesita análisis o resultado, se considera que el acceso a estas dos pestañas es suficiente para la generación de reportes y emitir ciertos informes de funcionamiento o producción.

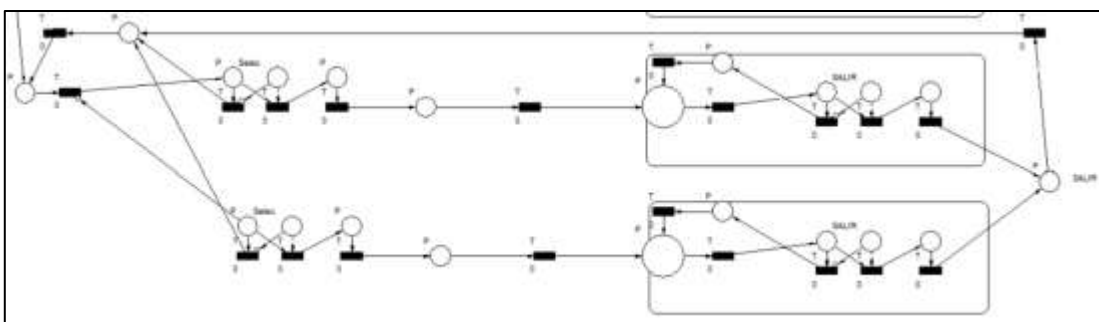


Figura 3. 31: Red de Petri: Selección de ventana (Supervisor)
Elaborado por: Autor.

Una vez que se han presentado las redes de Petri de control de acceso y las pestañas o ventanas a las cuales pueden ingresar, esto se expresa en ecuaciones de funcionamiento, las cuales se exponen a continuación: para el

primer caso, se generan las ecuaciones para el usuario y cada una de las ventanas de acceso que tiene.

EC1: Acceso y selección de pestaña de monitoreo y visualización.

$$\begin{aligned} &M(P13) + M(P17) + M(P19) + M(P20) + M(P22) + M(P23) + M(P25) + M(P26) + M(P28) \\ &+ M(P29) + M(P3) + M(P31) + M(P32) + M(P33) + M(P34) + M(P35) + M(P36) + M(P37) \\ &+ M(P39) + M(P4) + M(P40) + M(P41) + M(P43) + M(P44) + M(P45) + M(P46) + M(P48) \\ &+ M(P49) + M(P50) + M(P51) + M(P53) + M(P54) + M(P55) + M(P56) + M(P58) + M(P60) \\ &+ M(P61) + M(P62) + M(P64) + M(P65) + M(P66) = 1 \end{aligned}$$

Uno de los puntos importantes es el marcado que se realizar en el software PIPE para la obtención de las ecuaciones automáticamente y que representan la sumatoria de cada uno de los estados por donde circula el token o marca y cuyo resultado, en nuestro caso, debe ser de 1 debido a que por todo el sistema tan solo debe fluir una marca. Otro de los puntos importantes en el caso en estudio es que se generan las mismas ecuaciones para cada una de las ventanas del usuario, esto nos indica que el token puede recorrer cada uno de estos estados asignados en las ecuaciones y llegar al mismo punto de salida en común.

De igual manera se presentan las ecuaciones de acceso a las pestañas por parte del supervisor y del técnico de mantenimiento tal y como se asignan en las redes de Petri de las figuras anteriores

EC2: Acceso y selección de pestaña control y mando remoto (Tec. Mantenimiento).

$$M(P14) + M(P67) + M(P68) + M(P69) + M(P7) + M(P71) + M(P72) + M(P73) + M(P74) + M(P75) + M(P77) + M(P78) + M(P8) = 1$$

EC3: Acceso y selección de pestaña de monitoreo y visualización (Supervisor)

$$\begin{aligned} &M(P10) + M(P12) + M(P15) + M(P79) + M(P80) + M(P82) + M(P83) + M(P85) + M(P86) \\ &+ M(P87) + M(P88) + M(P89) + M(P90) + M(P91) + M(P93) + M(P94) + M(P95) + M(P96) \\ &+ M(P98) + M(P99) = 1 \end{aligned}$$

EC4: Acceso y selección de pestaña de registro de históricos (Supervisor)

M(P10) + M(P12) + M(P15) + M(P79) + M(P80) + M(P82) + M(P83) + M(P85) + M(P86) + M(P87) + M(P88) + M(P89) + M(P90) + M(P91) + M(P93) + M(P94) + M(P95) + M(P96) + M(P98) + M(P99) = 1

Las redes y ecuaciones de los siguientes casos se presentan en la parte de anexos por motivos de forma y de no extender más el capítulo.

3.5. Diseño del sistema supervisorio en un HMI Kinco.

Para poder realizar la implementación del sistema supervisorio en el HMI, se necesita la descarga del software de Kinco HMIware donde se agrega el modelo de la pantalla para poder realizar la programación y en base al funcionamiento de las redes de Petri se crean las ventanas necesarias para ir cumpliendo paso a paso lo propuesto en cada parte de los modelos.

En la figura 3.32, se presenta la pantalla principal del software del HMI Kinco, el cual mantiene un interfaz de programación sencillo. Del lado derecho en la zona del Tree View (árbol de ventanas o vistas) se aprecian los elementos y las ventanas creadas en el sistema y de igual manera los elementos de control como PLC con los cuales se puede mantener comunicación al sistema. En el lado izquierdo encontramos la ventana de los elementos gráficos con los cuales se va recreando las pantallas y las simulaciones del proceso.



Figura 3. 32: Pantalla principal del software Kinco HMIware
Elaborado por: Autor.

La ventana de control de acceso al sistema se maneja para que uno de los tres actores puede generar su ingreso registrando la clave que le corresponda a cada uno, cumpliendo así las limitaciones de ingreso para cada uno de los actores que manipulan el sistema y que es de suma importancia mantener siempre seguridades o restricciones de ingreso para evitar modificaciones no deseadas en el sistema de control o de supervisión.



Figura 3. 33: Venta del control de acceso al sistema.
Elaborado por: Autor.

La selección de ventanas representada en la figura 3.34, corresponde a la parte del usuario ya que consta con las cinco opciones a elegir. De igual manera en la parte inferior derecha de la pantalla encontramos el botón de INICIO con el cual podemos regresar al ingreso inicial en el sistema cerrando todo tipo de accesos para evitar que otros actores ingresen.



Figura 3. 34: Ventana de selección de pestañas
Elaborado por: Autor.

Otra de las ventanas del sistema es la de monitorización y visualización, por medio de ella llegamos a observar lo que está sucediendo con cada una de las variables dependiendo de que batería de filtros o tanque de almacenamiento sea, teniendo así una visualización mucho más agradable y entendible.



Figura 3. 35: Ventana de monitorización y visualización
Elaborado por: Autor.

En los anexos de la investigación se encuentran las imágenes restantes del sistema con una breve explicación de la función que cumplen dando a conocer así la relación con el modelado UML-PN con el cual se obtiene un sistema mucho más dinámico, no redundante y comprensible para el usuario final.

Capítulo 4: Presentación de resultados y discusión

4.1. Presentación de resultados

Los resultados que se obtuvieron en la investigación estuvieron acordes a lo esperado, se demuestra que la implementación de sistemas supervisorios en base a un modelado formal matemático, facilita el mismo diseño hasta el funcionamiento pues ayuda a encontrar errores y fallos desde antes de la implementación ahorrando así dinero en la corrección de los errores a futuro. Gracias a las herramientas de modelado, UML y redes de Petri, se pudo obtener modelos de sistemas óptimos, no redundantes para la implementación en los sistemas de filtración de agua.

4.1.1. Resultados de software

Referente al software, los resultados que se obtuvieron están dentro de los parámetros, pues se está utilizando sistemas operativos y programas que cumplen con las condiciones para la implementación del sistema supervisorio, ofreciendo versatilidad en el funcionamiento.

Los softwares Pipe, Visual Object Net y Kinco HMIware fueron los utilizados para el modelamiento, implementación y simulación del sistema, presentaron gran prestación y facilidad del manejo para poder realizar los procesos mencionados.

A nivel de software del sistema supervisorio como tal, presenta un correcto funcionamiento con las diferentes condiciones propuestas desde el nivel de verificación al ingreso al sistema hasta el dinamismo entre ventanas, quedando diseñado un sistema eficiente. El programa Kinco HMIware, ofrece facilidad de manejo al momento del diseño de las diferentes ventanas del supervisorio, cuenta con simulaciones fuera de línea esto quiere decir que no es necesidad mantener el dispositivo conectado a la PC para ir realizando cambios, facilitando así el trabajo. El manejo e interacción de las ventanas fueron desarrolladas acorde al modelado y a los resultados de las redes de Petri creando así el sistema sin fallos y optimizado en cuestiones de uso.

4.1.2. Resultados de interfaz de usuario

El interfaz de usuario, haciendo referencia al sistema supervisorio, presenta gran dinamismo en su funcionamiento y genera la confianza y la facilidad del manejo para poder realizar y analizar todos los procesos que se están dando.

Las redes jerarquizadas también generan beneficios para el sistema pues dependiendo del proceso del sistema estas redes jerarquizadas pueden ofrecer la facilidad de cumplir las funciones de subsistemas que quizá no están al nivel del sistema principal o son procesos poco relevantes. Dentro de redes de Petri se pueden observar estos casos pues existen las subredes de las cinco ventanas de control, visualización etc.

- El resultado del modelado se lo analizó con el método de simulación de invariantes en el software Pipe el cual nos otorgó las ecuaciones de funcionamiento de cada una de las partes del sistema.
- Las diferentes redes de Petri cumplen con la propiedad de vivacidad lo que quiere decir que todas las funciones se encuentran disponibles, libre de bloqueos en donde no tendrá problemas en su funcionamiento.

4.2. Discusión de resultados

4.2.1. Cumplimiento de las funciones del sistema

El sistema se logró modelar y representar con éxito con la ayuda de los diferentes softwares tanto para el modelado como para la implementación. Cada etapa y subproceso con los que cuenta el sistema trabaja de forma correcta logrando lo propuesto en los inicios de la investigación.

- Mediante la interfaz de control y mando remoto se logra controlar los diferentes estados de los elementos de cada uno de los seis filtros con los que cuenta el sistema y de igual manera con el tanque de almacenamiento.

- Con las diferentes pantallas de visualización se logra observar la señalización de cada una de las variables que intervienen en el proceso como son las de caudal, presión y nivel.
- La generación de alarmas y registros de históricos de igual manera se presentan en ventanas con gráficas que ofrecen una mayor comprensión de los eventos suscitados en el sistema.
- Una de las funciones claves desde el inicio es las restricción o limitación de acceso para cada usuario la cual se cumple desde la ventana de ingreso al sistema con el acto de ingreso de las contraseñas vinculadas a cada actor.
- Todas estas funciones se comprueban gracias a la implementación y simulación del sistema supervisorio en un HMI Kinco el cual favoreció en la corrección de errores aplicando los casos de las redes de Petri como base para el correcto funcionamiento.

4..2.2. Cumplimiento de los objetivos

En la presente sección se analiza el cumplimiento de los objetivos, tanto general como específicos, los cuales se plantearon al inicio de la investigación.

4..2.2.1. Cumplimiento del objetivo general.

Se logró proponer un diseño de sistema supervisorio para un subsistema de filtración de una planta potabilizadora de agua, diseño basado en fundamentación teórica y en simulaciones de redes de Petri para la comprobación del correcto funcionamiento del mismo. Con este estudio también se evidencia la aplicación de herramientas de modelado como UML para sistemas supervisorios y que gracias a estas herramientas se pudo lograr un sistema muy dinámico.

4..2.2.2. Cumplimiento de objetivos específicos.

- Se logró proponer una arquitectura para el sistema supervisorio la cual es una arquitectura jerarquizada y modular donde cada una de las partes que la componen tienen asignadas funciones específicas.

Gracias a este tipo de arquitecturas se logra conseguir un sistema de fácil corrección de daños puesto que, al tener funciones específicas asignadas, una no interfiere con la otra.

- Se obtuvieron las diferentes redes de Petri y diagramas UML jerárquicos, donde hacen referencia a los subsistemas que se encontraban involucrados en el sistema general de supervisión. Las redes y su correcto funcionamiento se comprobaron mediante la simulación en el software Visual Object Net y la obtención de sus ecuaciones con el software Pipe.
- Se logró implementar el sistema supervisorio en un hardware HMI de la marca Kinco el cual presenta una gran versatilidad para la implementación de este tipo de sistemas. El supervisorio muestra un flujo de funcionalidad correcto poniendo en evidencia que el modelado con herramientas UML-PN optimiza el sistema.

4..2.3. Análisis de la metodología

La metodología empleada fue de tipo correlacional por la cantidad extensa de variables que se tratan en las diferentes pestañas, el análisis de las mismas. La simulación y el análisis fue parte de la metodología que mejor presenta resultados puesto a que los sistemas al verlos funcionar en una simulación se pueden constatar los errores por la mínima perturbación generada en el mismo. Gracias a estas metodologías podemos crear sistemas con errores casi nulos puesto que cada proceso es comprobado en simulaciones hasta obtener un resultado matemático con el cual se pueda optimizar este.

4..2.4. Análisis de la solución del problema de investigación

Como se menciona en capítulos previos el problema objetivo de investigación era la falta de utilización de herramientas útiles para el modelado tales como redes de Petri y UML. En el desarrollo de la investigación se demuestra como se emplean ambas herramientas llegando a modelos finales del sistema ya optimizado cumpliendo cada una de las condiciones establecidas.

UML-PN como herramientas de modelado formal, presentan solución frente al modelamiento de un sistema supervisorio para un subproceso de filtración del agua en una planta potabilizadora, creando un sistema no redundante sin errores.

Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- La arquitectura propuesta para el sistema supervisorio inteligente en base al modelado matemático con red de Petri y UML, es una arquitectura jerarquizada que permite los controles de diferentes niveles de la automatización así como el mando y monitorización del proceso de filtración de agua. En el modelado se presentan subprocesos cuya integración se facilita solo por el hecho de que todo el sistema se maneja con una arquitectura jerarquizada.
- El modelado del sistema supervisorio con UML permite proyectar todas las instancias del sistema deseado permitiendo definir con mayor precisión los requisitos funcionales.
- El modelo con redes de Petri de un sistema supervisorio permite la detección con certeza del comportamiento dinámico del sistema.
- El diseño modular propuesto se cumple en el modelamiento de cada una de las funciones principales que realiza el supervisorio, puesto que de esta manera la integración se facilita aún más y presenta ventajas al momento de realizar modificaciones sin tener que alterar o parar el sistema.
- La implementación en un HMI Kinco demuestra el funcionamiento en físico del sistema supervisorio y su implementación se realiza en base al sistema modelado acorde se diseña en las redes de Petri y UML concluyendo que en base a un modelo se puede lograr un sistema óptimo en funcionamiento.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de herramientas como el software Pipe o Visual Object Net para el modelado con redes de Petri ya que cuentan con una interfaz de uso sencillo además de ser gratuitos con los cuales se puede trabajar en proyectos a grande escala.
- Se recomienda el uso subredes y subsistemas para facilitar el modelado con pequeñas redes hasta finalmente consolidarlas en una sola red grande.
- A la comunidad de estudiantes, indagar sobre nuevos métodos para conseguir eficiencia en el control de procesos, supervisión y adquisición involucrándose en lenguajes de programación orientado a objetos tal como lo hace UML en la supervisión.
- A la comunidad en general, seguir con el desarrollo de esta temática de supervisorios inteligentes involucrandose en la indsutria 4.0, técnicas de machine learning y analisis de datos a partir de la obtención de información de campo mediante la utilización de sensores inteligentes.

Bibliografía

- Alarcon, R. (2000). *Diseño Orientado a Objetos con UML*. 117.
- Aldaej, A., & Badreddin, O. (2016). Towards Promoting Design and UML Modeling Practices in the Open Source Community. *2016 IEEE/ACM 38th International Conference on Software Engineering Companion (ICSE-C)*, 722–724.
- Beatriz Portilla, N., de Queiroz, M. H., & Cury, J. E. (2014). Integration of supervisory control with SCADA system for a flexible manufacturing cell. *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 261–266. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945518>
- Benitez-Pina, I., Sicchar-Vilchez, R., Sanz-Perez, M., & Tamayo-Pacheco, J. (2014). *Diseño De Supervisorio Inteligente De Planta De Bloques De Construcción*. 8.
- Braude, E. (2017). Incremental UML for Agile Development: Embedding UML Class Models in Source Code. *2017 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Rapid Continuous Software Engineering (RCoSE)*, 27–31. <https://doi.org/10.1109/RCoSE.2017.1>
- Brooks, T. T. (2017). On Vulnerabilities of IoT- Based Consumer- Oriented Closed- Loop Control Automation Systems. En *Cyber-Assurance for the Internet of Things*. IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7827419>
- Cardoso, J., & Valette, R. (1997). *Redes de Petri*.
- Chen, C., & Hu, H. (2016). Structure independence of supervisor simplification in automated manufacturing systems using Petri nets. *2016 European Control Conference (ECC)*, 2329–2336.

<https://doi.org/10.1109/ECC.2016.7810639>

Das, R., Madani, V., Aminifar, F., McDonald, J., Venkata, M., Novosel, D., Bose, A., & Shahidehpour, M. (2015). Distribution automation strategies: Evolution of technologies and the business case. *2015 IEEE Power Energy Society General Meeting*, 1–1.
<https://doi.org/10.1109/PESGM.2015.7286018>

Erfianto, B., & Putrada, A. G. (2019). Water Filter Automation System Using Fuzzy Logic Controller. *2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICoICT.2019.8835231>

Fadhel Khelifa, R., & Jelassi, K. (2014). Supervisory Control and Data Acquisition of power distribution. *2014 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM)*, 1–8.
<https://doi.org/10.1109/CISTEM.2014.7076926>

Galarza, L. (2016). *Diseño de un mecanismo de automatización para el mejoramiento de la calidad del servicio técnico en una empresa de distribución de energía eléctrica en caso de una contingencia por falla trifásica*. Trabajo final para la obtención del título: Magíster en Automatización y Control Industrial. Espol. Fiec, Guayaquil. 35p.

García, E. (2001). *Automatización de procesos industriales: Robótica y automática*. Universidad Politécnica de Valencia.

Geng, H. (2017). Scada Fundamentals And Applications In The IoT. En *Internet of Things and Data Analytics Handbook* (pp. 283–293). Wiley.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8045485>

Ibrahim, S. N., Hakim, M. S. L., Asnawi, A. L., & Malik, N. A. (2016). Automated Water Tank Filtration System Using LDR Sensor. *2016 International Conference on Computer and Communication Engineering*

(ICCCE), 195–199. <https://doi.org/10.1109/ICCCE.2016.51>

Idrovo, C. (2010). *Optimización de la planta de tratamiento de uchupucun*.
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>

Junker, B. H., & Schreiber, F. (2008). Petri Nets. En *Analysis of Biological Networks* (pp. 139–179). Wiley.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8041111>

Lange, C. F. J., Chaudron, M. R. V., & Muskens, J. (2006). In practice: UML software architecture and design description. *IEEE Software*, 23(2), 40–46. <https://doi.org/10.1109/MS.2006.50>

LLAPASI. (2018, noviembre 9). La importancia de las plantas potabilizadoras de agua. *Llapasi*. <https://llapasi.com/noticias/la-importancia-de-las-plantas-potabilizadoras-de-agua/>

Lone, Karuna. S., & Chavan, S. D. (2018). Design and Implementation of Wireless Smart Intelligent Network System Using Artificial Intelligence for Monitoring Various Weather Parameters. *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA.2018.8697520>

Mahmoudi-Nasr, P. (2019). Toward Modeling Alarm Handling in SCADA System: A Colored Petri Nets Approach. *IEEE Transactions on Power Systems*, 34(6), 4525–4532.
<https://doi.org/10.1109/TPWRS.2019.2916025>

Medina, J., Seck, J., & Hernández, N. (2013). *Aplicación de redes de petri en la modelación de sistemas de eventos discretos*. 1.
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n1/e4.html>

Mehendale, N. D., Sharma, O. A., Shah, S. A., & Vishwakarma, S. L. (2016). Metropolitan water tank pollution monitoring and purification using PID control. *2016 International Conference on Communication and Signal*

Processing (ICCSP), 0212–0214.
<https://doi.org/10.1109/ICCSP.2016.7754124>

Murillo, L. D. (2008). Redes de Petri: Modelado e implementación de algoritmos para autómatas programables. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(4), ág. 102-ág. 102.

OSE. (2019). *Etapas del Proceso de Potabilización*. Obras Sanitaria del Estado. <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>

Piedrafita, R. (2004). *Ingeniería de la AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL*.
Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.

Rodríguez, A. (2013). *Sistemas SCADA*. Alfaomega ; Marcombo.

Sakib, K., Tari, Z., & Bertok, P. (2014). PETRI NETS. En *Verification of Communication Protocols in Web Services: Model-Checking Service Compositions* (pp. 27–56). IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7777348>

Sallam, A. A., & Malik, O. P. (2019). Scada Systems. En *Electric Distribution Systems* (pp. 465–485). IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8538871>

Sanap, S., Nawale, R., Kapse, S., Kale, A., & Korade, M. (2015). Exact virtualization of industrial environment on web using SCADA with artificial intelligence. *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, 99–103.
<https://doi.org/10.1109/ICGCIoT.2015.7380437>

Shin, K.-Y., Shin, N.-H., Choi, S.-W., & Choi, S.-H. (2016). Systems engineering approach to designing smart condition monitoring systems for smart manufacturing (ICCAS 2016). *2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, 1177–1182.

<https://doi.org/10.1109/ICCAS.2016.7832462>

Siemens Website. (2019). [Newton_home]. Siemens.Com Global Website.
<https://new.siemens.com/global/en.html>

Szmuc, W., & Szmuc, T. (2016). Modeling UML object event handling with Petri nets. *2016 MIXDES - 23rd International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and Systems*, 454–457.
<https://doi.org/10.1109/MIXDES.2016.7529785>

Tang, D., Xie, D., Tang, X., & Mou, J. (2017). Application of artificial intelligence in continuous emission monitoring system. *2017 IEEE 16th International Conference on Cognitive Informatics Cognitive Computing (ICCI*CC)*, 461–464. <https://doi.org/10.1109/ICCI-CC.2017.8109789>

Torre, D. (2016). Verifying the Consistency of UML Models. *2016 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*, 53–54. <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2016.32>

Torres, V. (2003). *Apuntes de Automatización Industrial*. 36.
Veolia Water Technologies supplies the world with drinking water. (s/f).
Veolia. Recuperado el 4 de diciembre de 2019, de
<https://www.veoliawatertechnologies.com/en/applications/veolia-water-technologies-supplies-world-drinking-water>

Anexos

Anexo A: Modelado de funciones del sistema supervisorio.

Modelado del monitoreo y visualización (usuario).

Para el monitoreo y visualización del usuario, se presenta el modelado de la figura siguiente, donde se establece el proceso de lectura de sensores, procesamiento y graficación de cada una de las variables del proceso de filtración, este lazo repetitivo se mantiene hasta que por parte del usuario se asigne una marca de modificación de las gráficas o salir del proceso por donde la marca o token llegará al final de la monitorización y retornará al proceso anterior de selección de pestañas. De igual manera se genera una ecuación del proceso que cumple.

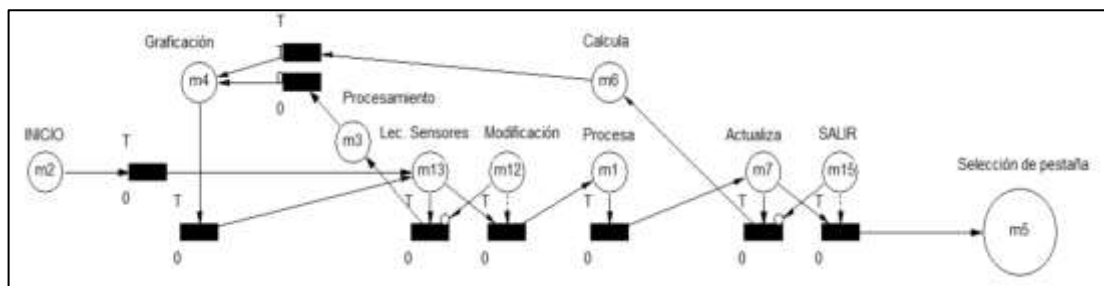


Figura: Red de Petri: Monitoreo y visualización (usuario)

Elaborado por: Autor.

EC5: Proceso de visualización y monitorización (usuario)

$$M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P7) + M(P9) = 1$$

En la ecuación 5 se plasma el funcionamiento del sistema en la ventana de monitorización y visualización que de igual manera obtenemos en la equivalencia 1, donde simboliza que en el sistema solo se efectuará un proceso a la vez.

Modelado del control y mando remoto (usuario).

El modelado referente al sistema de control del subsistema de filtración se carga de la forma en cómo opera la planta ya que maneja la selección de

modo automático o manual y que permite al usuario el cambio de los parámetros del sistema si es necesario. En la red de la figura, se evidencia la selección del modo de operación y en el modo manual la generación de interfaces de control tanto para válvulas y bombas del sistema funciona de maneja similar a las redes anteriores donde se decide el proceso a seguir y que gracias al marcado se obtienen las ecuaciones de funcionamiento.

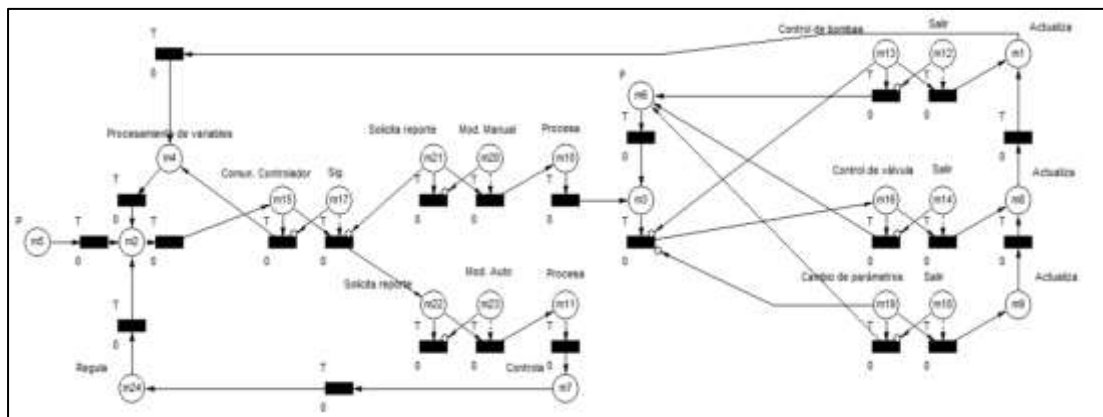


Figura: Red de Petri: Control y mando remoto (usuario)
Elaborado por: Autor.

EC6: Proceso de control y mando remoto (usuario)(manual)(bombas)

$$M(P_0) + M(P_1) + M(P_2) + M(P_4) + M(P_5) + M(P_7) + M(P_8) + M(P_{10}) + M(P_{11}) + M(P_{12}) + M(P_{13}) + M(P_{14}) + M(P_{16}) + M(P_{18}) + M(P_{20}) + M(P_{21}) + M(P_{22}) + M(P_{23}) = 1$$

EC7: Proceso de control y mando remoto (usuario)(manual)(válvulas)

$$M(P_0) + M(P_1) + M(P_2) + M(P_4) + M(P_5) + M(P_7) + M(P_8) + M(P_{10}) + M(P_{11}) + M(P_{12}) + M(P_{13}) + M(P_{14}) + M(P_{16}) + M(P_{18}) + M(P_{20}) + M(P_{21}) + M(P_{22}) + M(P_{23}) = 1$$

EC8: Proceso de control y mando remoto (usuario)(manual)(cambio de parámetros)

$$M(P_0) + M(P_1) + M(P_2) + M(P_4) + M(P_5) + M(P_7) + M(P_8) + M(P_{10}) + M(P_{11}) + M(P_{12}) + M(P_{13}) + M(P_{14}) + M(P_{16}) + M(P_{18}) + M(P_{20}) + M(P_{21}) + M(P_{22}) + M(P_{23}) = 1$$

EC9: Proceso de control y mando remoto (usuario)(automático)

$$M(P_0) + M(P_1) + M(P_2) + M(P_8) + M(P_{10}) + M(P_{12}) + M(P_{11}) = 1$$

Modelado del registro de históricos (usuario).

El registro de históricos, una parte del sistema muy importante es una ventana más a la que tiene acceso el usuario y brinda las prestaciones de la generación de los datos históricos y las recetas de producción o control que se han ejecutado previamente, todo esto permanece almacenado en grandes bases de datos que deben permitir un acceso en cualquier momento. El modelado de esta parte del sistema se basa en el ingreso a la semana y mientras no se ejecute ninguna solicitud de recetas o generación de históricos, el sistema se mantiene constantemente actualizando datos, generando la comunicación con el controlador y el sistema de bases de información. Una vez que se ejecute una solicitud el sistema pasa a ejecutar lo requerido las veces que el usuario lo requiera hasta que este solicite la salida del sistema y el proceso pase nuevamente a la selección de ventanas.

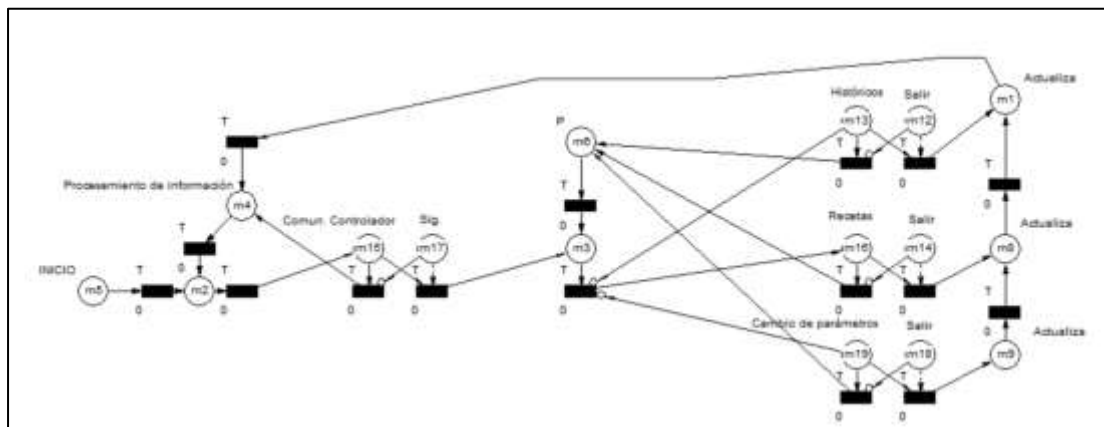


Figura: Red de Petri: Registro de históricos (usuario)
Elaborado por: Autor.

Las ecuaciones con las que se expresa esta parte del sistema son las siguientes:

EC10: Proceso de registro de históricos (usuario)

$$M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P8) + M(P10) + M(P12) + M(P13) + M(P14) + M(P15) = 1$$

Modelado del tratamiento de alarmas (usuario).

Lo referente al modelado en redes de Petri del tratamiento de alarmas del sistema supervisorio, se lo realiza de igual manera que en el caso anterior ya que se mantiene una conexión constante con la base de datos para

acceder a la información almacenada. Se presenta un menú de selección de lo que se quiere realizar ya sea ver los gráficos de tendencias de alarmas para saber si se aproxima una, los históricos de alarmas que nos pueden ayudar a conocer la repetitividad de una u otra alerta generada en el sistema. Una opción importante es el cambio de parámetros para el disparo o activación de las alarmas, manejando grande y pequeños rangos conforme sea el proceso adecuado para el filtrado del agua.

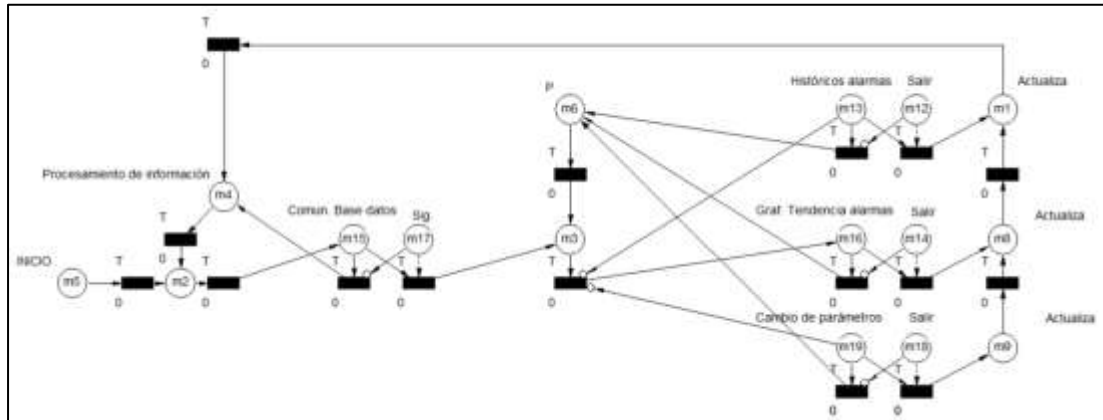


Figura: Red de Petri: Tratamiento de alarmas (usuario)
Elaborado por: Autor.

De igual manera, se presenta la ecuación del sistema de tratamiento de alarmas la cual es aplicable para cada caso de selección.

EC11: Proceso de tratamiento de alarmas (usuario)

$$M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P8) + M(P10) + M(P12) + M(P13) + M(P14) + M(P15) = 1$$

Modelado del chequeo de comunicaciones (usuario).

En el proceso de chequeo de comunicaciones se constatan mediante una interfaz que todos los dispositivos se encuentren enlazados con las unidades de transmisión y de igual manera que el sistema se encuentre en red para poder realizar la visualización de los datos desde diferentes lugares.

En la red de Petri de la figura, se demuestra el modelo con la elección de dos funciones del sistema, la generación de un interfaz de revisión de comunicaciones y una solicitud de conexión a terceros que son otros programas ajenos al sistema supervisorio o programas de recopilación de

datos. El único proceso que se mantiene realizando constantemente es el de la comunicación con la base de información o base de datos para de esta manera mantener todo actualizado

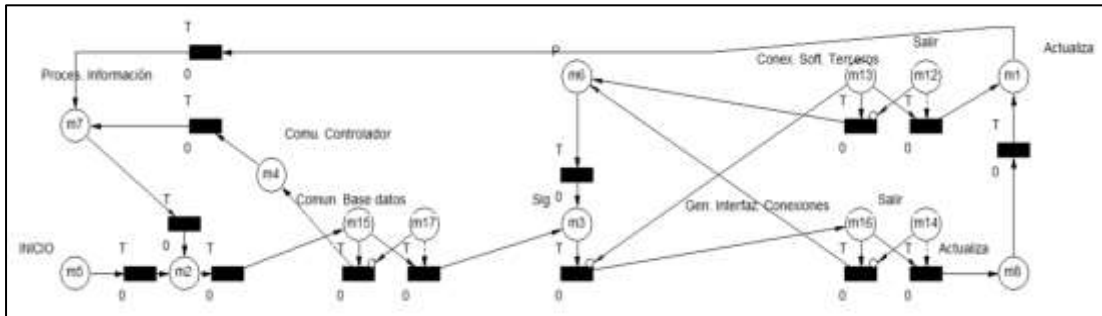


Figura: Red de Petri: Chequeo de comunicaciones (usuario)
Elaborado por: Autor.

Como en los casos anteriores, presenta una ecuación de funcionamiento, que es la siguiente:

EC12: Proceso de chequeo de comunicaciones (usuario)

$$M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P7) + M(P8) + M(P10) + M(P12) + M(P13) = 1$$

Modelado de control y mando remoto (Tec. Mantenimiento).

El segundo actor es el técnico de mantenimiento, el cual solo mantiene una ventana a la cual puede acceder, desde la cual puede generar un control automático o manual acorde sea la necesidad para proceder a un cambio de elementos o tan solo darles un mantenimiento para evitar el deterioro.

En la red de la figura se presenta una red muy similar a la de control y mando por parte del usuario, pero con la diferencia de que en ella no se pueden cambiar parámetros ya que la función de cambios queda asignada al usuario fijo de planta. El comportamiento de la red es de igual manera para ambos casos, razón por la cual las ecuaciones de funcionamiento son idénticas.

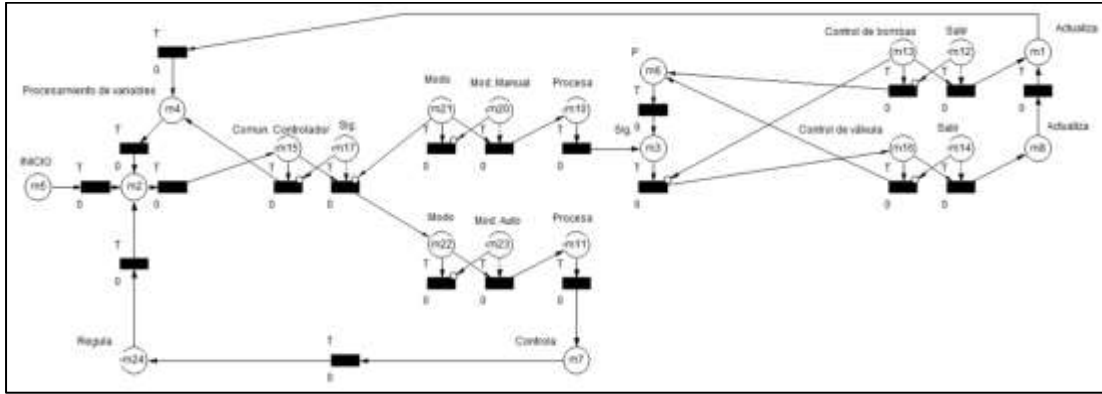


Figura: Red de Petri: Control y mando remoto (Tec. Mantenimiento)
Elaborado por: Autor.

EC13: Proceso de control y mando remoto (Tec. Mantenimiento)

$$M(P0) + M(P1) + M(P2) + M(P4) + M(P5) + M(P7) + M(P8) + M(P10) + M(P11) + M(P12) + M(P13) + M(P14) + M(P16) + M(P18) + M(P20) + M(P21) + M(P22) + M(P23) = 1$$

Modelado de monitoreo y visualización (Supervisor).

El modelado de la red de Petri referente al monitoreo y visualización por parte del supervisor del proceso de filtración muestra la opción adicional de generar informes en base a las gráficas generadas por el sistema, por ende dentro del modelo se agrega esta opción de generación. El funcionamiento es idéntico al del usuario con el mínimo cambio mencionado respecto a los informes. La red y la ecuación de mando del sistema se presentan a continuación.

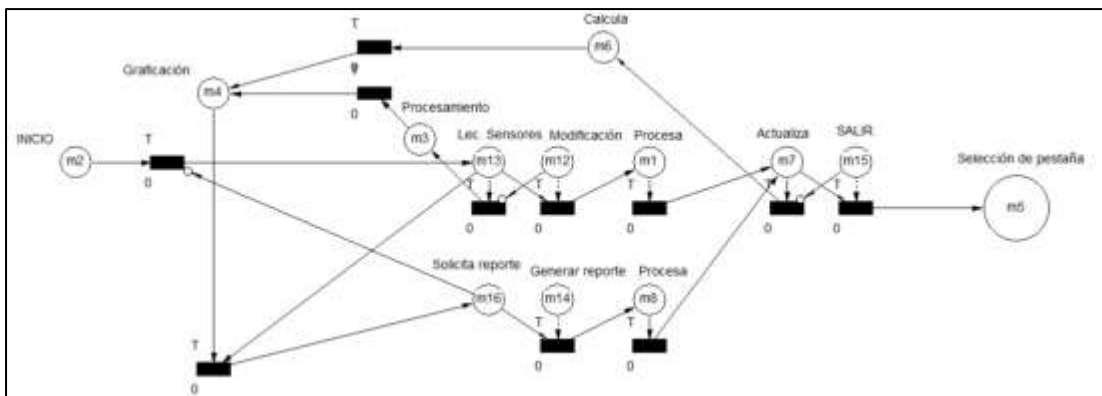


Figura: Red de Petri: Monitorización y visualización (Supervisor)
Elaborado por: Autor.

EC14: Proceso monitorización y supervisión (Supervisor)

$$M(P0) + M(P1) + M(P3) + M(P4) + M(P5) + M(P6) + M(P8) = 1$$

T81	T82	T83	T84	T85	T86	T87	T88	T89	T90	T91	T92	T93	T94	T95
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	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	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	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

La tabla se presenta en tres partes por cuestiones de dimensiones de la misma. Hace referencia a la habilitación de las transiciones con respecto a los lugares marcados de la red total de Petri. Con la tabla general se incluyen las subredes de los subprocessos que se incluyen en el sistema.

Anexo C: Ventanas del sistema supervisorio en el HMI.



Figura: Ventana de selección de pestaña (Supervisor)
Elaborado por: Autor.



Figura: Ventana de selección (Tec.Mantenimiento)
Elaborado por: Autor.



Figura: Ventana de selección de filtros
Elaborado por: Autor.



Figura: Ventana de alarmas del sistema supervisorio
Elaborado por: Autor.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvear Celi, Samuel Andree** Con C.C: # 070414085-4 Autor Del Trabajo De Titulación: **Sistema De Supervisión Inteligente Para Un Subsistema De Filtración En 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, 27 de febrero del 2020

f. _____

Nombre: Alvear Celi, Samuel Andree

C.C: 070414085-4



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Sistema de supervisión inteligente para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua.		
AUTOR(ES)	ALVEAR CELI, SAMUEL ANDREE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. LUIS C. GALARZA CHACÓN		
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:	27 de febrero del 2020	No. DE PÁGINAS:	108
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas supervisorios, Modelado UML-PN		
Palabras Claves/ Keywords:	Supervisorio, Scada, Petri, Uml, Filtrado, Proceso, Modelado		

RESUMEN/ABSTRACT

En el presente trabajo de titulación se realiza el análisis y uso de herramientas matemáticas de modelado formal como Redes de Petri y UML en un sistema supervisorio para un subsistema de filtración en una planta potabilizadora de agua. Actualmente y debido a los grandes avances en la tecnología industrial y al requerimiento de supervisión de gran cantidad de datos e información de producción, el diseño y modelado de sistemas supervisorios se ve limitado con los típicos métodos de modelado formal. Para el desarrollo de esta investigación se emplean métodos de simulación y análisis de los diferentes subsistemas generados con redes de Petri y diagramas UML, además de valerse en las bases teóricas y bibliográficas de estas herramientas de modelado. Con la obtención de un modelo final para sistemas supervisorios se puede comprobar que ambas herramientas son de mucha utilidad al momento de modelar sistemas de supervisión y que gracias a las redes que se obtuvieron se pudo implementar un prototipo de sistema supervisorio en un módulo HMI Kinco comprobando así el dinamismo de este tomando en cuenta características, funciones y estructuras que condicionan al sistema requerido para el subproceso de filtración de agua.

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +5988157095	E-mail: samuel_77@me.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Mendoza Merchán, Eduardo Vicente	
	Teléfono: +593-9-85086815	
	E-mail: eduardo.mendoza@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):	