UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TEMA:

Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad.

AUTOR:

Yela Villamar, Jeordana Brigitte

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERA EN ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TUTOR:

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raul.

Guayaquil, Ecuador

2024

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Yela Villamar Jeordana Brigitte,** como requerimiento para la obtención del Título de Ingeniera Electrónica en control y automatismo.

TUTOR

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raul.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ph. D. Bohorquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil, a los 14 días del mes de febrero del año 2024

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, **Yela Villamar, Jeordana Brigitte**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación: Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad, previo a la obtención del Título **de Ingeniera Electrónica en Control y Automatismo**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR

Yela Villamar, Jeordana Brigitte

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

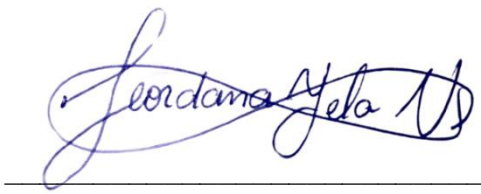
AUTORIZACIÓN

Yo, **Yela Villamar, Jeordana Brigitte**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de febrero del año 2024

EL AUTOR



Yela Villamar, Jeordana Brigitte

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

CERTIFICADO COMPILATE

La Dirección de las Carreras Telecomunicaciones, Electricidad y Electrónica y Automatización revisó el Trabajo de titulación, **Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad** presentado por la estudiante **JEORDANA BRIGITTE YELA VILLAMAR**, de la carrera de **Ingeniería Electrónica En Control Y Automatismo**, donde obtuvo del programa COMPILATE, el valor de **3** % de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

Certifican,

REPORTE PLAGIO

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

JEORDANA BRIGITTE YELA VILLAMAR

3% Textos sospechosos

3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
1% entre las fuentes mencionadas
< 1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: JEORDANA BRIGITTE YELA VILLAMAR.docx
ID del documento: 59381315fcb6630e4ae1a03ced2b203fb810d3e6
Tamaño del documento original: 4,61 MB

Depositante: Edgar Raúl Quezada Calle
Fecha de depósito: 15/1/2024
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 15/1/2024

Número de palabras: 18.170
Número de caracteres: 117.763

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raul.

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo de tesis a mi amadísima mamá Loli, compañera de vida, cuyo inigualable apoyo fue mi roca, brindándome estabilidad emocional y mental en este arduo proceso. A mi querido padre cuyo respaldo incondicional, fue indispensable para llegar a este logro y a mi queridísimo amigo Marcelo G, quien ha sido una luz en la oscuridad en este camino que, al principio, parecía lejano. Vuestra presencia y apoyo han marcado significativamente este logro personal y académico.

Agradecimiento

Deseo expresar mi sincero agradecimiento a mis estimados padres, por su apoyo incondicional durante toda mi vida personal y académica. A mi querida mami Loli, agradeciendo enormemente cada desvelo que paso a mi lado, la calma y aliento que me ofrecía cuando sentía que todo se me venía encima. A mi apreciado papá, le debo la culminación de esta meta académica. Su respaldo y sacrificios han facilitado el camino hacia la culminación de mi carrera.

Mis apreciados amigos, quienes, con sus gestos y palabras alentadoras, aportaron significativamente en los momentos más desafiantes de este capítulo académico. Su amistad y apoyo inquebrantable han sido pilares importantes durante este logro.

A mis estimados profesores y tutor de tesis, agradezco profundamente su guía experta y su dedicación durante este camino académico. Sus enseñanzas han sido inspiradoras y fundamentales para mi crecimiento académico y personal.

A todas estas personas agradezco cada sacrificio, orientación y gesto amable que han compartido conmigo.

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y AUTOMATISMO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ph. D. BOHORQUEZ ESCOBAR CELSO BAYARDO.

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. UBILLA GONZÁLEZ, RICARDO XAVIER.

COORDINADOR DE TITULACIÓN

M Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

OPONENTE

M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL.

DOCENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN 2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 8
2.1. Bombas hidráulicas. 8
2.2. Tipos de bombas. 8
2.2.1. Bombas centrifugas. 9
2.3. Sistemas de bombeo 9
2.3.1. Sistema de bombeo en serie. 9
2.3.2. Sistema de bombeo en paralelo. 10
2.4. Fuentes de abastecimiento 11
2.5. Automatización de Procesos 11
2.5.1. Controlador Lógico Programable (PLC). 12
2.5.2. Estructura de un PLC. 12
2.5.3. Funcionamiento entre PLC y el CPU. 13
2.5.4. Sistemas de comunicación. 13
2.5.5. Topologías de red. 14
2.5.6. Sistemas de supervisión y monitoreo. 15
2.5.7. Funciones de un sistema SCADA. 16
2.5.8. Protocolos de comunicación. 17
2.5.9. Funciones de la red de comunicación. 18
2.6. Instrumentación Industrial 19
2.6.1. Bomba de agua centrífuga. 19
2.6.2. Medidor de caudal. 19
2.6.3. Medidor de Nivel. 20
2.6.4. Electroválvulas. 20
2.6.5. Arrancadores suaves. 21
2.6.6. Switch Industrial. 22
2.6.7. Sensor de Presión. 22
2.7. Lenguaje de modelado Unificado (UML) 23
2.7.1. UML y su desempeño en el modelado y diseño. 23
2.7.2. Objetivos del UML. 24
2.7.3. Diagramas de estado. 24
2.7.4. Diagramas de secuencia. 25
2.7.5. Diagramas de caso de uso. 26
2.8. Redes de Petri 26

2.7.1 Estructuras básicas de redes Petri. 27
CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA 29
3.1. Consideraciones Generales 29
3.1.1. Detalles del sistema de automatización. 29
3.1.2. Características del sistema. 30
3.1.3. Funcionalidad del sistema. 31
3.1.4. Estudio eléctrico del sistema de la estación de bombeo. 32
3.1.5. Arquitectura del sistema de bombeo de agua. 34
3.1.6. Arquitectura del control de automatización. 35
3.1.7. Estructura del sistema SCADA. 36
3.1.8. Organización del sistema SCADA. 37
3.1.9. Organización para el modelo de pantallas del sistema SCADA. 38
3.1.10. Estructura de la red de comunicación. 39
3.2. Filosofía de Control del Sistema de Automatización 41
3.2.1. Modo apagado de la estación. 41
3.2.2. Operación en modo manual. 42
3.2.3. Operación en modo automático. 42
3.2.3.1. Modulación horaria por presión 43
3.2.3.2. Modulación horaria por caudal. 43
3.2.3.3. Modulación horaria por posición en % de la válvula. 45
3.2.4. Apagado de grupo de bombeo. 46
3.2.5. Habilitación/deshabilitado de grupo de bombeo. 46
3.3. Modelado del Sistema automatizado 46
3.3.1. Diagrama de casos de uso. 46
3.3.2. Diagrama de secuencia. 48
3.3.3. Diagramas de estado. 48
3.4. Modelado de redes Petri 51
3.4.1. Red de Petri de la modulación por presión. 51
3.4.2. Red de Petri de la modulación por caudal. 52
3.4.3. Red de Petri de la modulación por % de apertura de válvula. 53
3.4.4. Descripción de la programación del PLC 54
3.4.5. Análisis de resultados. 56
3.4.5.1. Análisis del proceso de modulación por presión. 56
3.4.5.2. Análisis de resultado de la modulación por caudal. 57

3.4.5.3. Análisis de resultado de la modulación por % de apertura de válvula. 57
3.5. Presentación de resultados. 58
3.5.1. Resultado de modelo. 59
3.6. Discusión de los Resultados esperados 59
3.6.1. Cumplimiento de los objetivos. 59
3.6.1.1. Cumplimiento del objetivo general. 59
3.6.1.2. Cumplimiento de los objetivos específicos 59
3.7. Análisis de la metodología de investigación 60
3.8. Análisis del cumplimiento de funciones 60
3.9. Análisis del problema de investigación 61
3.10. Valores obtenidos del sistema 62
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 64
4.1 Conclusiones 64
4.2 Recomendaciones 64
Referencias bibliográficas 67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. *Clasificación de bombas* 8
Figura 2 *Sistema de bombeo en serie* 10
Figura 3 *Sistema de bombeo en paralelo* 11
Figura 4 *Funcionamiento de un PLC* 13
Figura 5 Topologías de red 15
Figura 6 *Elementos que constituyen una bomba centrífuga* 19
Figura 7 *Tipos de medidores de caudal* 20
Figura 8 *Medidor de Nivel* 20
Figura 9 *Tipos de electroválvulas* 21
Figura 10 Arrancador Suave 22
Figura 11 *Switch Industrial* 22
Figura 12 *Sensor de Presión* 23
Figura 13 *Diagrama de estado, semáforo condiciones* 25
Figura 14 *Diagrama de Secuencia* 25
Figura 15 *Diagrama de casos de uso* 26
Figura 16 *Redes de Petri* 27
Figura 17 *Estructura de selección* 27
Figura 18 *Estructura de Conjunción* 28
Figura 19 *Estructura de Distribución* 28
Figura 20 *Estructura de atribución* 28
Figura 21 *Diagrama de bloques del sistema* 35
Figura 22 *Arquitectura del control de automatización.* 36
Figura 23 *Pantalla del sistema SCADA del proceso* 37
Figura 24 *Arquitectura de comunicación* 40
Figura 25 *Diagrama de flujo del sistema de bombeo* 41
Figura 26 *Diagrama de flujo de modulación por presión* 43
Figura 27 *Diagrama de flujo de modulación por caudal* 44
Figura 28 *Diagrama de flujo de modulación por posición % de válvula* 45
Figura 29 *Diagrama de casos de uso del sistema de bombeo* 47
Figura 30 *Diagrama de secuencia del sistema de bombeo* 48
Figura 31 *Diagrama de estado de la modulación por presión* 49
Figura 32 *Diagrama de estado de la modulación por caudal* 50
Figura 33 *Diagrama de estado de modulación por % de apertura* 51
Figura 34 *Red de Petri de modulación por presión* 52
Figura 35 *Red de Petri de modulación por caudal* 53
Figura 36 *Red de Petri de modulación por % de apertura de válvula* 54
Figura 37 Condiciones en modo operación automático 55
Figura 38 Diagrama de bloques modulación por presión 55
Figura 39 *Marcado y Transición Habilitada-Modulación por presión* 56
Figura 40 *Marcado y Transición Habilitada-Modulación por caudal* 57
Figura 41 *Marcado y Transición Habilitada-Modulación por % de apertura de válvula* 58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Comparación de resultados obtenido por presión* 62
Tabla 2 *Comparación de resultados obtenidos por caudal* 63

RESUMEN

Este proyecto de tesis se orienta al planteamiento de un estudio para la optimización de una estación de bombeo de agua potable en la Parroquia de Posorja, Ecuador, a través de un sistema de control avanzado. Para ello se propone un diseño con tecnologías como PLC, HMI, SCADA, PIPE y redes de Petri para gestionar eficientemente cuatro bombas de agua. La investigación busca resolver retos como la escasez intermitente de agua y la carga física de los operadores. La automatización tiene por objetivo mejorar la eficacia operativa, ahorrar costes y garantizar una distribución uniforme del agua potable. La metodología se basa en un enfoque científico cuantitativo correlacional, con métodos bibliográficos y de simulación para analizar y modelar el sistema de control. Con este proyecto no sólo se pretende proponer un estudio detallado para la optimización local, sino también ofrecer un modelo replicable para sistemas similares, promoviendo el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de los recursos hídricos. La investigación aborda la imperiosa necesidad de mejorar la calidad de vida de la comunidad y garantizar el suministro continuo de agua potable en el futuro.

PALABRAS CLAVES: Estación de Bombeo, Agua Potable, Automatización, PLC, HMI, SCADA, Eficiencia Operativa.

ABSTRAC

This thesis project is oriented to the approach of a study for the optimization of a drinking water pumping station in the Parish of Posorja, Ecuador, through an advanced control system. For this purpose, a design is proposed with technologies such as PLC, HMI, SCADA, PIPE and Petri nets to efficiently manage four water pumps. The research seeks to solve challenges such as intermittent water shortages and physical burden on operators. The automation aims to improve operational efficiency, save costs and ensure uniform distribution of drinking water. The methodology is based on a quantitative correlational scientific approach, with literature and simulation methods to analyze and model the control system. This project aims not only to propose a detailed study for local optimization, but also to provide a replicable model for similar systems, promoting sustainable development and efficient management of water resources. The investigation addresses the pressing need to improve the quality of life of the community and ensure the continuous supply of potable water in the future.

KEY WORDS: Pumping Station, Drinking Water, Automation, PLC, HMI, SCADA, Operational Efficiency.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1. Introducción

La dotación de agua potable es un factor vital para el bienestar y desarrollo de las comunidades, resultando crucial una gestión eficiente que garantice el acceso confiable y seguro a este recurso hídrico. En este marco, la presente investigación se enfoca en el estudio detallado de un sistema de control avanzado para una estación manual de bombeo de agua potable ubicada en la Parroquia de Posorja, Ecuador.

En el estudio del sistema de automatización se propone el uso de tecnologías de automatización de punta, tales como Controladores Lógicos Programables (PLC), Interfaz Hombre-Máquina (HMI), Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA) y Redes de Petri. En el modelado de esta infraestructura se optimizará para gestionar eficazmente cuatro bombas de agua, con modos de funcionamiento manual, automático y de parada. El modo automático destaca por su capacidad de respuesta autónoma ante posibles fallos de los sensores, garantizando la continuidad en el suministro de agua potable incluso en condiciones adversas.

El sistema automático establecerá estrategias de contingencia, como la adaptación al fallo de sensores específicos. Por ejemplo, en caso de avería de un sensor de presión, el sistema recurrirá a la información de caudal para lograr un funcionamiento eficaz. Del mismo modo, en el escenario de un sensor de caudal averiado, se aplicará un control porcentual de la apertura de la válvula para lograr el equilibrio necesario en el sistema. Estas estrategias se trazarán con el objetivo de asegurar un funcionamiento resiliente y eficiente, reduciendo el impacto de posibles fallos y mejorando la fiabilidad del suministro de agua en la Parroquia de Posorja.

Este proyecto no solo propone la optimización del control en la estación de bombeo, sino que también proporcionará un modelo replicable y adaptable para sistemas similares, promoviendo el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de los recursos hídricos en comunidades locales.

1.2. Planteamiento del problema

En la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, está ubicada la Parroquia Rural De Posorja, la cual tiene aproximadamente unos 30.000 habitantes, la misma tiene como sustento la pesca, piscinas de camarón y su suelo no es el ideal para los cultivos. Por tal razón, el suministro continuo y eficaz de agua potable es indispensable para su desarrollo económico, pero debido a que dependen de sistemas manuales de bombeo, la cual es una tarea esencial, la misma conlleva múltiples desafíos, tal como la falta constante de mano de obra debidamente calificada, el agotamiento físico de los operadores y la inexistencia de un control adecuado para identificar el daño de algún elemento, todo esto provoca el desabastecimiento del suministro esencial para el desarrollo de la sociedad.

Todo esto conlleva a no mantener la presión y el caudal del agua constantes en la Parroquia, lo cual provocara enfermedades debido a la falta de higiene en la comunidad. Estos desafíos tienen un impacto considerable en la vida cotidiana de los habitantes de la Parroquia de Posorja, quienes enfrentan no solo la escasez intermitente de agua potable, sino también la carga de trabajo físico de los operadores que luchan por mantener el servicio.

1.3. Justificación

Con lo antes mencionado, resulta evidente la necesidad de investigar y abordar estos problemas en profundidad, con el fin de mejorar la calidad de vida de la comunidad y garantizar el suministro continuo de agua potable en el futuro. La implementación de un sistema de control automatizado se presenta como una solución potencial para estos desafíos, pero su diseño y aplicación eficaces requieren una investigación y un análisis exhaustivos.

Lo que se busca al diseñar un sistema de control para una estación de bombeo manual, es la adquisición de datos en tiempo real para así realizar una exhaustiva supervisión de cada uno de los procesos, debido a los beneficios que ofrece la automatización, empezando desde el sencillo manejo para un operador hasta la supervisión en tiempo real desde cualquier lugar y momento.

Al automatizar la estación de bombeo se cumple con el objetivo de mejorar la eficacia en operación, un ahorro económico considerable debido a que no se necesitaría la misma cantidad de mano de obra humana para su control durante todo el día. La misma garantizará una distribución constante y eficaz del suministro de agua potable, y estará compuesta por dispositivos tales como HMI, SCADA, PLC, PIPE Y Visual Petri.

1.4. Objetivo general

Diseñar un sistema de automatización para la estación de bombeo de agua potable de la parroquia rural de Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE Y PETRI, mejorando así su calidad de vida.

1.5. Objetivos específicos

- Analizar el caudal y presión del agua, que se debe entregar la Parroquia Rural de Posorja.
- Diseñar un sistema de control automatizado, para la estación de bombeo de la Parroquia Rural de Posorja.
- Realizar la simulación del sistema de automatización a través de la aplicación de herramientas para modelado y simulación.

1.6. Antecedentes

El agua potable es un servicio básico imprescindible para la subsistencia de los seres humanos, por ello es requerida en la cantidad necesaria y de manera constante para su comodidad y bienestar. Es preciso hallar la forma más eficiente para que este recurso acceda a cada una de las personas que disponen de una vivienda.

En la investigación de Velazco Salazar, (2020) señala la carencia de automatización en las principales etapas para la potabilización del agua, los operadores en dicha planta ejecutan las operaciones de manera manual. Dentro de la cámara de captación de agua cruda se dispone de una válvula para la toma de agua, de sensores de turbiedad y sensores de caudal que pretenden la automatización de la apertura/cierre de la cámara, captando todas las variables del proceso para poder ser centralizadas en un PLC M221 y que a través de una comunicación Modbus podrán ser llevadas a un

computador central (SCADA) con la finalidad de disponer de una medición continua de las variables más significativas en el proceso de captación. Así mismo, se llega a la confirmación de que el control más idóneo para la automatización del proceso de la válvula de entrada de agua bruta es por PID por caudal puesto que el mismo respondería a la apertura o cierre en dependencia del caudal que el operador requiera.

Pahuara Rojas, (2020) Recalca que la evolución de la tecnología, en particular de potentes ordenadores, actuadores de control realimentado, transmisión de potencia por medio de engranajes y tecnología de sensores, también ha contribuido a que los mecanismos automatizados sean más flexibles a la hora de realizar tareas en grandes, medianas y pequeñas industrias.

Li et al., (2020) redacta el artículo "Avances recientes en inteligencia artificial y machine learning para el análisis de relaciones no lineales y el control de procesos en el tratamiento del agua potable" utiliza algoritmos de aprendizaje autónomo para abordar problemas relacionados con el tratamiento del agua potable, proporcionando apoyo técnico en los distintos procesos implicados en el tratamiento del agua, el diagnóstico, la toma de decisiones autónoma y la optimización de procesos. El artículo expone el análisis de algoritmos de IA con referencias a las tecnologías de aprendizaje supervisado y machine learning en los ámbitos de la calidad del agua, la coagulación, la desinfección y la filtración por membrana, incluyendo la monitorización e identificación de contaminantes del agua y la predicción precisa y eficiente de la dosificación de la coagulación. La conclusión es que las herramientas de IA y ML presentan un alto rendimiento en el ajuste de relaciones y predicciones complejas en DWT. Dichos métodos pueden procesar datos con relaciones no lineales difíciles de ajustar con un único modelo matemático.

En su investigación Solano Aguirre & Morquecho Sanchez, (2020) destaca que, al lograr una presión constante, se garantiza a los usuarios un suministro de calidad, lo que significa también que a nivel de empresa hay menos pérdidas y una mayor eficiencia en procesos que exigen una alta

eficiencia en la precisión en la presión determinada de un fluido en concreto. Por todo lo anterior, se planteó la realización de la simulación correspondiente al diseño de un sistema de control de presión automatizado que utiliza entre sus elementos principales un controlador, un transductor y un regulador, un transductor de presión y un variador de frecuencia.

1.7. Metodología de la investigación

El control automático de una estación de bombeo de agua abarca una serie de factores críticos, tales como la eficiencia, la adaptabilidad y su contribución a la sociedad y la comunidad. Estos parámetros mencionados anteriormente desempeñan un papel fundamental en la definición de la metodología de investigación a emplear. En este contexto, se opta por una investigación de tipo científica correlacional con un enfoque cuantitativo, ya que es esencial determinar la interrelación de estos factores en el contexto de un sistema automatizado. Como destacan Polanía Reyes et al., 2020 , "El enfoque cuantitativo es esencial en este contexto, porque permite una evaluación objetiva ya que con la recolección de datos comprobamos resultados y se puede evaluar la eficacia del sistema de control".

Para ejecutar esta evaluación, se hacen uso de equipos de instrumentación de campo, que comprenden dispositivos de supervisión. La elección de un enfoque cuantitativo se justifica por la necesidad de modelar con precisión un sistema de control automático, lo que facilita el análisis de su lógica de control y permite cuantificar su comportamiento. Para llevar a cabo este objetivo, se hará uso de métodos bibliográficos y de simulación. El método bibliográfico se aplicará para examinar investigaciones previas que estén relacionadas con el tema y analizar estudios de protocolos y sistemas existentes a nivel nacional como internacional. Por tanto, el método de simulación se utiliza para adentrarse en los distintos procesos de la estación de bombeo, prediciendo posibles fallos operativos y estableciendo parámetros fundamentales para asegurar una buena distribución del suministro de agua, ya que como indica (Moreno, 2020), “Los sistemas de control deben contar con la capacidad de lidiar con situaciones en las que sea necesaria la toma de decisiones sobre que se debe controlar y desarrollar una estrategia para el control del evento” Estos métodos de investigación se complementan para

ofrecer una comprensión profunda y rigurosa de los sistemas de control automático para estaciones de bombeo de agua manuales, contribuyendo al avance del conocimiento en esta área.

1.8. Hipótesis

La implementación de un sistema de control inteligente en una estación de bombeo de agua manual, optimizará la gestión de recursos hídricos y optimizará en un 95% la eficiencia de la estación de bombeo.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Bombas hidráulicas.

Es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía potencial del fluido en movimiento. Ejercen un papel fundamental en la industria y diversos campos, siendo utilizadas para el bombeo de una amplia gama de líquidos, desde agua, aceites, combustibles y productos alimenticios como la cerveza y leche. A su vez, son esenciales para el manejo de líquidos viscosos que contienen sólidos en suspensión, como las pastas de papel, melazas y desechos. Estas aplicaciones diversificadas destacan la versatilidad de las bombas en diferentes sectores industriales. (Usquiza Cruz et al., 2022)

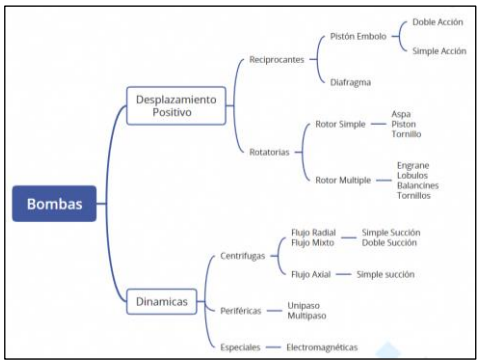
Una bomba es un dispositivo que transforma la energía mecánica en energía potencial del fluido en movimiento. La selección adecuada de la bomba es esencial para garantizar que se cumplan los requisitos de la aplicación a ejercer, esto destaca la importancia de entender las propiedades y el comportamiento de estos dispositivos en ambientes industriales y comerciales. (Lucino et al., 2022)

2.2. Tipos de bombas.

Existen determinados momentos o circunstancias en las cuales la presión del agua que se recibe no es suficiente; ya sea por diversos motivos: bien porque el deposito no tiene suficiente agua o las tuberías se encuentren atascadas. En la figura 1 se presenta la clasificación de los tipos de bombas.

Figura 1.

Clasificación de bombas



Elaborado por el autor.

Independientemente del motivo, es conveniente saber el tipo de bombas que existen. Pueden catalogarse, ya sea por rango de volúmenes a manejar, líquidos a mover, etc. Las bombas más utilizadas en la ingeniería son las centrifugas, rotatorias y reciprocantes. (Daza Pepinos, 2023). Para el presente trabajo, se enfocará en el estudio de bombas centrífugas.

2.2.1. Bombas centrifugas.

También llamadas bombas roto dinámicas, casi siempre son usadas en sistemas de bombeo. Estas son siempre rotativas y forman parte de las bombas hidráulicas, cuyo trabajo se basa en la transmisión de la energía del líquido, gracias a su elemento móvil denominado impulsor. (Rivero Diaz, 2020)

2.3. Sistemas de bombeo

Las estaciones de bombeo de agua son un componente primordial en la infraestructura de suministro hídrico, son diseñadas específicamente para cumplir con la demanda proyectada en un área particular. Al enfrentar una situación en la que existe un caudal de agua adecuado, pero no se posee la energía necesaria para el suministro, la implementación de un sistema de bombeo se convierte en una necesidad innegable. Al estar constituidos por un conjunto integral de estructuras y componentes que abarcan tuberías, válvulas y equipos de control, siendo la bomba el componente principal que impulsa el fluido en una dirección específica. (Navarrete et al., 2023)

Estos sistemas desempeñan un papel esencial en el movimiento eficiente del agua en el contexto de las operaciones de suministro de agua, ya que se encargan de tomar el agua de la fuente de abastecimiento y facilitar su transporte, lo que garantiza un suministro constante y confiable en áreas que dependen de estos sistemas para atender sus necesidades de agua. (Almachi Ch. & Naranjo B., 2021)

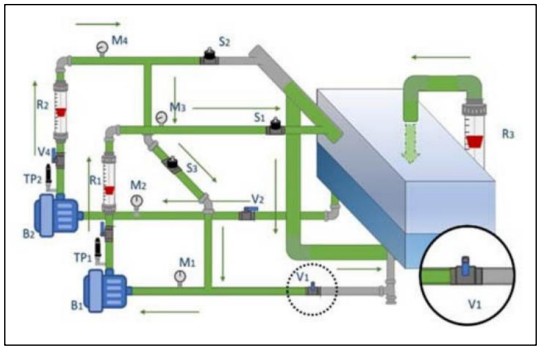
2.3.1. Sistema de bombeo en serie.

Se aplica en serie cuando se necesita alta presión para conseguir un aumento proporcional de la presión total del sistema. La conexión en serie se

usa cuando una bomba centrífuga no es suficiente para vencer la altura de elevación necesaria, en estos casos se suman las alturas de elevación de cada bomba para el mismo caudal elevado. (Cafaggi Félix et al., 2021)

Figura 2

Sistema de bombeo en serie



Nota. Adaptado de *Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo*, (Amores Silva et al., 2018)

Se utiliza este tipo de conexión de bomba cuando la carga o altura de elevación que se desea alcanzar en el sistema no es soportada por las bombas convencionales. En la aplicación, para el bombeo de agua a más de 120 m de inclinación, lo mismo se aplica para el transporte de hidrocarburos, en el que las longitudes de las tuberías son largas y se requieren grandes alturas de elevación.

Es fundamental considerar que la presión en la carcasa del cierre mecánico de la segunda bomba se ve potenciada por la presión de la primera bomba. Esto puede hacer necesaria la instalación de un cierre mecánico especial para la segunda bomba, con escape a la aspiración de la primera bomba, la mayor presión de aspiración en la segunda bomba puede aumentar el coste de la segunda bomba, así como los costes de mantenimiento de la bomba. (Ortíz Lombana, 2021)

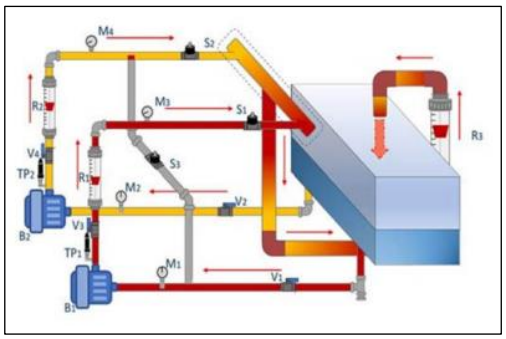
2.3.2. Sistema de bombeo en paralelo.

Se realiza la conexión en paralelo cuando el caudal solicitado es mayor al que tiene capacidad una sola bomba o cuando el sistema requiere de un caudal variable, se consigue apagando o encendiendo las bombas acopladas

en paralelo (ver **Figura 3**), en este tipo de sistema no existe un aumento de presión. (Gallegos Cuenca & Toaquiza Curco, 2022)

Figura 3

Sistema de bombeo en paralelo



Nota. Adaptado de *Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión serie y paralelo*, (Amores Silva et al., 2018)

2.4. Fuentes de abastecimiento

Los recursos hídricos juegan un papel crucial en el abastecimiento de agua a las comunidades, y su selección se basa en un conjunto de factores, tales como limitaciones presupuestarias, cantidad de agua disponible y costos operativos. Para la satisfacción de las comunidades, el agua se obtiene tanto de fuentes superficiales como subterráneas. (Castro Valencia et al., 2023)

Las fuentes superficiales, que comprenden ríos, lagos, embalses y escorrentías, son las más usadas a nivel mundial para el abastecimiento de agua, aunque requieren tratamientos debido a la contaminación. Las fuentes subterráneas, conocidas como acuíferos, se componen de rocas permeables que almacenan agua en sus poros o grietas. La calidad del agua subterránea suele ser impecable, ya que se limpia al atravesar las capas subterráneas. Los pozos profundos y poco profundos, así como los manantiales, son ejemplos de recursos hídricos subterráneos que a menudo no necesitan un tratamiento intenso debido a su buena calidad. (Stauffer & Spuhler, 2023)

2.5. Automatización de Procesos

Es una herramienta indispensable, a la hora de realizar tareas complejas donde en ocasiones se encuentra involucrado un riesgo para el personal de la empresa. Esta fue creada con el propósito de minimizar errores y aumentar la eficacia de los procesos. En un sistema automatizado se puede

dividir en dos elementos principales: La parte operativa, que estaría englobando los elementos que permiten a una maquina realizar una tarea, como sensores, actuadores, motores, sistemas de visión, entre otros; la segunda parte se concentra en el control de estos elementos, por medio de dispositivos como controladores lógicos programables (PLC) o estaciones de automatización. Estos también cuentan con sistemas de control de lazo cerrado o abierto. (Martínez & Almarales, 2023)

2.5.1. Controlador Lógico Programable (PLC).

Es empleado en la automatización como una computadora en las áreas de ingenierías. En máquinas y herramientas de línea de producción es usado para llevar a cabo procesos electromecánicos. El autómata es el encargado de desarrollar las funciones de control, hace uso de una memoria programable que permite guardar instrucciones mediante operaciones lógicas y secuenciales. El PLC puede ser programado mediante conductores de ingreso y salida. (Villacreses P. & Vargas Ch., 2020)

2.5.2. Estructura de un PLC.

De acuerdo con la información obtenida y consultada en base a las investigaciones y estudios hechos por Quispe Velasquez (2022) podemos concluir que un PLC está estructurado de la siguiente forma:

- ✓ **Unidad central de procesamiento (CPU):** se encargará de coordinar y controlar las posibles secuencias del programa, utilizando operadores lógicos y analógicos en la programación.
- ✓ **Fuente de alimentación:** es la entrada de energía eléctrica al sistema. Funciona tanto como fuente de energía como también una forma de conectar el circuito electrónico al controlador.
- ✓ **Módulos y memoria:** son una parte indispensable del PLC ya que se encargan de almacenar el programa, también conocido como memoria RAM o volátil. Se conectan al CPU y procesan la información necesaria. La memoria se carga al programa a través de un software y existen varios tipos como RAM, ROM, PROM, EPROM, EAROM y EEPROM.

- ✓ **Batería:** siendo la parte más vital del PLC debido a que permite el encendido del PLC. Una vez activada, permite el ingreso de datos a la memoria RAM del PLC. En caso de que la batería se acabe o se avería, aparece el riesgo de dañar el almacenamiento interno de la memoria
- ✓ **Puerto de comunicaciones:** es el que facilita la interconexión entre el PLC y la interfaz, permitiendo así la comunicación con otras unidades de programación dentro del PLC.

2.5.3. Funcionamiento entre PLC y el CPU.

El funcionamiento del PLC depende de un CPU o computadora donde permite a través del mismo ingresar los datos al PLC, que tiene como meta controlar procesos lógicos tales como la comparación, matemática, contador, temporizador, etc. De acuerdo a (Barrionuevo P. & Villamarín G., 2021) existen tres pasos que permiten el control de un proceso por medio del PLC

- ✓ Monitorear la fase de las entradas.
- ✓ Realizar la lógica programable de control
- ✓ Mantener el estado de las entradas constantemente actualizadas.

Estos pasos son estados de almacenamiento donde podrán ser ejecutados por medio de programaciones analógicas en la CPU del PLC.

Figura 4

Funcionamiento de un PLC

Elaborado por el Autor.

2.5.4. Sistemas de comunicación.

Generalmente hablando los sistemas de comunicación poseen una función básica que es la transmisión de información. Dentro del contexto de

la comunicación, esto es el proceso con el cual la información es transferida desde el punto llamado fuente, en tiempo y espacio, al otro punto que sería el usuario o destino. Entonces por sistema de comunicación se entiende como el conjunto de mecanismos que sirven de enlace para la transferencia de información entre el origen y el destino. Como sistema de comunicación eléctrico se entiende al que cumple con esta función primordialmente, pero no exclusivamente gracias al uso de dispositivos o manifestaciones eléctricas. Cuando la comunicación es eventual y en una sola dirección, se habla del envío de un mensaje; en cambio sí es de tipo interactivo, se afirma que existe un intercambio de mensajes sucesivos en ambos sentidos.(Macias Q., 2021)

2.5.5. Topologías de red.

De acuerdo a la investigación realizada por (Álvarez P., 2022), estas son definidas de acuerdo a su estructura física, esto quiere decir de acuerdo a la manera en la que se acomodan los cables o enlaces, los encargados de realizar la conexión interna de sus diversos elementos.

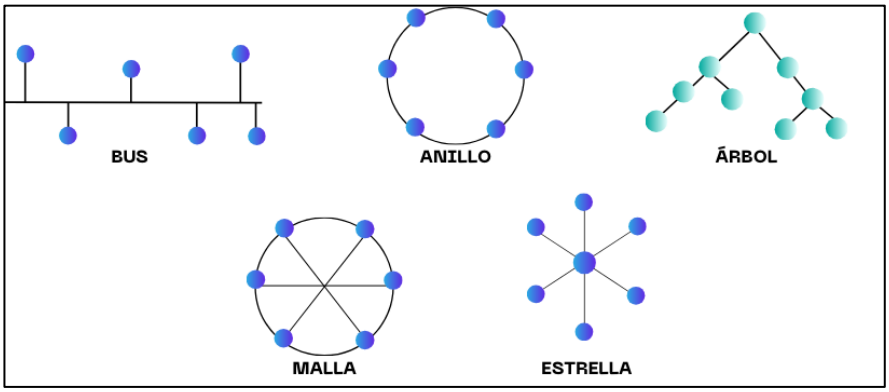
- ✓ **Estrella:** enlaza todos los cables a un punto central de concentración, mediante el cual transitan todas las comunicaciones. Cuenta con la ventaja de que en caso de ser desconectado o se encuentre averiado el cable con el que se conecta, solo quedará desconectado de la red ese equipo. Su desventaja radica en que, si el nodo central falla, la red entera quedará fuera de servicio.
- ✓ **Bus:** se trata de una de las topologías más simples, ya que cuenta con un único cable que va conectado directamente a todos los componentes. El cable tiene que estar correctamente finalizado en ambos extremos para evitar desajustes. Como todos los dispositivos usan el mismo canal, es preciso que exista una forma apropiada de entrar al medio, lo que limita tanto el número de dispositivos, así como la distancia física de la red. La ruptura del cable dejará el sistema fuera de servicio.
- ✓ **Anillo:** comunica un elemento con el contiguo y el ultimo con el inicial. La comunicación en este tipo de red se basa en el paso de un protocolo especial, denominado testigo, utilizado para organizar la comunicación y garantizar la igualdad de acceso a todos los

elementos. Si falla uno de los componentes o se corta uno de los enlaces, la red queda sin servicio.

- ✓ **Malla:** todos los nodos están conectados a todos los demás, por lo que es factible transportan mensajes de un nodo a otro a través de distintos caminos. Como está completamente conectada, se vuelve una red muy fiable en términos de una posible interrupción de las comunicaciones. En caso de que la red de malla se encuentre cableada, una posible desventaja radicaría en el coste, teniendo en cuenta la cantidad de cable necesaria para su instalación.
- ✓ **Árbol:** es una topología centralizada, partiendo desde un nodo raíz, a lo largo del cual se despliegan los demás componentes en forma de ramas. Sus elementos se disponen en forma de estructura jerárquica, en la que se destaca el elemento predominante o raíz. Los conjuntos de los elementos restantes comparten relación padre-hijo. El enrutamiento de los mensajes de este tipo de red tiene que efectuarse de manera que se eviten bucles de comunicación. En el caso de un elemento llegue a fallar, surgirían complicaciones, dejando la parte aislada de la estructura, pero si llega a fallar la raíz, la misma red quedaría en si acabaría dividiéndose en dos partes sin poder comunicarse entre sí.

Figura 5

Topologías de red



Elaborado por el autor

2.5.6. Sistemas de supervisión y monitoreo.

La automatización tiene como uno de sus principales propósitos el gestionar las actividades y la constante evolución de los procesos sin la intervención permanente de un operador humano. El sistema SCADA hace

posible la supervisión y control de las diferentes variables que forman parte de un proceso. Gracias a este, además de permitir el acceso al historial de alarmas y posibles variables de control; facilita la presentación de ellas ya sea en un bloc de notas, documento en Word o plantillas de Excel, lo que brinda un sistema amigable.

El sistema SCADA está definido como un software cuyo objetivo es acceder a los datos de un proceso de manera remota que se realiza mediante la aplicación de herramientas de comunicación requeridas, el control de este. Siguiendo esta argumentación se puede deducir que no es solo un sistema de control, sino una entidad SOFTWARE de monitoreo o supervisión que desempeña la tarea de interfaz entre los niveles de control (Controladores como PLC o PAC) y sus niveles principales de gestión de los procesos. (Miranda L., 2020)

2.5.7. Funciones de un sistema SCADA.

De acuerdo a (Rodríguez M., 2019), dentro de las funciones básicas de un sistema SCADA se tiene:

- ✓ **Supervisión:** mediante esta función el operario en su estación de trabajo podrá observar desde un monitor el avance de las variables a controlar con los cambios que se producen a diario en operaciones de planta. Lo que permite orientar las tareas de mantenimiento y facilitando una estadística de fallas puntuales.
- ✓ **Control:** durante la fase desarrollo del sistema de control es posible activar o desactivar equipos a distancia (cómo, por ejemplo, encender motores, activar contactos, etc.), mediante el cual el operador podrá realizar acciones de control, y a la vez si el caso lo requiera se modificarían la trayectoria de los procesos en posibles situaciones irregulares.
- ✓ **Adquisición de datos:** recopilación, procesos, almacenamiento y visualización continua de la información recibida, que provienen de elementos externos o de campo.
- ✓ **Representación de alertas de alarma:** gracias a las señales recibidas de las alarmas permite generar una alerta a tiempo al

operador, ante la presencia de una falla o una condición irregular que afecte la producción.

- ✓ **Reportes:** en base a los datos obtenidos se crean reportes de manera gráfica, predicciones, gestión de la producción, gestión financiera, entre otros.

2.5.8. Protocolos de comunicación.

Es el grupo de reglas que verifican el cambio de información entre diferentes entidades o dispositivos que se responsabilizan de establecer: qué, cómo y cuándo se realiza una comunicación, mediante un conjunto de elementos por la cual están compuestos:

I. Semántica: Interpretación de la cadena de bits.

II. Sintaxis: Organización de los datos

III. Temporización: Velocidad a la que se comunican los dispositivos.

Los protocolos tienen como objetivo el intercambio de información entre distintos equipos respetando las normas o requisitos que cada uno de ellos exija para la sincronización y transmisión de los datos. Los mismos pueden ser de desarrollo abierto, en los que cualquiera puede utilizar el protocolo, o de desarrollo privado, donde solo ciertos fabricantes imponen restricciones y condicionan el uso del protocolo privado, también están los protocolos de forma abierto, pero con ciertas restricciones, dónde diversos fabricantes no pueden hacer uso del protocolo sin una licencia previa. (Guananga N. & Vivas D., 2022)

- ✓ **Modbus.** Suele ser usado en el sector industrial. Este protocolo emplea un modo de comunicación en serie entre distintos dispositivos electrónicos, no precisa de un elemento auxiliar para comunicarse y es capaz de lograr comunicarse a distancias mayores a 50m. Tiene capacidad para establecer la comunicación cliente/servidor con dispositivos inteligentes, y es empleado frecuentemente debido a su sencillez, reducido costo, compatibilidad de TCP/IP y gran disponibilidad. (Maldonado R., 2021)

- ✓ **Modbus RTU.** Cuenta con un sistema de codificación binario donde cada carácter está establecido por 1 bit de inicio, 8 bits para codificación de datos, 1 bit destinado a paridad y 1 o 2 bits de paro, lo que destina un total de 10 a 12 bits por carácter. Aplica la arquitectura de maestro/esclavo. Generalmente el interfaz RS-485 es usado en las industrias, ya que es considerado como una conexión multipunto que a su vez accede a la comunicación de hasta 32 equipos contando con un solo bus de conexión. Permite una comunicación entre equipos de hasta 1200 metros y una velocidad de datos de hasta 10Mbps. (Danilo I. & Steven F., 2022)
- ✓ **Modbus TCP/IP.** Cuenta como una variación de la familia Modbus que son un conjunto de protocolos sencillos y neutros para el control y seguimiento de equipos de automatización. Concretamente, abarca el uso de la mensajería MODBUS en entornos de “intranet” o “internet” haciendo uso de los protocolos TCP/IP. En la actualidad, el uso más frecuente para estos protocolos es la conexión Ethernet del PLC, módulos de entrada y salida y “pasarelas” a otros buses de redes o campo. (Crespo D., 2022)
- ✓ **DeviceNet.** Es conocido como uno de los buses de campo más económicos ya que permite el recorte del coste del cableado de sus componentes y a la vez mejorar sus funciones de diagnóstico, orientado a niveles medio-bajo de automatización. Al ser un estándar de comunicación abierto ofrece diversas soluciones técnicas, permite la opción de añadir o borrar la marcha de equipos sin afectar el resto del proceso. (Parra O., 2021)

2.5.9. Funciones de la red de comunicación.

Existen varios tipos de protocolo para la comunicación industrial, con los antes mencionados se puede llegar a la conclusión que cada uno hace posible la integración del sistema y diversas etapas del proceso en el sistema de bombeo de agua, de modo que el sistema pueda satisfacer los siguientes parámetros:

- ✓ Asegurar un flujo constante de información.

- ✓ Capacidad de conexión entre todos los elementos del sistema de control.
- ✓ Proporcionar velocidades de transmisión fiables.
- ✓ Seguridad en la entrega de datos sin errores

Gracias a las tecnologías de la actualidad se puede garantizar el paso constante de información, evitando así errores en los datos y permitiendo que el controlador pueda interpretar cada variable añadida al proceso. (Atiaja S., 2023)

2.6. Instrumentación Industrial

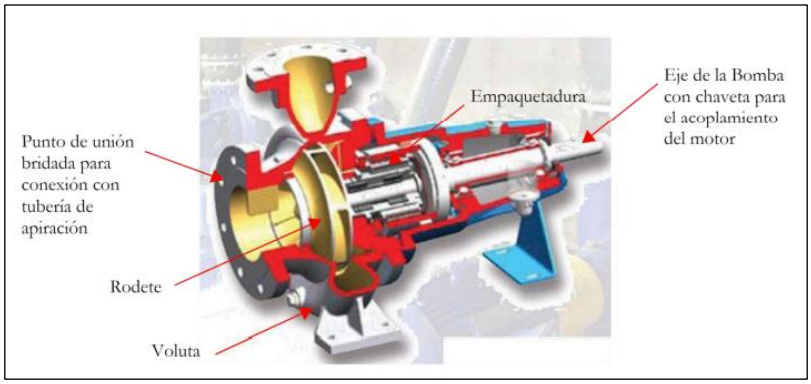
En cada fase de la producción industrial, se requiere incorporar dispositivos de medición y control que posibiliten la vigilancia de la calidad en todas las etapas de la operación del proceso.

2.6.1. Bomba de agua centrífuga.

Su rasgo distintivo reside en su capacidad para desplazar fluidos a distancias considerablemente largas, al mismo tiempo que alteran las condiciones de presión o caudal. Las bombas transforman la energía mecánica en energía hidráulica. (Bonilla V., 2020)

Figura 6

Elementos que constituyen una bomba centrífuga



Nota. Adaptado de *Hidráulica en tuberías y accesorios* (p. 144), por (Chuquín Vasco et al., 2020)

2.6.2. Medidor de caudal.

Facilita la lectura instantánea del flujo que circula a través de una tubería, expresado en litros por segundo o metros cúbicos. Normalmente, se

alimenta eléctricamente con corriente alterna y emite una señal eléctrica en el rango de 4 a 20 mA. (Belaño R. & Lascano F., 2022). En la **figura 7** se observan los tipos de medidores de caudal.

Figura 7

Tipos de medidores de caudal

Elaborado por el autor.

2.6.3. Medidor de Nivel.

Estos dispositivos son ampliamente empleados en operaciones industriales, especialmente para almacenar líquidos. Se alimentan eléctricamente con corriente continua y generan una señal de salida en el rango de 4 a 20 mA. (Aparicio B., 2022)

Figura 8

Medidor de Nivel

Nota. Adaptado de (Endress & Hauser, 2023)

2.6.4. Electroválvulas.

Las electroválvulas son dispositivos electromecánicos diseñados para regular el flujo de fluidos, ya sean líquidos o gases, en sistemas automatizados. Su funcionamiento implica la activación de un solenoide que, al recibir corriente eléctrica, mueve una válvula para permitir o bloquear el

paso del fluido. (Zamora V., 2020), Existe una amplia diversidad de válvulas que se categorizan según su aplicación:

- ✓ **Válvula de Alivio.** Las válvulas de alivio tienen la tarea de gestionar de inmediato las variaciones abruptas de presión que pueden ocurrir al iniciar o detener grupos de bombeo, garantizando que no excedan los límites de funcionamiento establecidos para el sistema. La selección de estas válvulas se basa en varios factores, como el caudal máximo del conjunto de bombeo. En términos generales, el tamaño de la válvula suele ser directamente proporcional al caudal y a la velocidad de flujo. Además, se tiene en cuenta la velocidad máxima permitida. (Sánchez H., 2022)
- ✓ **Válvula de compuerta.** Estos tipos de válvulas se emplean en estaciones de bombeo y se activan manualmente mediante un volante. Por lo general, se utilizan para tareas de mantenimiento en la estación al aislar la línea de impulsión de la bomba. (Ferreira G., 2019)
- ✓ **Válvula motorizada.** Las electroválvulas motorizadas operan comúnmente en dos estados: completamente abiertas o cerradas. Por lo genera l, la señal de control para este equipo varía entre 0-10Vdc, 4-20mA o 0-20mA. El tiempo que tardan en alcanzar la apertura o el cierre total oscila entre 25 y 60 milisegundos. (Ramirez F., 2023)

Figura 9

Tipos de electroválvulas

Elaborado por el autor

2.6.5. Arrancadores suaves.

Estos dispositivos desempeñan un papel crucial en la salvaguarda y regulación de los motores, destacándose por su capacidad para proteger

contra sobretensiones y cortocircuitos. Además, funcionan como equipos de conmutación, lo que posibilita la interrupción o facilitación del flujo de corriente absorbida por el motor. (Solis Toscano, 2020)

Figura 10
Arrancador Suave

Nota. Adaptado de *Arrancador suave,* (Eaton, 2023)

2.6.6. Switch Industrial.

El interruptor industrial desempeña un papel fundamental en la interconexión de todos los dispositivos en campos industriales, tales como PLC, variadores de frecuencia, HMI, SCADA y medidores de parámetros eléctricos, que forman parte de una red de comunicación Modbus TCP/IP. En el mercado, se encuentran disponibles interruptores con 4 o 8 puertos, los cuales operan a una velocidad de 100 Mbps. (Calero O. & Romero C., 2020)

Figura 11
Switch Industrial

Nota. Adaptado de *Switch Industrial Gigabit Sin Gestión*,(D-Link, 2023)

2.6.7. Sensor de Presión.

Es un dispositivo que transforma la fuerza aplicada a una superficie, convirtiendo esta fuerza física en una señal eléctrica. La medida de presión

se expresa comúnmente en "Bar". Por lo general, este dispositivo opera con una fuente de alimentación de 24 Vdc y emite una señal de salida en el rango de 4 a 20 mA. (Ushiña Ll. & Zambrano S., 2022)

Figura 12

Sensor de Presión

Nota. Adaptado de *Sensores de presión*, (Centro Zaragoza, 2023)

2.7. Lenguaje de modelado Unificado (UML)

Está definido como un lenguaje gráfico para visualizar, definir, construir y documentar los artefactos de los sistemas de software intensivos. Este lenguaje ofrece una manera estándar de esquematizar los planes de un sistema, cubriendo partes conceptuales (las funciones del sistema y, en teoría, incluso los procesos industriales) y objetos específicos (clases escritas en determinados lenguajes de programación, esquemas de bases de datos, y componentes de programas reutilizables). Su principal ventaja es que se trata de un lenguaje de propósito general, aunque esto puede convertirse a veces en una desventaja, ya que las situaciones o características de dominios específicos no pueden representarse en toda su dimensión y detalle. (De la Rosa M. & León G., 2023)

2.7.1. UML y su desempeño en el modelado y diseño.

En la informática, que es el campo de estudio de los algoritmos y los datos, existen muchos patrones o modelos de resolución de problemas. Los modelos de resolución de problemas se dividen en cuatro categorías: lenguajes funcionales, orientados a objetos (OOP) imperativos y declarativos. En los orientados a objetos, los algoritmos se describen definiendo "objetos" y haciendo que éstos interactúen entre sí. Estos objetos son cosas que se

manipulan y existen en el mundo real. Puede tratarse de edificios, artefactos en un escritorio o seres humanos. (Marcillo L., 2021)

Estos lenguajes son dominantes en el mundo de la programación porque modelan objetos del entorno real. UML es una mezcla de varias notaciones orientadas a objetos:

- ✓ Diseño dirigido a objetos.
- ✓ Técnicas de modelado de objetos.
- ✓ La ingeniería de software dirigida a objetos.

UML aprovecha los puntos fuertes de estos tres planteamientos para presentar una metodología más uniforme y fácil de utilizar. UML representa las mejores prácticas para construir y documentar distintos aspectos del modelado de software y sistemas empresariales.

2.7.2. Objetivos del UML.

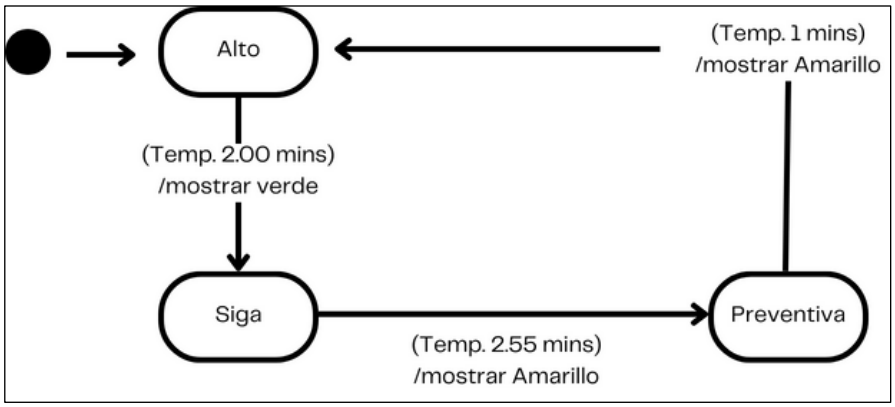
Aunque el lenguaje de modelo unificado requiere del uso de distintos elementos gráficos, combinados para ser parte de diagramas. UML sin embargo sigue ciertas reglas para la combinación estos elementos. La meta de estos distintos diagramas es la de entregar diferentes vistas del sistema ofreciéndole a los usuarios un lenguaje expresivo y fácil de comprender, estos son denominados como modelos. Se debe enfatizar que un modelo UML es el encargado de describir como se desempeñará el sistema, pero sin especificar como se implementará. (Mercado S. & Mendoza C., 2021)

2.7.3. Diagramas de estado.

Se refiere a métodos destinados a comprender el estado en el que se encuentra un programa; delimitan las características de un objeto y su transición a otro, centrándose exclusivamente en una clase específica. Está denominado como la sección del comportamiento dinámico, presenta una serie de estados por los cuales atraviesa un objeto en un instante específico. Todos los estados se encuentran vinculados por transiciones que se activan al cumplirse determinadas condiciones o reaccionando a diversos eventos como pueden ser lapsos de tiempo superado, errores, mensajes captados, etc. (Panchi C., 2022)

Figura 13

Diagrama de estado, semáforo condiciones



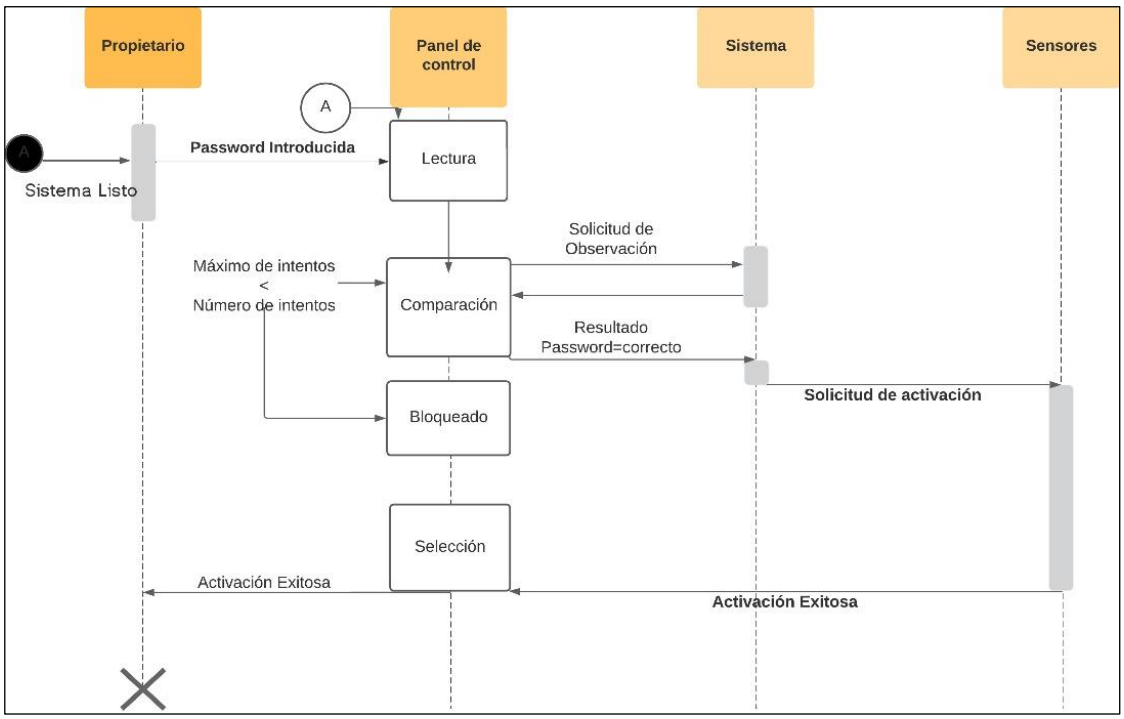
Elaborado por el autor

2.7.4. Diagramas de secuencia.

Estos tipos de diagramas ilustran el esquema del flujo de control que se establece entre los nodos que estén interrelacionados. Evidencia las relaciones entre distintos objetos durante la ejecución de determinada operación. Resaltando a su vez la secuencia en la que tienen lugar estas operaciones a lo largo de un determinado período de tiempo. Se realiza de manera vertical, el orden en que se efectúan las diferentes operaciones, desde la parte superior a la inferior. (Muñoz A., 2019)

Figura 14

Diagrama de Secuencia



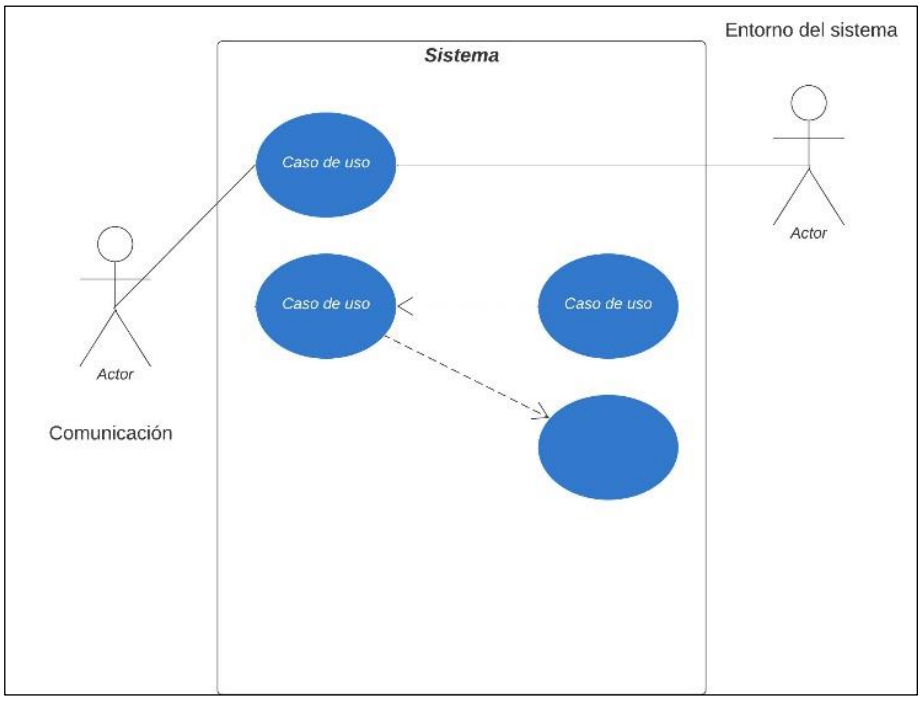
Elaborado por el autor

2.7.5. Diagramas de caso de uso.

Consiste en la sucesión de un proceso a partir de la intervención de un usuario o de otro sistema con las etapas detallas de los mismos. Estos diagramas permiten el modelado del funcionamiento de un sistema estableciendo los requerimientos principales que se desarrollarán, por ejemplo, la forma en que los actores del exterior interaccionan con el sistema. Además de modelar el funcionamiento del sistema, estos diagramas son útiles para establecer los requisitos clave del sistema y comprender cómo los diferentes elementos interactúan entre sí para lograr los objetivos del proceso.(Patiño M., 2022). En la **figura 15** podemos observar un ejemplo sencillo de diagramas de casos de uso.

Figura 15

Diagrama de casos de uso



Elaborado por el autor.

2.8. Redes de Petri

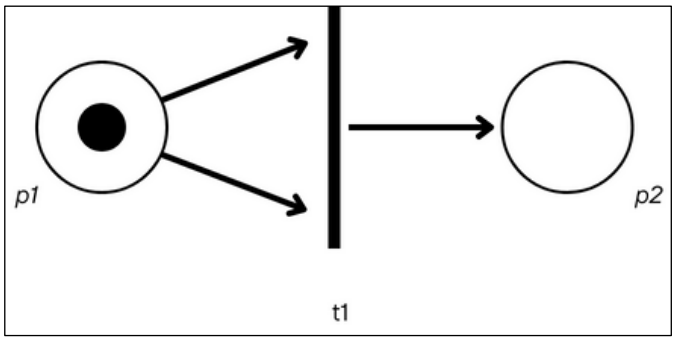
Conforman un modelo compuesto por una gama de lenguajes capaces de representar la estructura y el rendimiento de los sistemas de eventos discretos, entre los que se incluyen la simultaneidad, la competencia y el paralelismo de recursos compartidos. En el campo de la automatización el uso de estas redes permite el modelado de los algoritmos a implementar en un PLC. Al contrario que otros formalismos que son capaces de interpretar

eventos discretos en los sistemas, aportan una visión explícita del escenario y estado de determinado sistema, desde cualquier punto del desarrollo del mismo. Por lo cual favorece el estudio del comportamiento con el fin de poder comprender las metas que se desea conseguir o situaciones a evitar (Serrano, 2022).

En la **figura 16** se obtiene una representación gráfica donde se emplean los siguientes elementos: Las condiciones (o también llamados places) son descritos por medio de círculos, tokens y arcos que son los puntos negros en medio de las condiciones o círculos, transiciones representados con rectángulos.

Figura 16

Redes de Petri



Elaborado por el autor

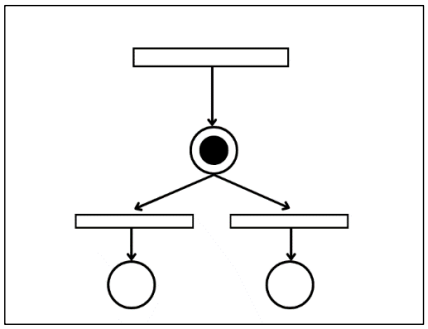
2.7.1 Estructuras básicas de redes Petri.

Existen estructuras básicas para la elaboración de redes que podrían repetirse y emplearse de manera indistinta en cada uno de los sistemas de control en que se utilizan las redes de Petri. (Samuel Medina et al., 2022)

- ✓ **Selección.** Selecciona el proceso a desarrollarse

Figura 17

Estructura de selección

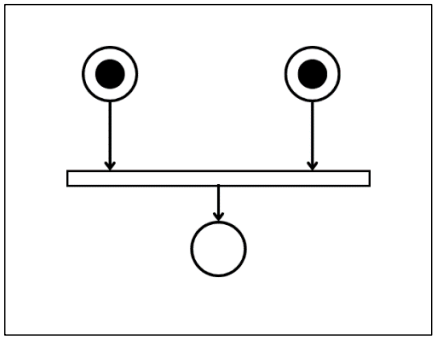


Elaborado por el autor

- ✓ **Conjunción.** Sincronización para procesos en paralelo.

Figura 18

Estructura de Conjunción

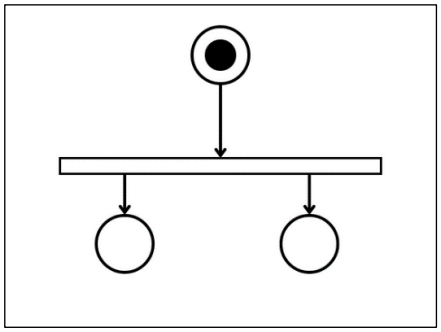


Elaborado por el autor

- ✓ **Distribución.** Ejecución para procesos concurrentes o en paralelo.

Figura 19

Estructura de Distribución

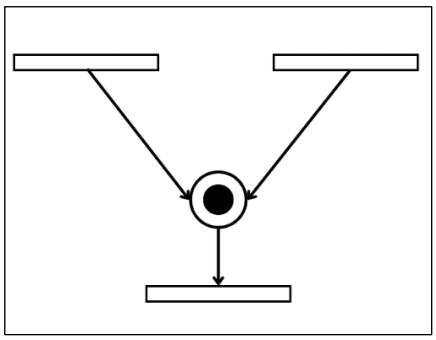


Elaborado por el autor

- ✓ **Atribución.** Permite la ejecución de manera independiente de un proceso por medio de dos procesos distintos.

Figura 20

Estructura de atribución



Elaborado por el autor

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL SISTEMA

3.1. Consideraciones Generales

La finalidad de la automatización es lograr la sustitución de mano de obra humana en diversas tareas a gran o pequeña escala, empleando los equipos necesarios para realizarlas. Lo que una empresa busca al implementar la automatización es lograr una mayor eficiencia y productividad. Todo proceso automatizado se basa en procesos auto desarrollados sin que sea necesario un control manual; esto supone una gran ventaja ya que la producción no se interrumpe.

Los sistemas de bombeo deben garantizar el suministro ininterrumpido de agua a la población, por lo tanto, es crucial su trabajo constante para la Parroquia rural de Posorja. la cual cuenta con aproximadamente 24.000 habitantes. La automatización de los sistemas de bombeos ofrece muchas ventajas, tales como la mejora de control, al implementar válvulas y elementos de control, permite el acceso remoto para la regulación de la apertura, cierre y otras medidas necesarias para el control de posibles variaciones en la presión y caudal del suministro de agua. La supervisión se lleva a cabo desde un centro de control que se encontrará conectado a el sistema de monitoreo, por lo tanto, no se requiere de personal para monitorear toda la red. Ofrece una mejor estabilidad, los sistemas automatizados de bombeo se calibran solo para los caudales del lugar donde serán instalados, lo que no ocurre con dispositivos manuales; por consiguiente, no se producirán deficiencias de tamaño ni fallos en los sistemas.

3.1.1. Detalles del sistema de automatización.

Para el sistema a estudiar, se obtiene un modelo eléctrico ilustrado en el **anexo A,** en el cual se encuentran presentes 4 cargas las cuales son cuatro bombas eléctricas trifásicas con voltaje de 460 [V] y una potencia de 37 [KW] marca Movitec, las cuales serán olas encargadas de la estación de bombeo. El sistema de alimentación eléctrico hacia estas bombas se conforma por una acometida de aire de media tensión la cual alimentará un transformador tipo

radial 13800 [V] a 460 [V] trifásico y también un generador de 200 [KW] y un voltaje nominal de 460 [V], los cuales se alternarán mediante un tablero de transferencia automática, como se indica en el siguiente anexo.

Las cargas conformadas por 4 bombas de agua de 37 [KW] se encuentran controladas mediante un tablero de protección el cual esta denominado como tablero de fuerza y control el cual distribuye cada bomba mediante 4 breakers de 3P-80[A], uno por cada bomba y este tablero también alimentará un sistema de UPS para el control y protección de las bombas.

3.1.2. Características del sistema.

Las especificaciones del sistema se refieren a todos los aspectos funcionales y técnicos de los equipos a usar en la automatización del sistema de bombeo de agua potable. Unos de los requerimientos indispensables para la instrumentación de campo, se puede considerar que todos los componentes de la instrumentación cuenten con una norma de seguridad y protección, esto quiere decir que sean aptos para ser sumergidos y encontrarse expuestos a la intemperie de acuerdo lo requiera el sistema.

Debido a que estos elementos son los responsables de tomar los datos de diferentes parámetros del proceso es de suma importancia que el tiempo de trabajo de estos sea ininterrumpido. Para el desarrollo del sistema deben estar implicado los siguientes equipos:

- ✓ **4 bombas.** Su funcionalidad principal es la de proporcionar la energía requerida para mover fluido de un punto a otro dentro del sistema.
- ✓ **4 variadores de frecuencia.** Permiten un control flexible y preciso de la velocidad de la bomba. De este modo, se optimiza la eficiencia energética ajustando la velocidad en función de la demanda real del sistema, se reducen picos de corriente durante el arranque y la parada, se protege el motor de la bomba y se mejora la estabilidad del sistema evitando choques de aire en la tubería.
- ✓ **1 transmisor de presión.** Desempeña un papel fundamental al proporcionar información en tiempo real sobre las condiciones de

presión en un sistema de bombeo automatizado. Esta información se utiliza para tomar decisiones automáticas que optimizan la operación del sistema, mejoran la eficiencia y protegen los equipos.

- ✓ **PLC Schneider.** Actúa como el cerebro del sistema, ejecutando la lógica de control programada para coordinar y supervisar la operación de la bomba y otros componentes. Su flexibilidad y capacidad de adaptación son fundamentales para lograr un rendimiento eficiente y confiable del sistema de bombeo.
- ✓ **HMI.** Desempeña un papel esencial en un sistema de bombeo automatizado al proporcionar una plataforma interactiva para que los operadores supervisen, controlen y gestionen el sistema.
- ✓ **Flujometro.** Cumple la función principal de medir y monitorear el caudal o flujo del fluido que está siendo bombeado a través del sistema.
- ✓ **Válvula Motorizada tipo mariposa.** Su función es controlar y regular el flujo de líquido, lo que contribuye a la eficiencia operativa, la adaptabilidad del sistema y la protección contra situaciones adversas.

3.1.3. Funcionalidad del sistema.

Para el procedimiento de control de bombas de la estación de bombeo de agua se definen tres modos de operación que son Modo Apagado, Modo Manual y Modo Automático, este último podrá manejarse también en modo remoto si así se define. Para la selección del modo de operación de la estación de bombeo se debe de disponer de un selector de tres posiciones.

- **Modo apagado.** En este modo de operación el sistema de bombeo quedará deshabilitado y no se podrá realizar ninguna operación de encendido de ningún grupo de bombeo.
- **Modo Manual.** En este modo de operación quién controlará el sistema será el operador, dependiendo su criterio de operación y necesidad.
- **Modo automático.** Para este modo de operación el sistema será controlado por los equipos de instrumentación tales como sensor de presión, sensor de caudal, válvula motorizada tipo mariposa.

3.1.4. Estudio eléctrico del sistema de la estación de bombeo.

La estación de bombeo en la cual se encuentran implementadas 4 bombas de agua trifásicas de 37 [KW] cada una, se encontrará alimentada por medio de una acometida aérea de media tensión proporcionada por la Corporación Nacional de Electricidad CNEL. Existirá una caja de fusible de protección de 100 [A]. Esta acometida alimentará un transformador PADMOUNTED de tipo radial, el cual es de 200 [KVA] – 460 [V]. Este transformador tendrá incorporado un aceite dieléctrico biodegradable FR3. Este transformador tiene en la parte principal con sus especificaciones de alta tensión (A.T) de 13800 [V], con un nivel de ruptura dieléctrica (BIL) de 95 kilovoltios [KV] con clasificación para una tensión de 15 [KV], lo que concuerda con la acometida anteriormente descrita ya que, este transformador trabajaría según su clase la cual es de media tensión. Este transformador en su salida secundaria de baja tensión (B.T) tiene un voltaje nominal de 460 [V], con un nivel de ruptura dieléctrico de 30 [KV], también es para una clase de baja tensión con sus 1.2 [Kv]. Este transformador es regularmente utilizado para acometidas de mediana tensión y perfecto para un uso de suministro de energía en sistemas de distribución eléctrica para consumidores finales. Este transformador cumple con la tarea de mediante su estructura, transformarse en un equipo de distribución de energía que recibe una alimentación de alta tensión y la convierte a baja tensión con valores seguros de operar y una capacidad necesaria tomando en cuenta las necesidades del consumidor final.

Este voltaje de salida de baja tensión será protegido mediante un tablero de protección regulable trifásico de 460 [V], los dispositivos de protección serán fusibles de 3 polos de 300 A. Esta señal de voltaje llegará finalmente a un tablero de transferencia automática el cual será el encargado de si es que es necesario en el caso de que no se pueda obtener la energía por parte de la acometida el sistema pueda utilizar un generador con una potencia de 200 [Kw] con un voltaje nominal de 460 [V], este generador también es trifásico lo que sería útil para el intercambio de alimentación de nuestro sistema. Este tablero tiene la tarea de mantener siempre el sistema energizado con su potencia y voltaje necesario para un desarrollo correcto y

seguro de todas y cada una de las actividades de los dispositivos consumidores en este caso, las bombas de agua. Permitirá mediante su transferencia automática que no existan perdidas significantes cuando por parte de CNEL, no se pueda proporcionar energía a la planta en general. El generador tendrá un sistema de protección el cual consiste un breaker de 3 polos de 300 [A] regulable.

El tablero de distribución principal consta con la alimentación proporcionada por parte del tablero de transferencia automática la cual nos proporciona una señal de voltaje trifásica de 460 [V]. Este tablero cuenta con un breaker general de 3 polos de 300 [A], como protección del tablero general. Este tablero cuenta con unas barras de cobre para instalaciones trifásicas de 400 [A].

La tarea principal de este tablero es proporcionar energía tanto al tablero de fuerza y control, el tablero del banco de capacitores y el tablero de los servicios generales. El tablero de distribución principal cuenta con una distribución para cada uno de los tableros anteriormente mencionados de tal manera que para el tablero del banco de capacitores se tiene un breaker de 3 polos y 80 [A].

El tablero de fuerza y control el cual es el encargado de la distribución de energía para las bombas de agua tiene un breaker de protección de 3 polos y 250 [A], la diferencia con el anterior es notoria, debido, a que este, debe tener la capacidad de soportar el uso de las bombas de agua. Por último, el tablero de servicios generales, el cual está encargado de la distribución de energía general como lo son los bancos de UPS y otros tipos de usos generales en la planta.

Para ello, se necesita tan solo un breaker de 3 polos y 30 [A]. El tablero de banco de capacitores es aquel el cual no permitirá corregir el factor de potencia según sean las regulaciones por parte de CNEL, y tomando en cuenta las cargas a utilizar en este caso las bombas de agua de 37 [KW].

El tablero de fuerza y control es el eje principal para el correcto desarrollo de las actividades de las plantas ya que, la alimentación y distribución eficiente de energía de este, permitiría un correcto uso de las bombas de agua, favoreciendo a la empresa en general ya que, las cargas se les da un uso regulado que permite un eficiente uso de los dispositivos de manera correcta y segura. Este transformador consta de un protector general el cual es un breaker de 3 polos y 250 [A].

También, consta con barras de cobre trifásica de 300 [A]. Este tablero cuenta con una distribución de 4 breaker de protección tripolares y de 80 [A] cada uno, estos están presentes en el sistema para poder proteger la carga o la bomba de agua la cual es controlada también con ayuda de un variador de frecuencia por cada bomba de agua.

Las bombas de agua son de una potencia de 37 [KW] tripolar, de marca Movitec las cuales tienen beneficios en su uso como lo son su fiabilidad, esto se debe a, la lubricación correcta para sus deslizantes rodamientos mediante el carburo de Wolframio. Esta bomba también es bastante conocida en el medio ya que, varias empresas las usan para propósitos similares como lo son el tratado de fluidos como el agua, lubricantes, detergentes y demás.

Este tablero, por último, distribuye energía a un banco de UPS monofásicos de 120 [V]-3[KVA], para ello, se tiene un breaker de seguridad de 1 polo y 20 [A], el cual sirve como protección del sistema de las cargas.

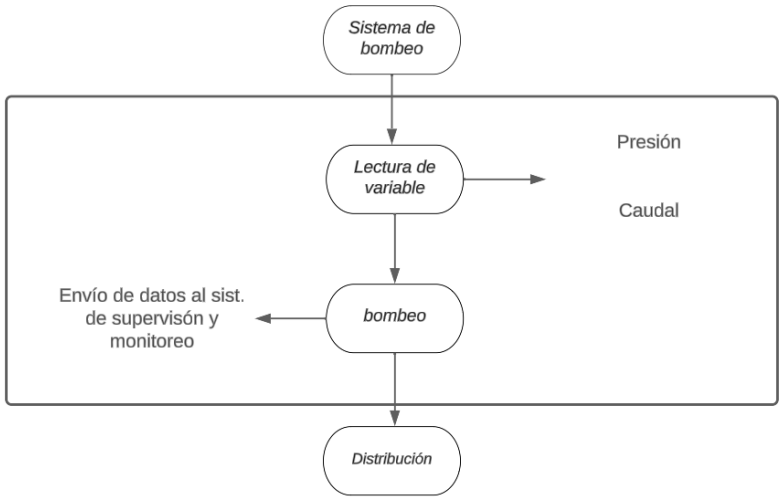
3.1.5. Arquitectura del sistema de bombeo de agua.

Para el control de los diferentes procesos del sistema de bombeo, se precisa contar con un PLC. Existe una señal eléctrica de 4-20mA entre el controlador y la instrumentación, para el control de válvulas y bombas se necesita el uso de la comunicación Modbus, debido a su gran facilidad de transmisión, teniendo en consideración a su vez su tipo de topología de comunicación que en el caso aplicado sería Maestro-Esclavo. Como maestro el PLC y la instrumentación de campo el esclavo.

En el caso de la comunicación entre PLC’s y los equipos de monitorización, al igual que para el HMI es conveniente conservar la comunicación modbus dada la agilidad en la transmisión de datos, sin embargo, en caso de necesitar de manera centralizada toda la información recogida por el PLC, la comunicación profinet es la ideal ya que su comunicación permite las posibles conexiones de un sin fin de PLC’S en caso de ser así requerido para el proceso, como se puede observar en la **figura 21.**

Figura 21

Diagrama de bloques del sistema



Elaborado por el Autor.

3.1.6. Arquitectura del control de automatización.

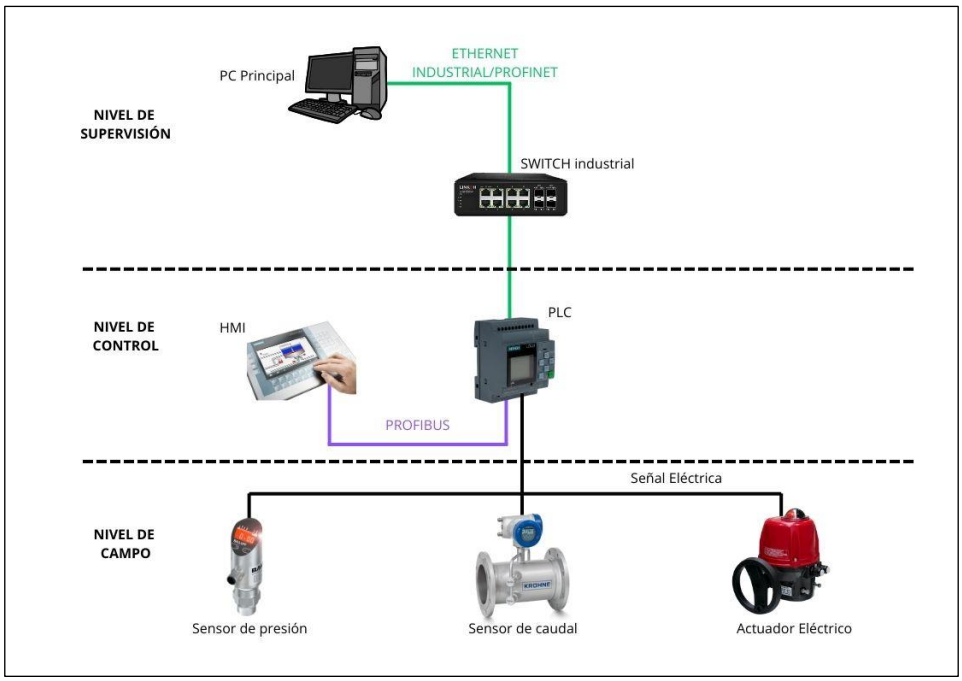
En la configuración de la arquitectura de control para la automatización del sistema de bombeo de agua, se propone un enfoque descentralizado. Este diseño implica la presencia de múltiples controladores intercomunicados a través de un bus compartido, funcionando de manera análoga a un sistema centralizado. Cada controlador transmite información a los actuadores o grupos de bombeo según las lecturas registradas por los sensores, como se ilustra en la **figura 22** que representa la arquitectura de control sugerida en este trabajo.

En el contexto del sistema de control, resulta crucial que todos los controladores estén interconectados y posean la capacidad de interpretar diversos tipos de señales eléctricas de los sensores, así como señales digitales procedentes de los actuadores. Además de contar con interfaces

analógicas y digitales, los controladores actuales facilitan la interacción con componentes externos.

Figura 22

Arquitectura del control de automatización.



Elaborado por el autor.

La capacidad de integración entre los controladores cobra importancia, ya que se requiere una comunicación eficaz entre las distintas etapas del proceso. Esta integración es esencial para mantener el control a lo largo de todo el proceso de tratamiento, evitando posibles errores humanos al manipular productos químicos o al abrir y cerrar válvulas. También se destaca la necesidad de una capacidad de comunicación versátil con programas de monitoreo de cualquier fabricante.

3.1.7. Estructura del sistema SCADA.

El fin de la implementación del sistema SCADA es permitir que el operador pueda manejar diferentes fases del proceso de tratamiento de agua. El operario debe poder pilotar de manera eficiente y sencilla entre las pantallas o interfaces para evitar errores en el control de la planta.

El sistema de supervisión debe concordar tanto con los requisitos especificados del equipo y también con las habilidades del operador con la

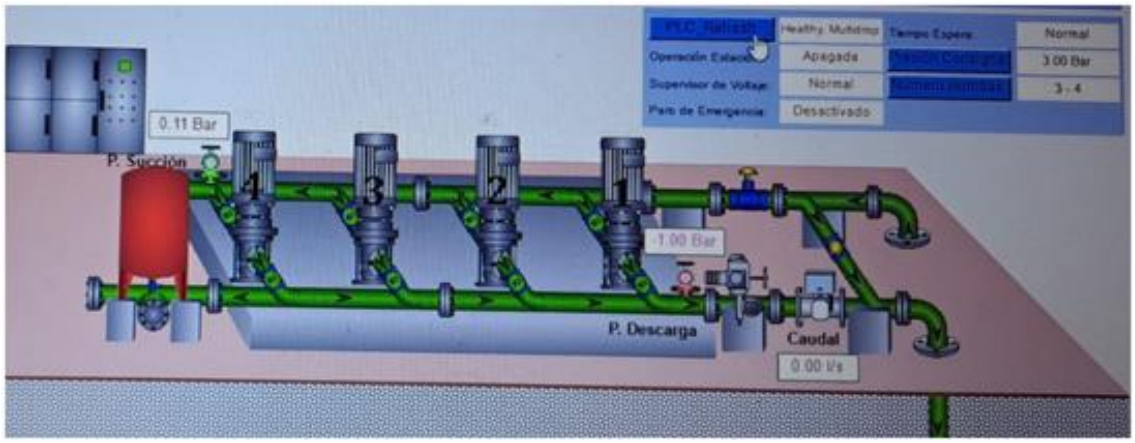
finalidad de que no ocurran errores en la operación de la máquina. Si hay algún fallo en el sistema, este debe contar con indicares donde se refleje el estado de la planta y también con alarmas para alertar al operador y de ser necesario reparar daños que puedan afectar a la producción.

3.1.8. Organización del sistema SCADA.

Para el diseño del sistema SCADA, se deben evaluar diversos parámetros, estos incluyen aspectos como simetría y equilibrio, facilitando la operación del sistema debido a que pueden visualizar los datos y establecer diferencias entre ellos, como se detalla en la **figura 23**

Figura 23

Pantalla del sistema SCADA del proceso



Elaborado por el autor

La pantalla del SCADA debe tener las dimensiones correctas para un manejo sencillo del operador, la información que debe considerarse es la siguiente:

i. Botones para cambiar el modo de funcionamiento del sistema, tales como retroceso, para que el operador logre identificar de manera fácil el cambio de cada proceso.
ii. La información mostrada en las pantallas debe ser clara acerca de las variables de control y el estado de los equipos.
iii. Las pantallas deben contar con accesos directos a la instrumentación de campo como bombas dosificadoras o actuadores, descartando el retroceso de varias pantallas para la obtención de dicha información.

iv. La instrumentación de campo debe visualizarse con colores intermitentes indicando el estado en el que se encuentra. El color rojo indica fallos, el azul cuando las bombas se encuentren apagas, pero esperando la señal del PLC para empezar a operar y el verde indica un funcionamiento óptimo.

3.1.9. Organización para el modelo de pantallas del sistema SCADA.

Se proporciona un análisis detallado de la lógica, función y navegación en el diseño de las pantallas del sistema SCADA para los procesos investigados.

a) **Pantalla Principal:** Esta pantalla es la interfaz inicial y debe incluir botones de ingreso de usuario destinados tanto al personal operativo como al de mantenimiento. Se establece la práctica de asignar a cada usuario contraseñas únicas para garantizar la seguridad del acceso.

b) **Pantalla de Vista General:** Diseñada para proporcionar una visión global del proceso de la planta, esta pantalla resume información clave de los procesos. Además, facilita la navegación hacia otras pantallas que detallan procesos específicos.

c) **Pantalla de Sistema de Bombeo:** Esta pantalla se centra en proporcionar información detallada sobre el sistema de bombeo. Aquí, los usuarios pueden monitorear y controlar específicamente los procesos relacionados con las bombas. Esta interfaz incluirá datos relevantes, como el estado operativo de las bombas, niveles de presión, caudales y cualquier parámetro crucial para el sistema de bombeo. Permite una gestión más precisa y eficiente de esta parte específica del proceso global de tratamiento de agua.

d) **Pantalla de Eventos y Alarmas:** Enfocada en mostrar cualquier cambio significativo en los diferentes procesos, esta pantalla registra eventos como el cambio entre modos manual y automático de las bombas dosificadoras, fallas de sensores, apertura o cierre de válvulas, así como eventos de ingreso o salida de usuarios, entre otros.

3.1.10. Estructura de la red de comunicación.

La arquitectura de la red de comunicaciones industrial desempeña un papel fundamental al definir los niveles de comunicación en todo el proceso. Cada nivel de comunicación se caracteriza por un tipo específico de comunicación, y es esencial especificar las interfaces o comunicaciones entre las subredes generadas en cada nivel, junto con las topologías de red en cada nivel, cuando sea aplicable. La **figura 24** ilustra la arquitectura general de la planta de potabilización de agua.

A continuación, se detallan los requisitos de comunicación necesarios para el proceso, ya que este tiene la responsabilidad de transportar datos desde la instrumentación de campo hacia los controladores y el sistema de supervisión, además de transmitir las acciones de control necesarias.

- ✓ **Red industrial de comunicación Ethernet.** La tecnología Ethernet se basa en el estándar desarrollado por AT&T, IBM, Hewlett Packard y otros miembros del comité IEEE 802.3. La capacidad de adaptabilidad de la red, utilizando el mismo cableado, topología y formato de redes ya instaladas, contribuye al éxito de esta comunicación. La utilización de tecnología existente reduce significativamente los costos de instalación y simplifica la estructura de cableado. Las normas para el cableado estructurado fueron desarrolladas por EIA/TIA (Asociación de Industrias Electrónicas y de Telecomunicaciones). La red Ethernet es considerada altamente confiable y es ideal para aplicaciones industriales. IEEE 802.3 estandariza las capas físicas y de transporte en la red Ethernet, mientras que Ethernet TCP/IP es el protocolo de control de transmisión y protocolo de internet. La velocidad de transmisión de datos varía desde 10 Megabit hasta 1 Gigabit, utilizando cableado UTP de categoría 5 o 6.
- ✓ **Red industrial de comunicación Profibus.** La comunicación Profibus se utiliza en el nivel de control para la interacción entre el controlador y el HMI de los procesos investigados. Su rapidez en la comunicación y la configuración maestro-esclavo o cliente-servidor son características destacadas. Este protocolo de comunicación, presentado en la tabla 11

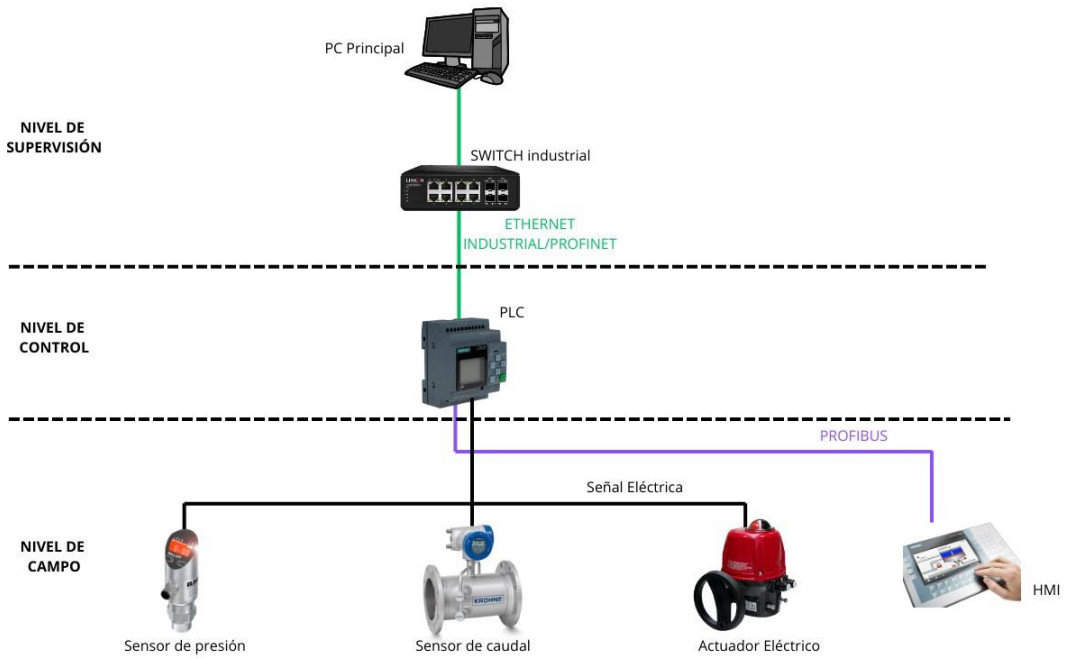
en los anexos, carece de restricciones y se considera un estándar en la industria.

- ✓ **Señales Eléctricas.** Para la lectura de la instrumentación de campo, se emplean señales eléctricas, comúnmente analógicas, como 4-20mA, 0-20mA y 0-10Vdc. La instrumentación utilizada en los procesos de dosificación, filtración y retro lavado se caracteriza por generar salidas de señal analógica.

La **figura 24** presenta la topología utilizada en el sistema, y se realiza un análisis tanto para el nivel de supervisión como para el nivel de control. En el nivel de supervisión, se adopta la topología de red tipo estrella, centralizando toda la información de los controladores en la PC principal con SCADA. Esta configuración permite realizar comandos para los procesos de manera eficiente, y debido a las ventajas de esta topología, se puede expandir y controlar más nodos según sea necesario sin interrumpir todos los procesos. De manera similar, en el nivel de control, se emplea la topología de red tipo estrella, con el controlador centralizando la información de la instrumentación de campo antes de ser enviada al sistema de supervisión SCADA.

Figura 24

Arquitectura de comunicación



Elaborado por el autor

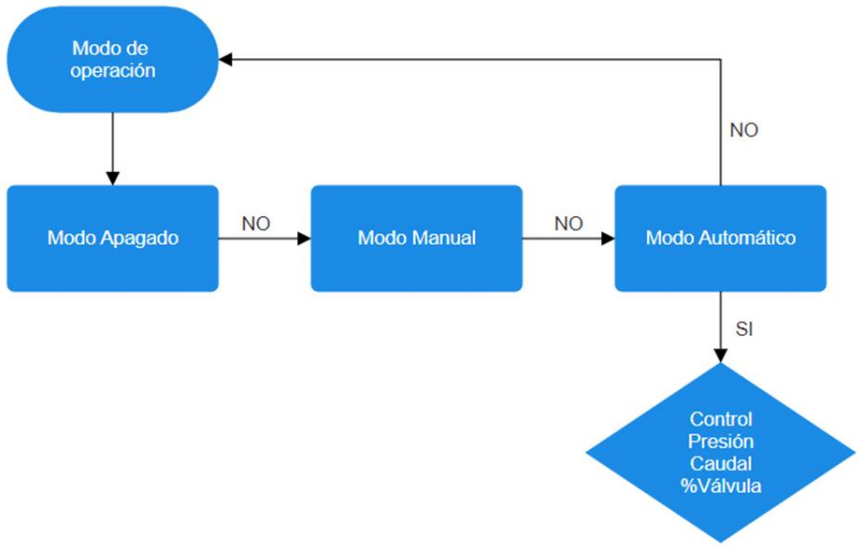
3.2. Filosofía de Control del Sistema de Automatización

El desarrollo de la lógica de control del sistema que controla el proceso del bombeo de agua, se ha previsto subdividir el sistema en tres subprocesos, los cuales permitirán estudiar con detalle cada una de las partes del sistema.:

i. Modo apagado de la estación
ii. Operación en modo manual.
iii. Operación en modo automático.
    a. Encendido de grupo de bombeo
        i. Modulación horaria por presión
        ii. Modulación horaria por caudal
        iii. Modulación horaria por posición en % de la válvula
    b. Apagado de grupo de bombeo
    c. Habilitación/deshabilitado de grupo de bombeo

Figura 25

Diagrama de flujo del sistema de bombeo



Elaborado por el autor

3.2.1. Modo apagado de la estación.

En esta modalidad de funcionamiento el sistema de bombeo quedará inoperante y no será posible la puesta en marcha de ningún grupo de bombeo. Si se coloca el selector en la posición "0" mientras una bomba está funcionando, se apagará de manera inmediata hasta que el selector se coloque en otro modo de funcionamiento.

3.2.2. Operación en modo manual.

Si el selector está en posición "1", el sistema entra en modo Manual, permitiendo el encendido/apagado de las bombas por medio de botoneras, disponiendo de todos estos elementos en el panel de control. Se exige que un máximo de 3 bombas funcione simultáneamente en modo manual, y esta restricción se hace a nivel del cableado de control, por lo cual es indispensable la implementación de conjuntos de enclavamientos a nivel eléctrico que eviten el funcionamiento simultaneo de las 4 bombas. Complementariamente, no se encenderá ninguna bomba, y en el caso de estar energizada se apagará, siempre que se dé una de las siguientes condiciones:

- ✓ Falla de supervisor de voltaje.
- ✓ Botonera de Paro de emergencia accionado.
- ✓ Alta presión en la tubería de descarga dada por el respectivo interruptor de presión.
- ✓ Falla de supresor de Transiente.
- ✓ Selector no se encuentre en posición “1”.
- ✓ Nivel bajo dada por la correspondiente electrosonda de nivel.
- ✓ Apertura del interruptor de fuerza de una bomba.

3.2.3. Operación en modo automático.

Con el fin de que el sistema opere en modo automático, el selector del tablero de control se debe situar en la posición "2". Cuando el sistema se encuentre en esta modalidad de funcionamiento, el controlador programable (RTU) gestionará tanto el encendido como la velocidad de trabajo de cada bomba. El sistema no encenderá las bombas o, si están encendidas, éstas deberán apagarse cuando:

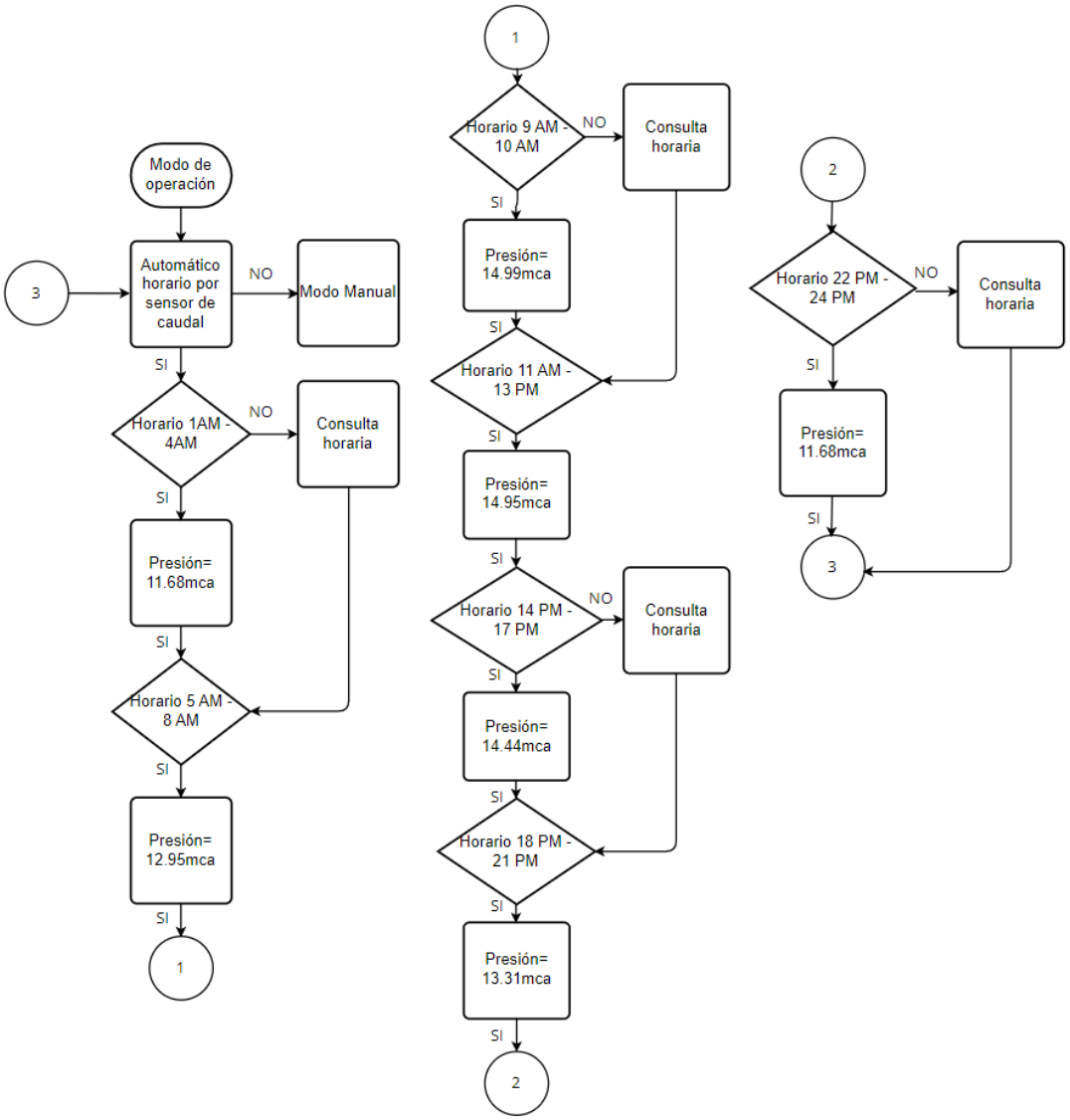
- ✓ Botonera de Paro de Emergencia se encuentre accionada.
- ✓ Falla de supresor de Transiente.
- ✓ Falla de supervisor de voltaje.
- ✓ Falla de bomba.
- ✓ Válvula de descarga del grupo de bombeo que se encuentre en servicio está cerrada o en falla.
- ✓ Selector no se encuentra en la posición “2”.
- ✓ Apertura del interruptor de fuerza de una bomba.

3.2.3.1. Modulación horaria por presión

Es configurada en base a la presión de salida de la válvula motorizada tipo mariposa, de acuerdo con el rango del instrumento o la presión mínima de funcionamiento en un periodo de 24 horas. Es decir, para cada hora la válvula se ajustará a la presión de salida fijada para la posición requerida de la válvula, de modo que, en dependencia de esta parametrización, se regulará el estado abierto o cerrado de este elemento.

Figura 26

Diagrama de flujo de modulación por presión



Elaborado por el autor

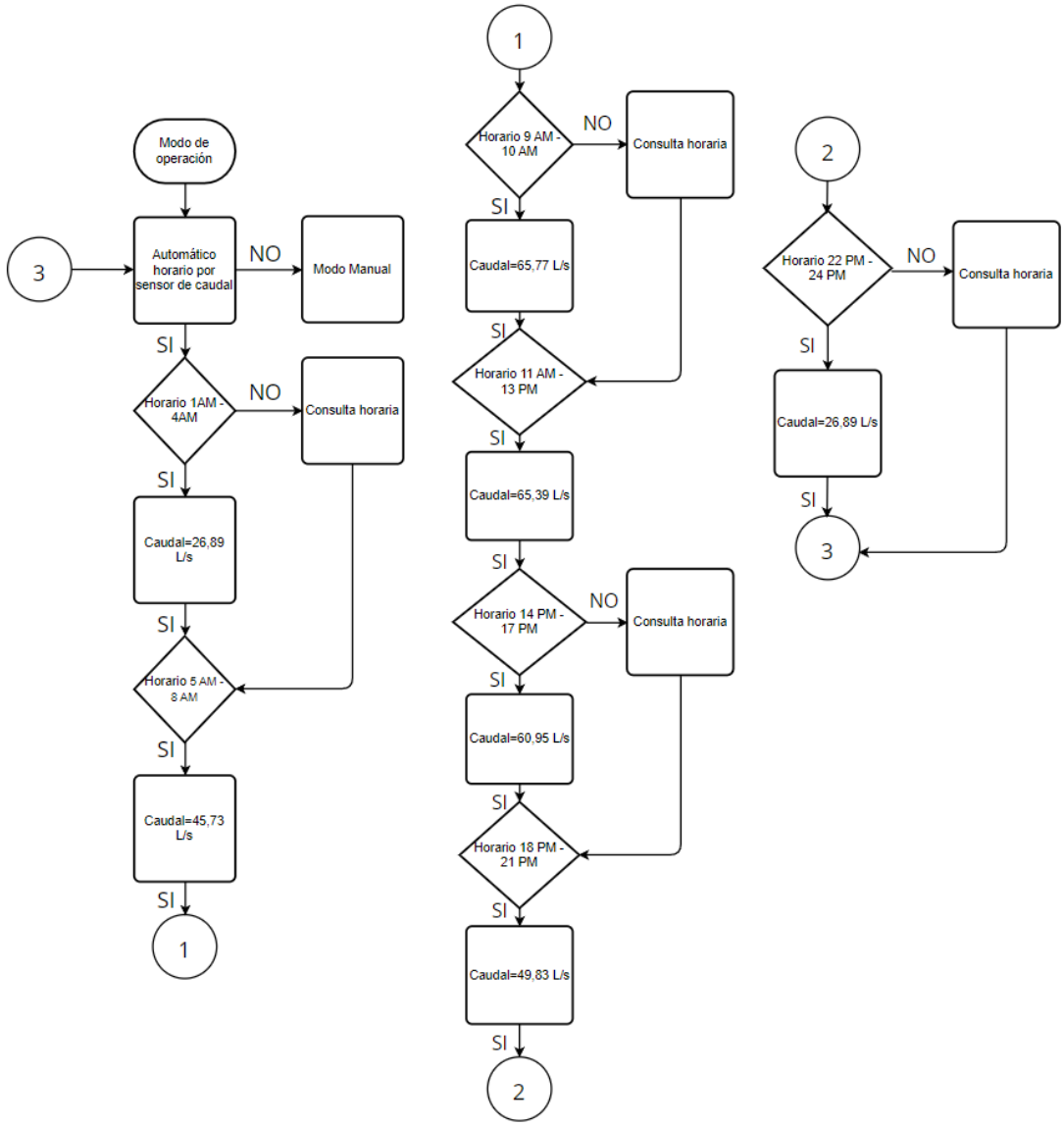
3.2.3.2. Modulación horaria por caudal.

La válvula de paso anular se ajusta automáticamente para lograr mantener un caudal de agua constante. Para ello, el sistema de control

emplea un lazo cerrado proporcional, integral, derivativo (PID), que emplea como retroalimentación la medida de caudal del actual equipo, cuya señal de 4 - 20 mA se extrae del caudalímetro instalado, mediante un cable de instrumentación que se introduce en el controlador PLC.

Figura 27

Diagrama de flujo de modulación por caudal



Elaborado por el autor

La **figura 27** describe el patrón de programación del caudal para alcanzar una presión cercana a 1 bar en un punto crítico. Con el fin de evitar posibles fluctuaciones en el arranque del actuador y garantizar la estabilidad de la modulación de la válvula de control, se recomienda una histéresis de caudal del 5%. Este valor debe ajustarse en el lugar de trabajo en función del

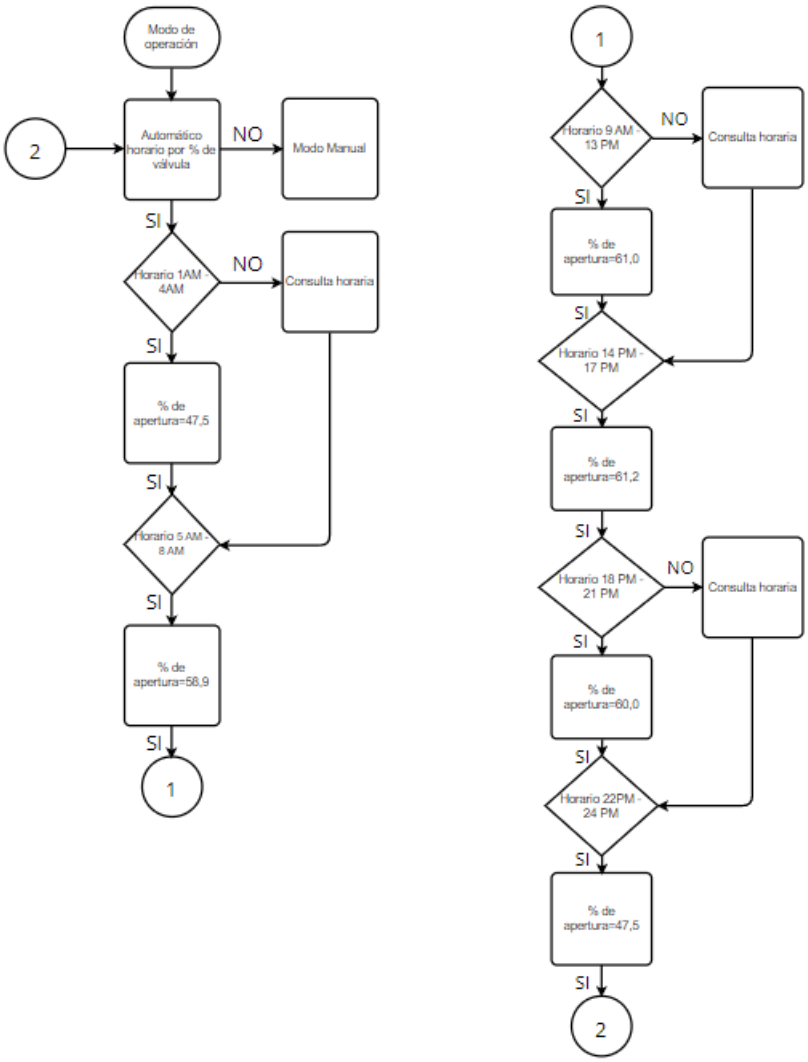
comportamiento del sistema. En caso de que la señal de caudal falle por paro o esté fuera del rango de 4 a 20 mA, el sistema deberá modificar el tipo de modulación a control de política de tiempo por presión de salida.

3.2.3.3. Modulación horaria por posición en % de la válvula*.*

En esta modalidad, se parametriza el grado de apertura de la válvula de tipo mariposa (ver **figura 28**) expresado en porcentaje de 0 a 100%, siendo su valor el que determina la posición de la válvula. Es decir que, tras introducir la parametrización, el controlador accionará la válvula hasta la posición de abierto o cerrado. Se sobreentiende que, si la válvula tiene un porcentaje de apertura del 100%, está completamente abierta, de igual forma si el grado de apertura equivale al 0% entonces el elemento está totalmente cerrado.

Figura 28

Diagrama de flujo de modulación por posición % de válvula



Elaborado por el autor

Esta alternativa de modulación se mantendrá operativa hasta que sea modificada por el operador desde el HMI o sistema SCADA.

3.2.4. Apagado de grupo de bombeo.

La desactivación de los grupos de bombeo se lleva a cabo cuando la bomba alcance el periodo continuo de funcionamiento establecido por el personal de operaciones una vez que la estación esté en operativa. En caso de una falla en los grupos de bombeo que requiera apagar un grupo específico, la alarma correspondiente permanecerá activa. Esta alarma impedirá volver a encender el grupo de bombeo hasta que se resuelva o se reinicie tanto desde el panel de operador como desde el sistema SCADA. En situaciones donde la instrumentación de campo falle, se determinará la parada de los grupos de bombeo según las necesidades de la estación de bombeo.

3.2.5. Habilitación/deshabilitado de grupo de bombeo.

El sistema incluirá la capacidad de habilitar y deshabilitar grupos de bombeo según sea necesario. Estos comandos son ejecutados desde el panel de operador y desde las representaciones gráficas en la pantalla de condición de bombas del sistema SCADA. Esto posibilita retirar bombas de servicio, ya sea para llevar a cabo mantenimiento o reparar fallos en el sistema.

3.3. Modelado del Sistema automatizado

Para el modelo del sistema de automatización, se utilizará el Lenguaje de Modelado Unificado (UML). Esta herramienta facilita la representación de cada acción y función del sistema desde la perspectiva del operador hasta el sistema de control final. El modelado integral del sistema contribuye a una mejor comprensión, especialmente considerando la complejidad inherente a los procesos y variables involucrados en su funcionamiento.

3.3.1. Diagrama de casos de uso.

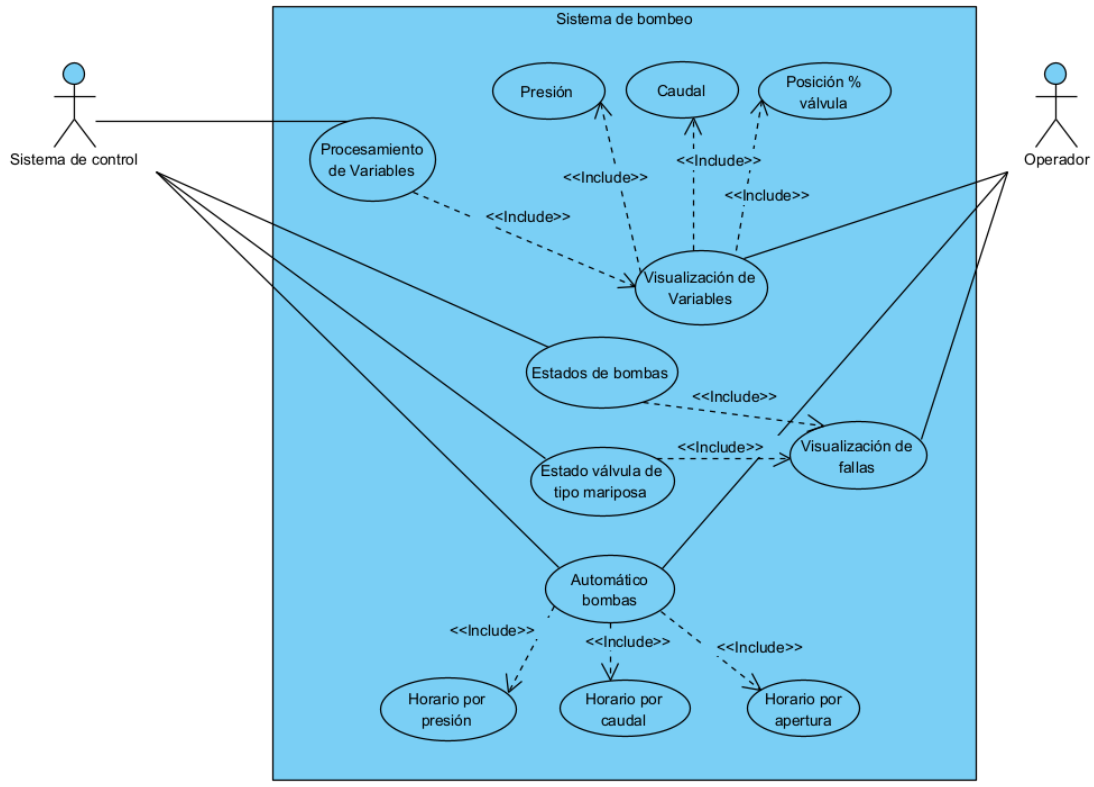
En el sistema de automatización de la estación de bombeo se contemplan todas las funciones tanto principales como secundarias, que se analizarán en el diagrama de casos de uso. En el sistema de bombeo, se

examinan dos actores principales: el operador y el sistema de control. Esta fase presenta dos modos de operación distintos: el modo manual, donde el actor principal es el operador o la persona a cargo del sistema, y el modo automático, donde el actor principal es el sistema de control, en este caso, el PLC.

Las funciones llevadas a cabo por el operador en este proceso se ejecutan en el modo manual del sistema, ya que dependerá del juicio y la experiencia del mismo para operar según las necesidades presentes. Por otro lado, el sistema de control opera en el modo automático, siendo el controlador responsable de supervisar el funcionamiento de las bombas y las válvulas, tal como se ilustra en la figura de la **figura 29**.

Figura 29

Diagrama de casos de uso del sistema de bombeo



Elaborado por el autor

En este contexto, el sistema de control se encarga del procesamiento de las variables involucradas en esta fase, con el objetivo de garantizar un suministro constante de agua sin fluctuaciones. Además, se encarga de

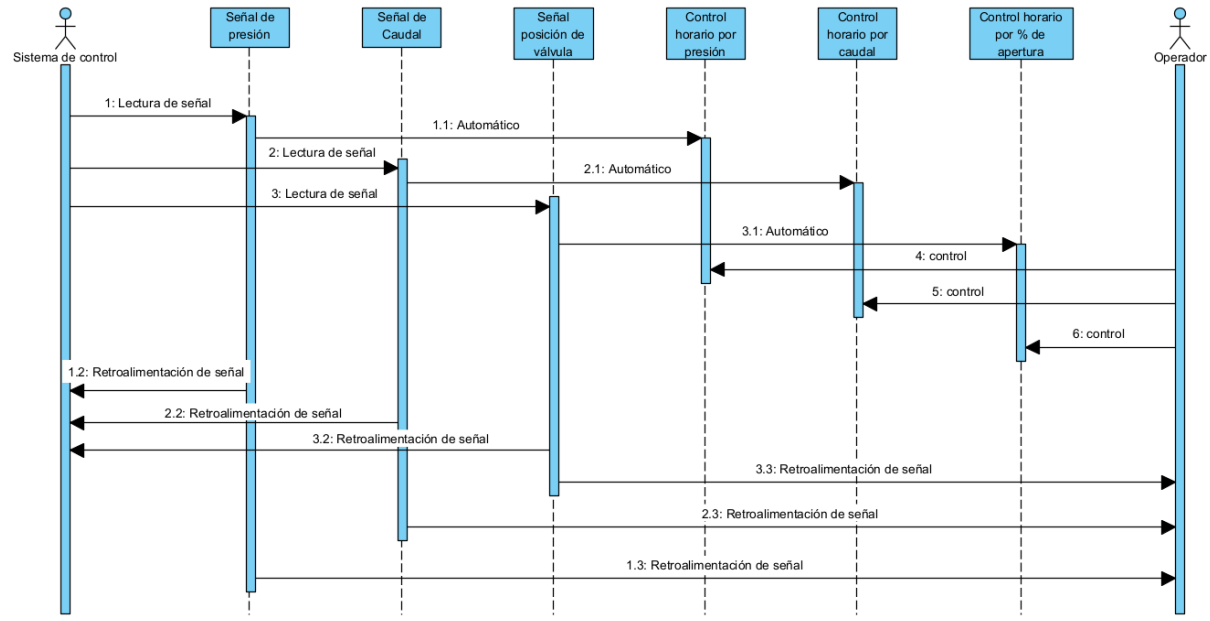
analizar el estado de las bombas y la válvula para asegurar un funcionamiento eficiente del sistema.

3.3.2. Diagrama de secuencia.

Como se explica en la sección anterior, el proceso del sistema de bombeo cuenta con dos actores principales, el sistema de control y el operador. Para el sistema de control es el encargado de la lectura y el procesamiento de las variables, estas son de presión, caudal y % de apertura de válvula, una vez verificadas estas variables el sistema de control podrá ser capaz de funcionar en el modo de operación según sea necesario a través del control por presión, caudal o posición de la válvula, a diferencia del operador que será el encargado de controlar las variables antes mencionadas en base a su experiencia y/o necesidad, en esto se basara la operación manual del proceso, así como lo indica la **figura 30.**

Figura 30

Diagrama de secuencia del sistema de bombeo



Elaborado por el autor

3.3.3. Diagramas de estado.

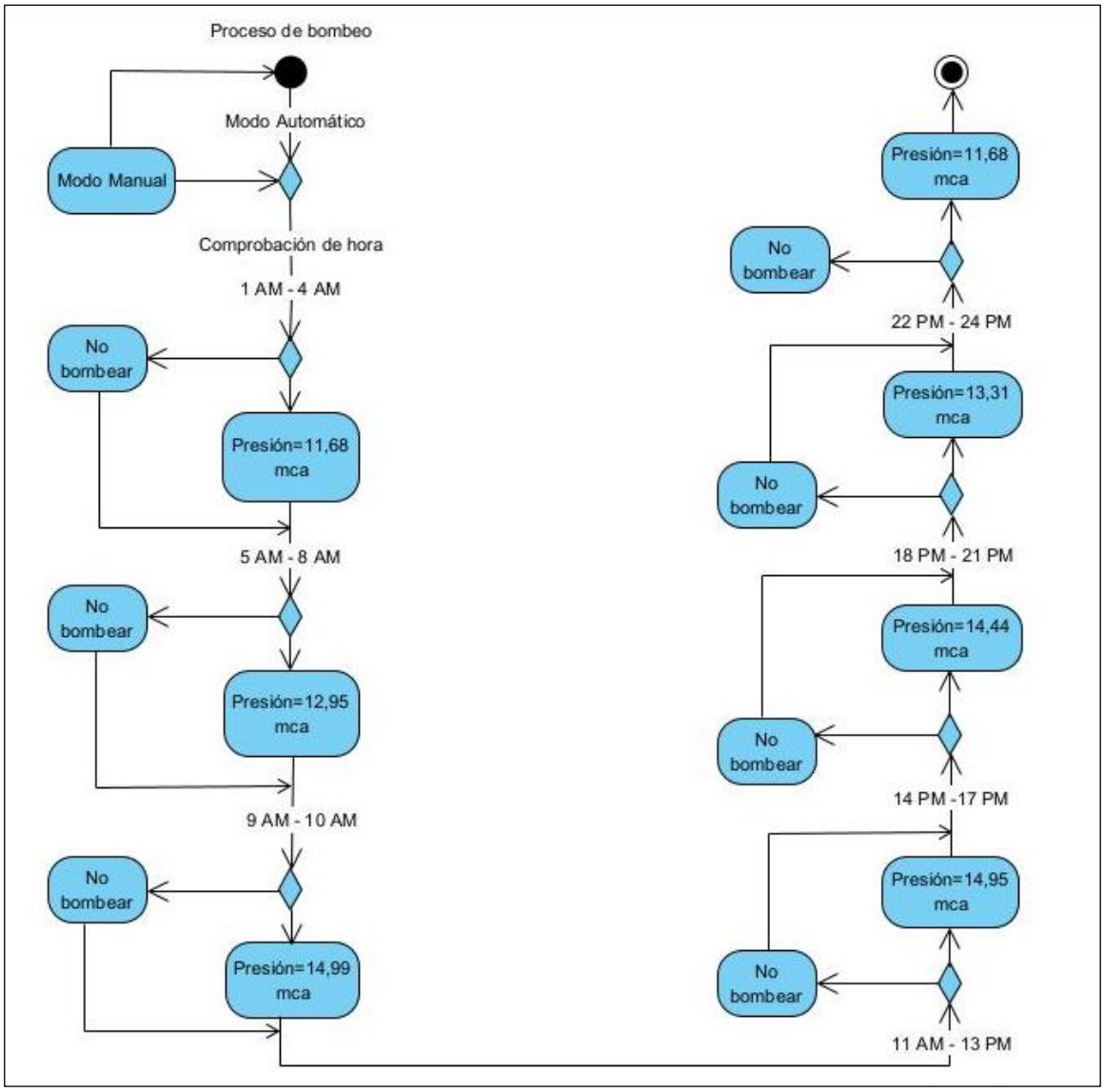
Se detallan a continuación los diagramas de estado de los procesos a estudiar.

- ✓ **Modulación horaria por presión.** En el caso del proceso de modulación por presión se hace un análisis de las funciones principales

que es el bombeo dependiendo de la variable de control horario. Cuando el sistema se pone en marcha, el sistema debe realizar la lectura de las variables de control y luego proceder con la distribución de acuerdo al control horario, dicho proceso se realiza en un lazo cerrado de control donde se está constantemente leyendo las variables para realizar la distribución de acuerdo a la presión, como se muestra en la **figura 31.**

Figura 31

Diagrama de estado de la modulación por presión



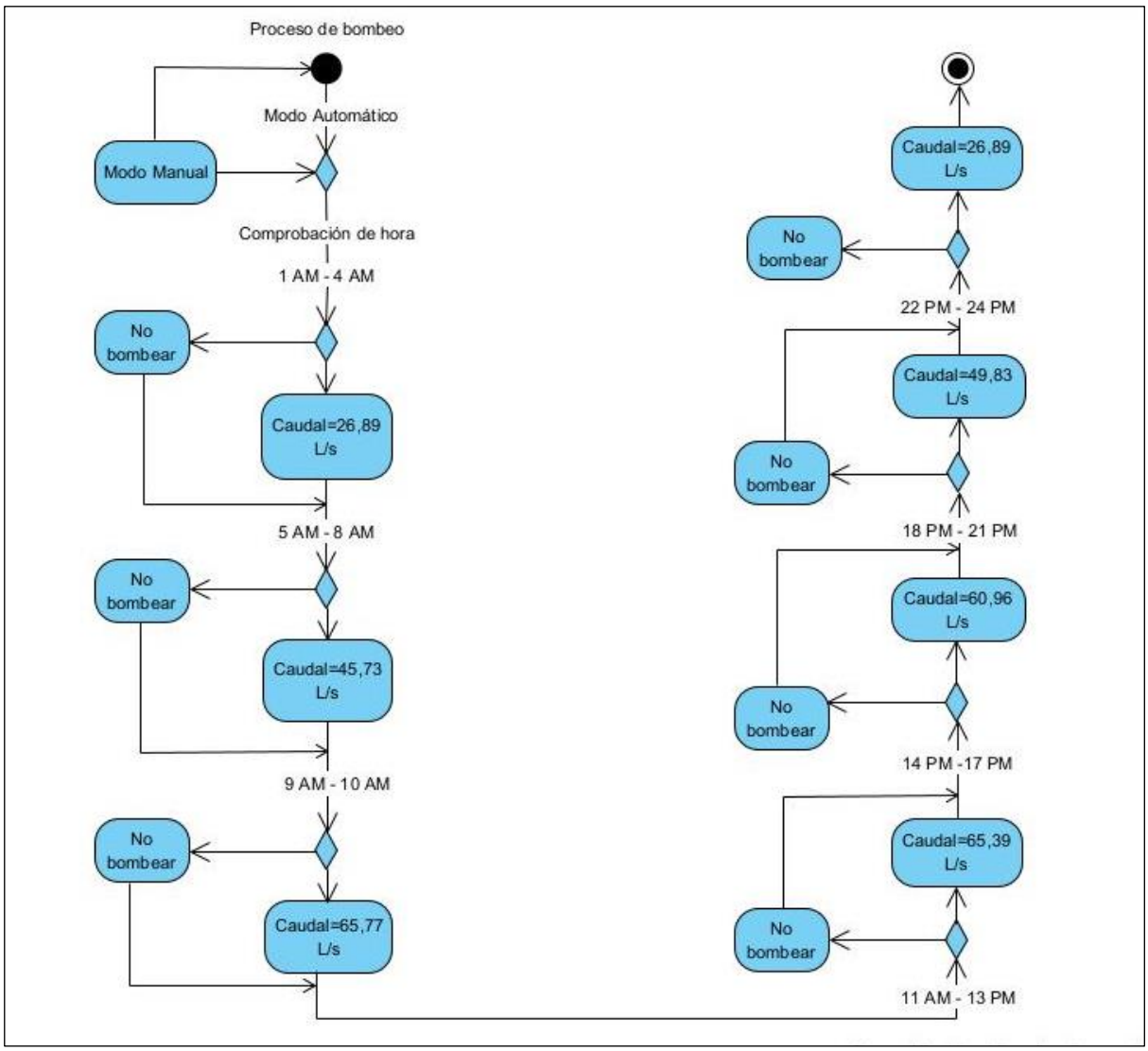
Elaborado por el autor.

- ✓ **Modulación horaria por caudal.** Como ya se ha definido, una vez iniciado el modo automático el sistema es el cargador para leer las variables de control, para este proceso, al igual que el anterior, la

variable principal es el control horario. Una vez que el sistema procesa esta señal se encarga de bombear de acuerdo al caudal requerido. La solicitud de lectura de esta variable es continua, como se muestra en la **Figura 32.**

Figura 32

Diagrama de estado de la modulación por caudal

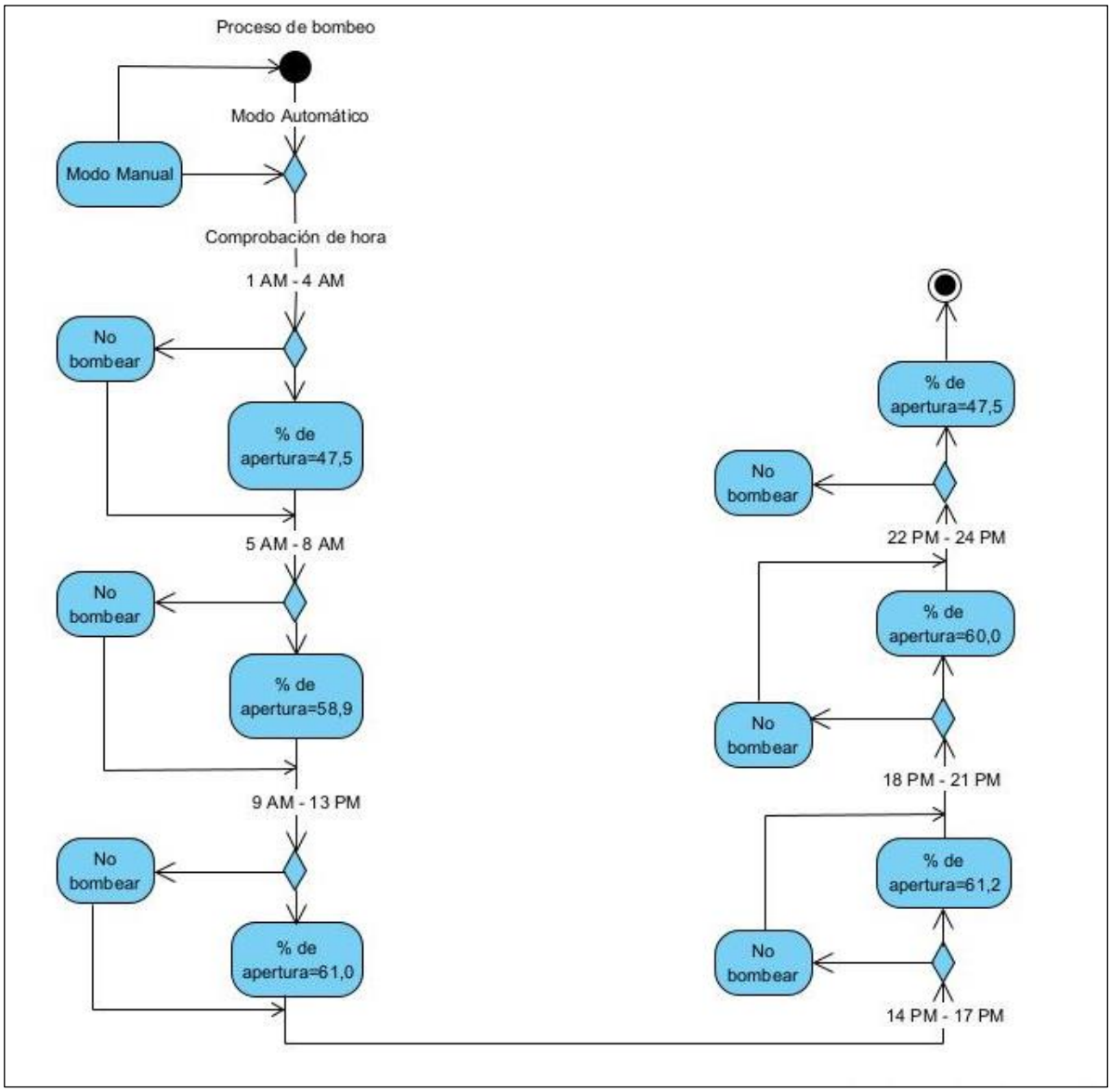


Elaborado por el autor

- ✓ **Modulación horaria por posición en % de la válvula.** Cómo se detalló en los diagramas anteriores la variable principal sigue siendo el control horario, pero en este caso en caso de fallas de señal de presión y caudal, nuestro sistema procederá a manejarse con un % de apertura que permitirá mantener una presión cercana a 1 bar, como se detalla en la **figura 33.**

Figura 33

Diagrama de estado de modulación por % de apertura



Elaborado por el autor

3.4. Modelado de redes Petri

En este trabajo de investigación se modela el proceso de modulación por presión, caudal y % de apertura de la válvula junto con los modos de operación y las condiciones que requiere cada proceso.

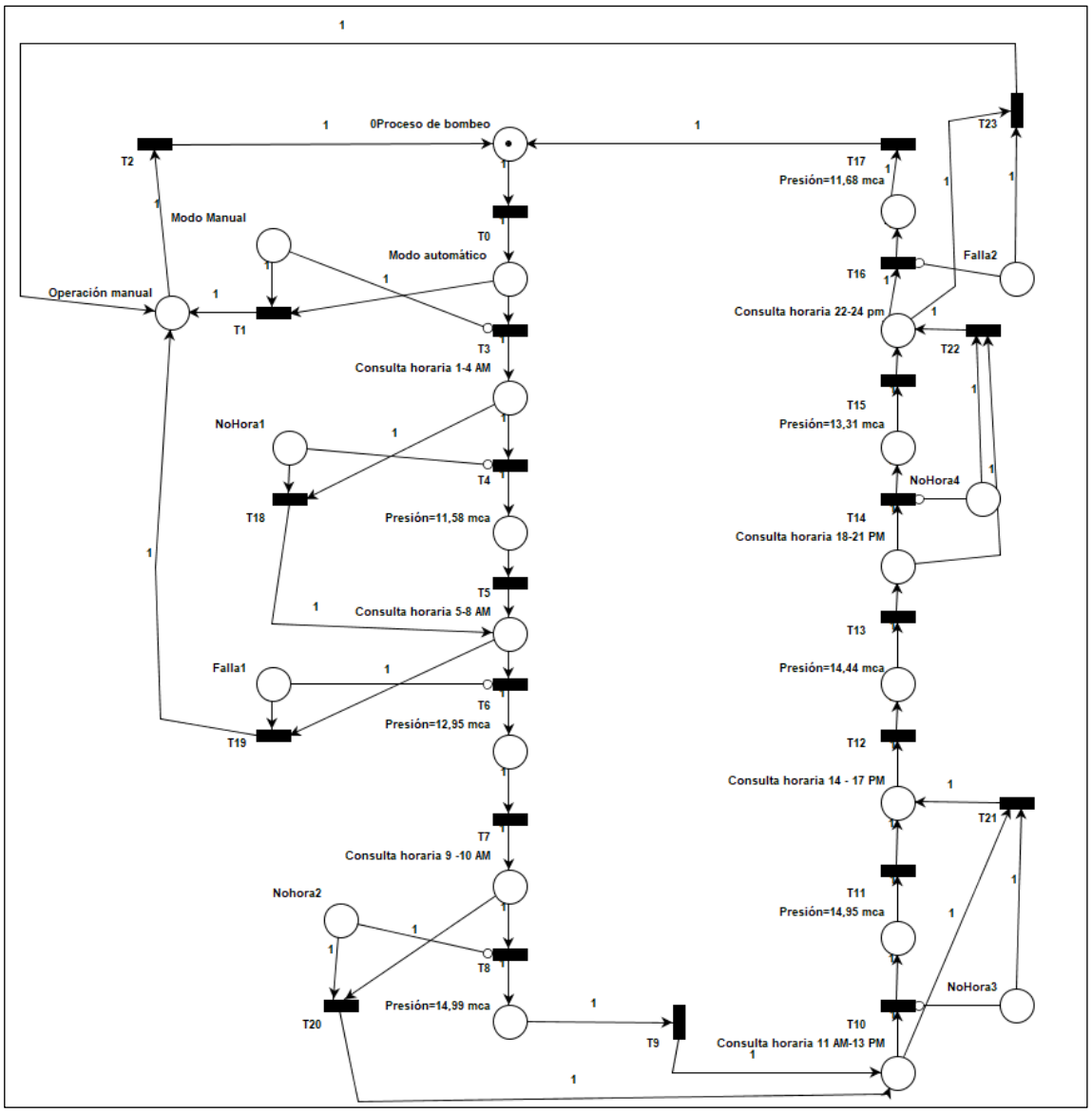
3.4.1. Red de Petri de la modulación por presión.

En la **figura 34** se puede observar la red de Petri de este tipo de modulación dónde los actores principales del proceso son el modo automático

y manual. En cuanto al modo automático la variable a intervenir es el control horario, y de acuerdo a eso relacionará con la presión que deberá entregar.

Figura 34

Red de Petri de modulación por presión



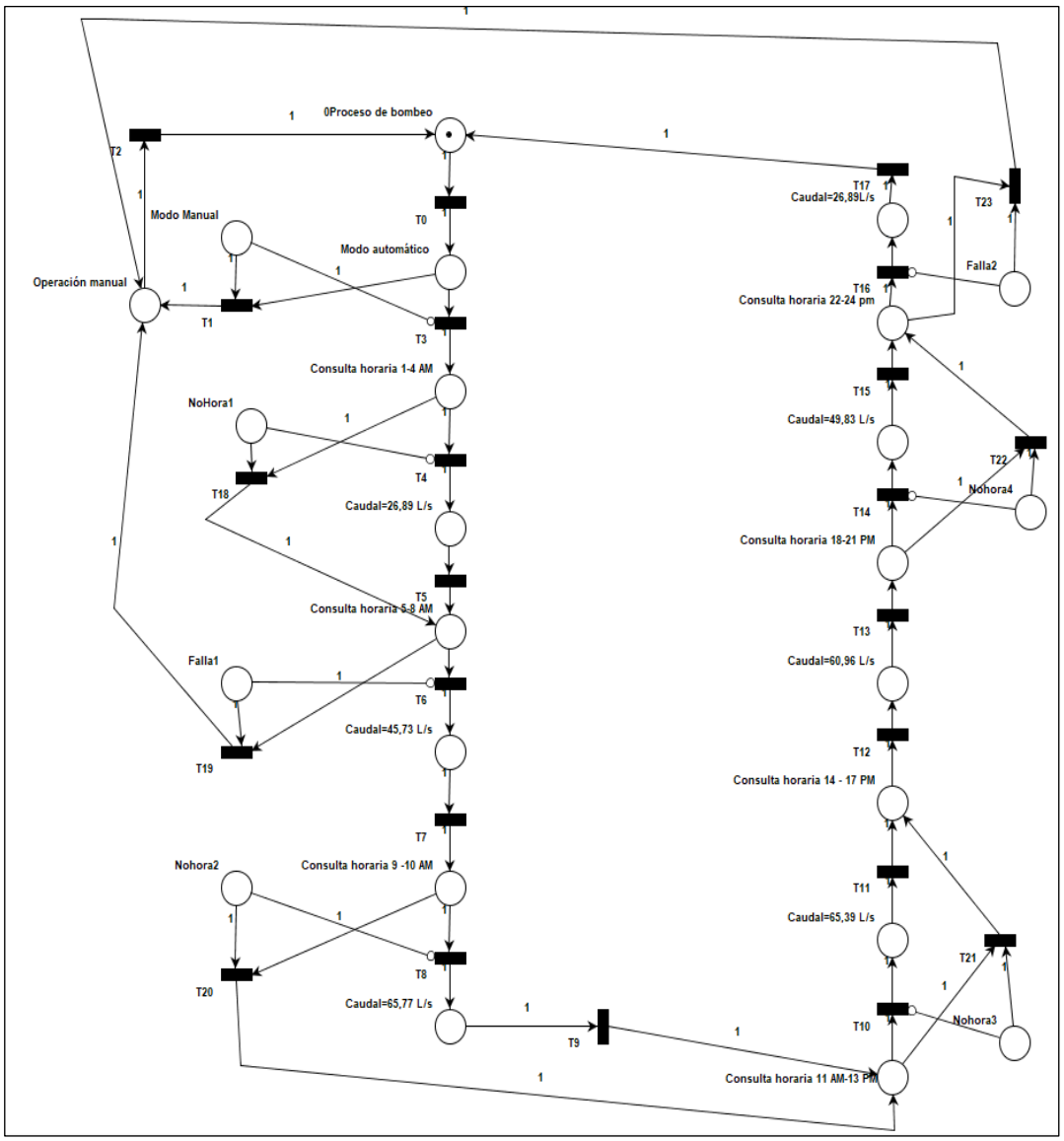
Elaborado por el autor

3.4.2. Red de Petri de la modulación por caudal.

Al igual que en el modulado por presión, en la **figura 35** se detalla la red de Petri dónde contará con los mismos actores principales antes mencionados. Pero la intervención de la variable del control por horas permitirá al sistema entregar un caudal fijo para cada hora en caso de que, el sistema deba proceder a trabajar con este.

Figura 35

Red de Petri de modulación por caudal



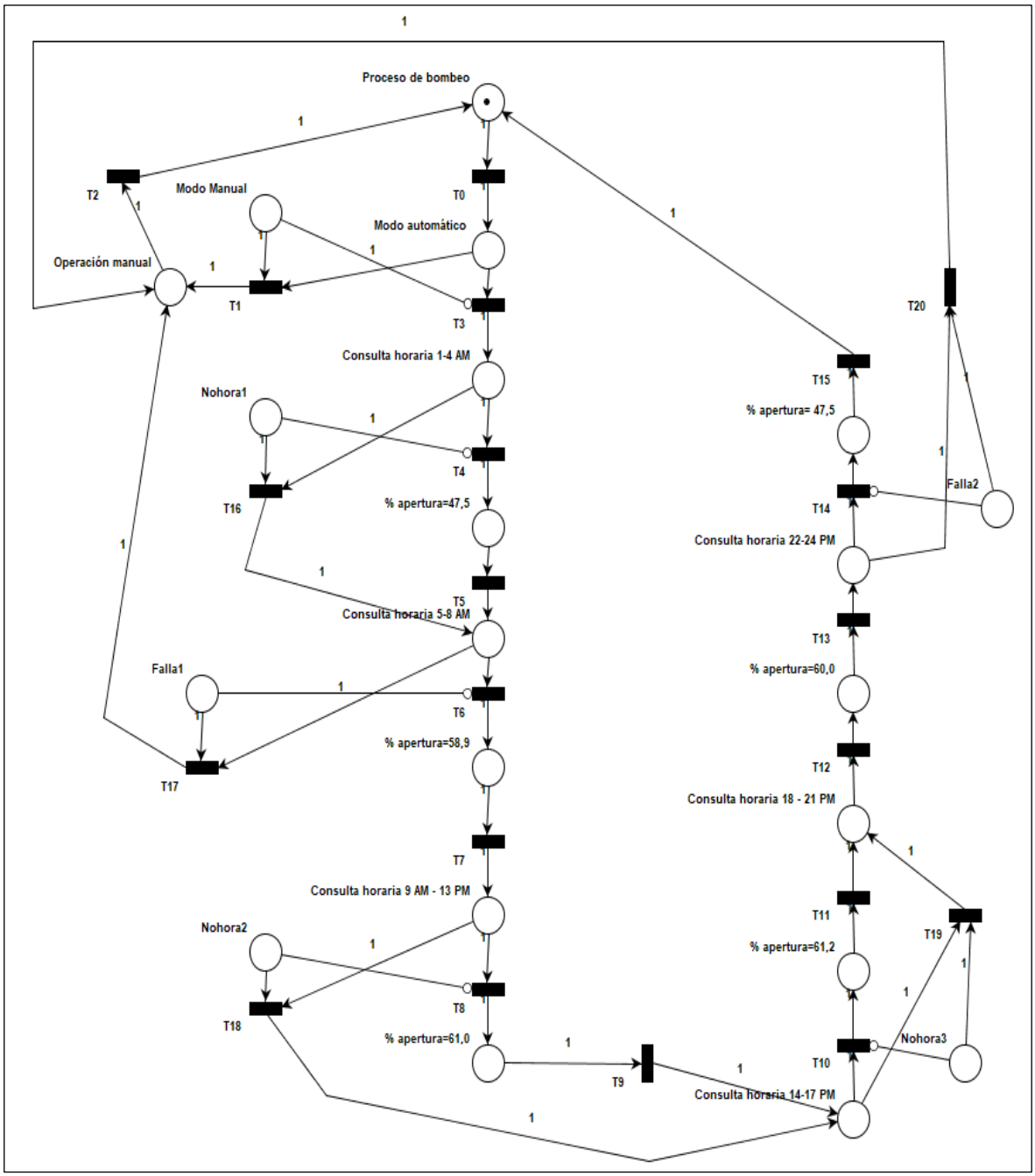
Elaborado por el autor

3.4.3. Red de Petri de la modulación por % de apertura de válvula.

El proceso en la modulación por % de válvula trabaja básicamente de la misma manera que los dos anteriores. En este caso en el modo manual cómo se indicó anteriormente el operador es el responsable del cierre o apertura de las válvulas de acuerdo a su necesidad y en el modo automático siguiendo la lógica de control que de acuerdo a las variables de control horario el controlador deberá apertura o cerrar la válvula de acuerdo a los horarios establecidos como se observa en la **figura 36.**

Figura 36

Red de Petri de modulación por % de apertura de válvula



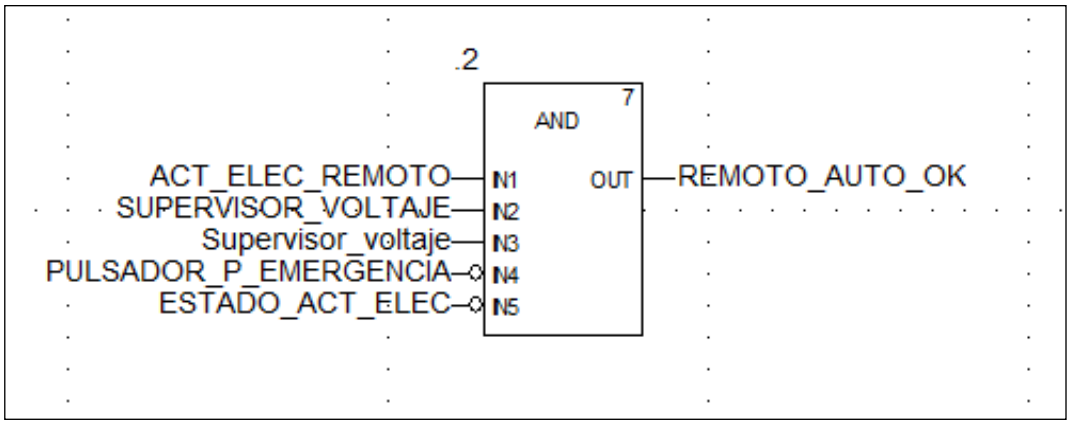
Elaborado por el autor.

3.4.4. Descripción de la programación del PLC

La programación del Controlador Lógico Programable (PLC) se alinea con la condición de que el sistema esté operando en modo automático. Para que el PLC entre en este estado, no deben registrarse ninguna de las anomalías previamente especificadas en la sección sobre el funcionamiento automático, conforme se detalla en la **figura 37**.

Figura 37

Condiciones en modo operación automático

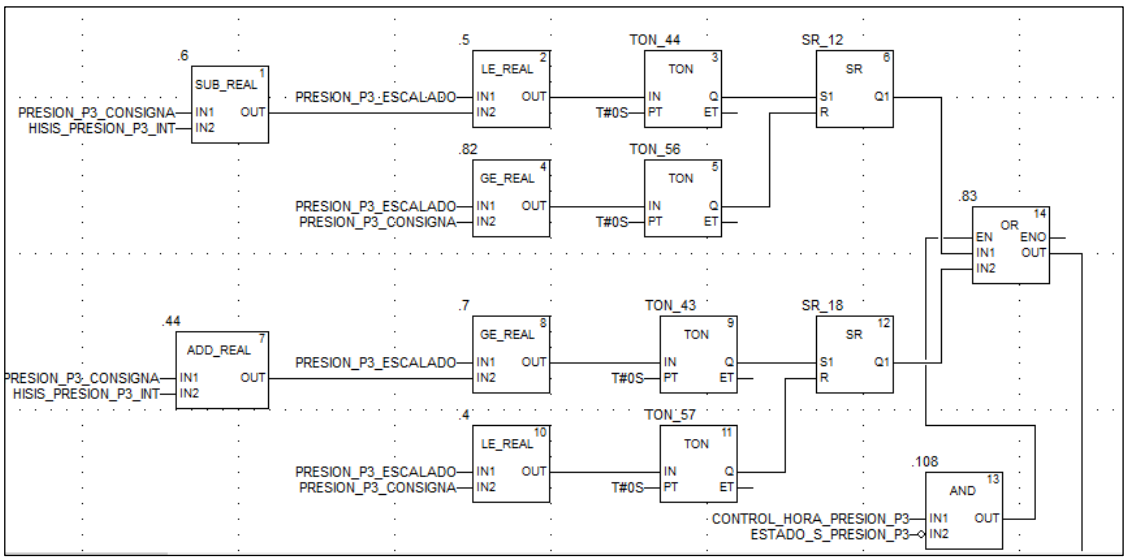


Elaborado por el autor.

Se llevarán a cabo comparaciones ascendentes y descendentes tanto para caudal como para presión, contrastando los valores introducidos en nuestro sistema con los requisitos establecidos. Esto se realizará considerando las variaciones horarias de presión y caudal, y los resultados de estas comparaciones influirán en la configuración del sistema PID manual. Este sistema determinará los ajustes de los variadores de frecuencia para regular la velocidad de las bombas según sea necesario.

Figura 38

Diagrama de bloques modulación por presión



Elaborado por el autor.

3.4.5. Análisis de resultados.

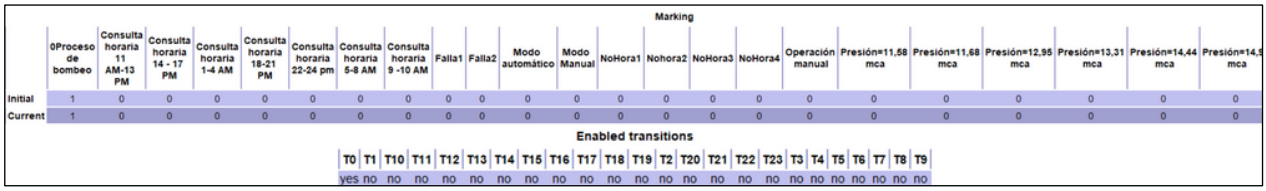
En base a la simulación de las redes de Petri de los procesos indicados anteriormente, se analizará los resultados obtenidos en el software PIPE

3.4.5.1. Análisis del proceso de modulación por presión.

i. **Incidencia y Marcado:** en la figura 37 se puede observar el marcado y habilitación de las transiciones al comienzo en el proceso de bombeo mediante la señal de consulta horaria, en la que solo "proceso de bombeo" tiene un token y T0 están habilitadas. De este modo, se demuestra que en ninguno de los lugares habrá más de un token, es decir, que la red es binaria.

Figura 39

Marcado y Transición Habilitada-Modulación por presión



Marking

	0Proceso de bombeo	Consulta horaria 11 AM-13 PM	Consulta horaria 14 - 17 PM	Consulta horaria 1-4 AM	Consulta horaria 18-21 PM	Consulta horaria 22-24 pm	Consulta horaria 5-8 AM	Consulta horaria 9 -10 AM	Falla1	Falla2	Modo automático	Modo Manual	NoHora1	Nohora2	NoHora3	NoHora4	Operación manual	Presión=11,58 mca	Presión=11,68 mca	Presión=12,95 mca	Presión=13,31 mca	Presión=14,44 mca	Presión=14,9 mca
Initial	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Enabled transitions

T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Elaborado por el autor

ii. **Análisis de invariantes:** para esto es necesario el uso de la ecuación del modelado matemático que se obtuvo a partir de la modulación por presión. Gracias a la formula se muestra que es una red binaria, lo que quiere decir que garantizara que en todo ningún momento del proceso se obtendrá o ubicaran más de dos tokens por lugar, en caso de que esto suceda se obtiene una red insegura ya que estaría infringiendo la propiedad de limitación.

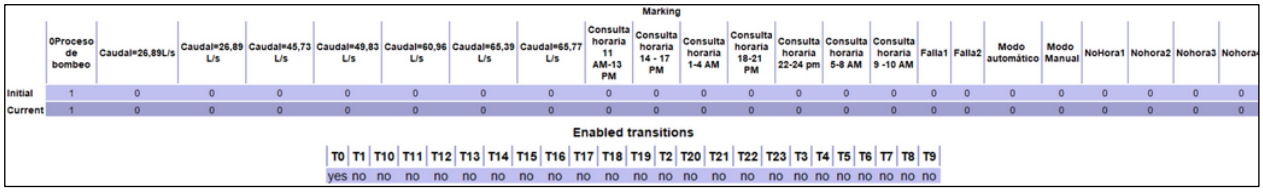
M(0Proceso de bombeo) + M(Consulta horaria 11 AM-13 PM) + M(Consulta horaria 14 - 17 PM) + M(Consulta horaria 1-4 AM) + M(Consulta horaria 18-21 PM) + M(Consulta horaria 22-24 pm) + M(Consulta horaria 5-8 AM) + M(Consulta horaria 9 -10 AM) + M(Modo automático) + M(Operación manual) + M(Presión=11,58 mca) + M(Presión=11,68 mca) + M(Presión=12,95 mca) + M(Presión=13,31 mca) + M(Presión=14,44 mca) + M(Presión=14,95 mca) + M(Presión=14,99 mca) = 1

3.4.5.2. Análisis de resultado de la modulación por caudal.

i. **Incidencia y marcado:** el inicio del proceso se muestra en la figura 38 en la cual “Proceso de bombeo” tiene un token y T0 se encuentra habilitada, demostrando que no habrá ningún lugar con más de dos tokens.

Figura 40

Marcado y Transición Habilitada-Modulación por caudal



Marking

	0Proceso de bombeo	Caudal=26,89L/s	Caudal=26,89 L/s	Caudal=45,73 L/s	Caudal=49,83 L/s	Caudal=60,96 L/s	Caudal=65,39 L/s	Caudal=65,77 L/s	Consulta horaria 11 AM-13 PM	Consulta horaria 14 - 17 PM	Consulta horaria 1-4 AM	Consulta horaria 18-21 PM	Consulta horaria 22-24 pm	Consulta horaria 5-8 AM	Consulta horaria 9 -10 AM	Falla1	Falla2	Modo automático	Modo Manual	NoHora1	Nohora2	Nohora3	Nohora4
Initial	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Enabled transitions

T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T21	T22	T23	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Elaborado por el autor

ii. **Análisis de invariantes:** para esto es necesario el uso de la ecuación del modelado matemático que se obtuvo a partir de la modulación por caudal. Gracias a la formula se muestra que es una red binaria, al ofrecer como resultado 1 garantizará un modelado de seguro de red.

M(0Proceso de bombeo) + M(Caudal=26,89L/s) + M(Caudal=26,89 L/s) + M(Caudal=45,73 L/s) + M(Caudal=49,83 L/s) + M(Caudal=60,96 L/s) + M(Caudal=65,39 L/s) + M(Caudal=65,77 L/s) + M(Consulta horaria 11 AM-13 PM) + M(Consulta horaria 14 - 17 PM) + M(Consulta horaria 1-4 AM) + M(Consulta horaria 18-21 PM) + M(Consulta horaria 22-24 pm) + M(Consulta horaria 5-8 AM) + M(Consulta horaria 9 -10 AM) + M(Modo automático) + M(Operación manual) = 1

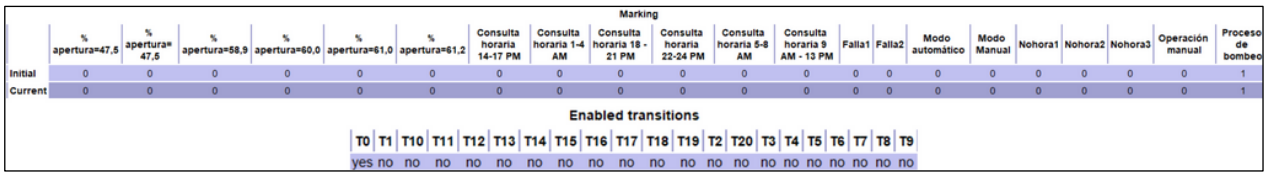
3.4.5.3. Análisis de resultado de la modulación por % de apertura de válvula.

i. **Incidencia y marcado:** en la figura 39 se detalla la habilitación y marcado de transiciones, como en los análisis anteriores el inicio del proceso en este caso de la modulación por % de apertura de

válvula, solo tiene un token y t0 está habilitada, demostrando que ningún lugar tendrá más de un token.

Figura 41

Marcado y Transición Habilitada-Modulación por % de apertura de válvula



Marking

	% apertura=47,5	% apertura= 47,5	% apertura=58,9	% apertura=60,0	% apertura=61,0	% apertura=61,2	Consulta horaria 14-17 PM	Consulta horaria 1-4 AM	Consulta horaria 18 - 21 PM	Consulta horaria 22-24 PM	Consulta horaria 5-8 AM	Consulta horaria 9 AM - 13 PM	Falla1	Falla2	Modo automático	Modo Manual	Nohora1	Nohora2	Nohora3	Operación manual	Proceso de bombeo
Initial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Current	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Enabled transitions

T0	T1	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T2	T20	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
yes	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no

Elaborado por el autor

ii. **Análisis de invariantes:** en cuanto al análisis invariante, se procede a analizar la ecuación resultante de la modelización propuesta y el modelo resulta ser una red binaria, es decir, que en ningún punto del proceso se genera más de un token por lugar, haciendo del modelo un sistema fiable y seguro.

M(% apertura=47,5) + M(% apertura= 47,5) + M(% apertura=58,9) + M(% apertura=60,0) + M(% apertura=61,0) + M(% apertura=61,2) + M(Consulta horaria 14-17 PM) + M(Consulta horaria 1-4 AM) + M(Consulta horaria 18 - 21 PM) + M(Consulta horaria 22-24 PM) + M(Consulta horaria 5-8 AM) + M(Consulta horaria 9 AM - 13 PM) + M(Modo automático) + M(Operación manual) + M(Proceso de bombeo) = 1

3.5. Presentación de resultados.

Durante la realización de esta investigación, se pudo explorar una gran cantidad resultados y para ello, se procederá a realizar un proceso de análisis para poder presentar las estrategias implementadas con mayor claridad, reflexionar y profundizar los conocimientos obtenidos y utilizados que han impactado en el proyecto en cuestión. Cabe mencionar, que los resultados obtenidos alcanzaron los valores correctos estimados previamente, lo cual, demuestra de manera clara, la correcta automatización y mejora del sistema previamente mencionado, la cual, se logró gracias a sistemas modelados los cuales mejorarían el control de la planta de la potabilizadora de agua.

3.5.1. Resultado de modelo.

El desarrollo del proyecto se lo realizó gracias a una herramienta en la cual se está utilizando, el modelado UML, el cual, nos permite desarrollar un mayor entendimiento de las actividades a realizar por los actores principales los cuales identificamos como el sistema de control principales y los operadores (trabajadores). También, mediante el uso de otra herramienta llamado sistema de secuencia el cual nos permite ver mediante un diseño gráfico mejorar la descripción del sistema operativo su eficiencia, y permite reducir los errores de los procesos generando una mayor productividad.

Todo el sistema y diagrama serán representados mediante un sistema de redes de Petri que nos permitirá observar el funcionamiento total de todos los procesos. Estas actividades se realizarán mediante la ayuda de los softwares PIPE y Visual paradigm los cuales nos dará el acceso a las propiedades de las redes en cuestión de los modelados.

3.6. Discusión de los Resultados esperados

Los resultados obtenidos mediante el desarrollo de la investigación total son mostrados.

3.6.1. Cumplimiento de los objetivos.

En el presente proyecto, se presentará el cumplimiento y obtención de todos los objetivos y resultados deseados al inicio de la investigación.

3.6.1.1. Cumplimiento del objetivo general.

Se obtuvo un nuevo diseño y se logró el estudio para el sistema de automatización para el bombeo de agua potable de la parroquia rural de Posorja, el cual, mejora la eficiencia del sistema actual, la confiabilidad del servicio reduciendo el costo de trabajo, el cual, tendrá un gran impacto beneficiando a la comunidad objetivo.

3.6.1.2. Cumplimiento de los objetivos específicos

- Se logró realizar un estudio exhaustivo sobre las demandas y necesidad de la Parroquia Posorja donde se pudo obtener los

requisitos exactos de los valores de presión y caudal necesarios para poder tener un sistema de bombeo de agua que pueda satisfacer las necesidades de la población.

- Se desarrolló un modelado de un sistema de control automatizado en base al estudio antes mencionado que pueda satisfacer de manera precisa las necesidades detectadas empleando tecnología como HMI, SCADA, PLC, PIPE y demás. Que permitirá un suministro eficiente de agua a la población objetivo.
- Se pudo realizar con éxito simulaciones efectivas mediante softwares útiles que permitieron obtener una visión más real de las variables criticas del sistema, permitiéndonos optimizar el rendimiento del sistema y mediante una mejora de la misma garantizar la funcionalidad del sistema completo para que cumpla con todos sus objetivos.

3.7. Análisis de la metodología de investigación

Para el desarrollo total de la investigación de este proyecto se escogió un planteamiento de la metodología de tipo correlación, la cual, nos permitirá mediante el uso de pruebas, bases, experimentos y citas bibliográficas la propuesta de planteamientos científicos, físicos y prácticos. Los cuales, nos ayudarán a elaborar un desarrollo de los experimentos y pruebas de nuestro sistema con un enfoque cuantitativo que nos dará una mayor facilidad al momento de analizar los resultados de los mismos. Estos experimentos se darán en base a modelos UML y demás simulaciones en softwares de preferencia que permitirá el desarrollo progresivo y efectivo de esta investigación dándonos así, el cumplimiento de los objetivos propuestos.

3.8. Análisis del cumplimiento de funciones

Para la realización de este proyecto incluyendo sus investigaciones totales y sus experimentos y pruebas prácticas se presentó un desarrollo usando un sistema anteriormente mostrado, el cual tiene funciones primordiales. Este sistema cumple con ser un sistema SCADA el cual se encuentra supervisado por un sistema central el cual está encargado de las funciones y características principales para el sistema completo. Los

controladores se encuentran en una conexión con un tipo de arquitectura descentralizada. Cada uno de los controladores tiene cierto grado de autonomía, pero, aun así, tienen canales de comunicación con el sistema central para poder obtener una retroalimentación total del sistema. Este tipo de arquitectura mejora la fiabilidad y flexibilidad del sistema de control.

Los procesos modelados son de tipo UML, donde, se obtuvo 3 tipos de diagramas, casos de uso, de secuencia y de estados. Estos ayudan a realizar una descripción en detalle a todos y cada uno de los procesos contando también, las funciones y características presentes en nuestro sistema total. Estas funciones fueron simuladas y diagramadas el uso de la herramienta de la red de Petri, la cual nos permite comprobar el correcto funcionamiento de todas y cada una, de las funciones, variables y demás. Las características antes mencionadas fueron estudiadas a profundidad para poder así asegurar el correcto desarrollo de cada uno de los procesos presentes en nuestro sistema y de esta manera, estos sean seguros y eficientes. De esta manera, podremos asegurar una distribución constante y eficiente de recursos hídricos.

3.9. Análisis del problema de investigación

La problemática antes mencionada la cual trata sobre la automatización de una planta encargada en el bombeo de agua potable para la parroquia de Posorja, utilizando tecnologías de vanguardia como lo son, PLC, Petri, SCADA y demás, se realizó mediante el proceso del modelado de un sistema automatizado que mejore el control de nuestro sistema a estudiar. Se realizaron mediante un proceso de desarrollo y análisis los posibles métodos de soluciones con el uso de redes de Petri y UML, donde se pudo mejorar y optimizar el sistema para que así, este pueda convertirse en uno más eficiente, flexible y completo, para que así, pueda satisfacer todas las necesidades encontradas y postuladas al inicio del estudio de este proyecto. El proyecto se realizó con una visión económica viable para la población y de esta manera, no sea necesaria una gran inversión y así también permita mejorar y ayudar a esta población en esta problemática.

3.10. Valores obtenidos del sistema

Se llevó a cabo un estudio en sitio utilizando equipos de medición. Se empleó el análisis de la curva del motor y determinar sus capacidades en términos de presión, caudal, entre otros aspectos relevantes. Por otro lado, los equipos de medición se utilizaron para verificar la calidad de la presión en el punto más alto del sistema y determinar su idoneidad para el propósito previsto.

Gracias al estudio a detalle se logra un sistema automatizado capaz de controlar por sí mismo variables como la presión, caudal y % de apertura de válvula, lo que permite demostrar un antes y después del sistema de automatización como se detalla en las siguientes tablas 1 y 2. Teniendo en cuenta que el valor sin regulación son datos aproximados de la estación de bombeo antes de contar con los debidos controles y parametrización para su debida automatización.

Tabla 1

Comparación de resultados obtenido por presión

Tiempo	Presión (mca)		Tiempo	Presión (mca)	
(horas)	Sin automatización	Con automatización	(horas)	Sin automatización	Con automatización
1	20,59	11,68	**13**	14,60	14,95
2	22,33	11,68	**14**	15,47	14,44
3	23,20	11,68	**15**	15,09	14,44
4	23,58	11,68	**16**	15,72	14,44
5	23,32	12,95	**17**	16,08	14,44
6	21,58	12,95	**18**	15,83	13,31
7	17,21	12,95	**19**	15,35	13,31
8	16,22	12,95	**20**	14,84	13,31
9	15,46	14,99	**21**	15,35	13,31
10	14,72	14,99	**22**	16,22	11,68
11	14,34	14,95	**23**	16,73	11,68
12	14,09	14,95	**24**	18,22	11,68

Elaborado por el autor

Tabla 2

Comparación de resultados obtenidos por caudal

Tiempo	Caudal (L/s)		Tiempo	Caudal (L/s)	
(horas)	Sin automatización	Con automatización	(horas)	Sin automatización	Con automatización
1	39,12	26,89	**13**	64,97	65,39
2	41,57	26,89	**14**	62,25	60,96
3	42,80	26,89	**15**	61,77	60,96
4	43,34	26,89	**16**	62,56	60,96
5	59,41	45,73	**17**	63,02	60,96
6	57,07	45,73	**18**	53,05	49,83
7	51,26	45,73	**19**	52,43	49,83
8	49,95	45,73	**20**	51,77	49,83
9	66,36	65,77	**21**	52,43	49,83
10	65,45	65,77	**22**	33,04	26,89
11	64,66	65,39	**23**	33,74	26,89
12	64,35	65,39	**24**	35,80	26,89

Elaborado por el autor

La automatización con regulación por horarios en una estación de bombeo mejora la eficiencia, la confiabilidad y la gestión de recursos, logrando un suministro de agua más consistente y sostenible.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se llevó a cabo un análisis exhaustivo del caudal y la presión del agua necesarios para satisfacer las demandas de la Parroquia Rural de Posorja. Este análisis consideró las necesidades específicas de la comunidad, así como los horarios y patrones de consumo de agua.
- Este sistema se desarrolló para optimizar el funcionamiento de las bombas y las válvulas, asegurando un flujo de agua eficiente y confiable en todo momento. Además, se establecieron protocolos de seguridad y procedimientos de emergencia para garantizar la protección del sistema y la comunidad.
- La simulación también proporcionó información valiosa sobre la eficacia y la eficiencia del sistema, lo que permitió realizar ajustes y mejoras según fuera necesario.
- Sin un debido control y automatización del sistema de bombeo el uso del recurso hídrico puede resultar descontrolado.

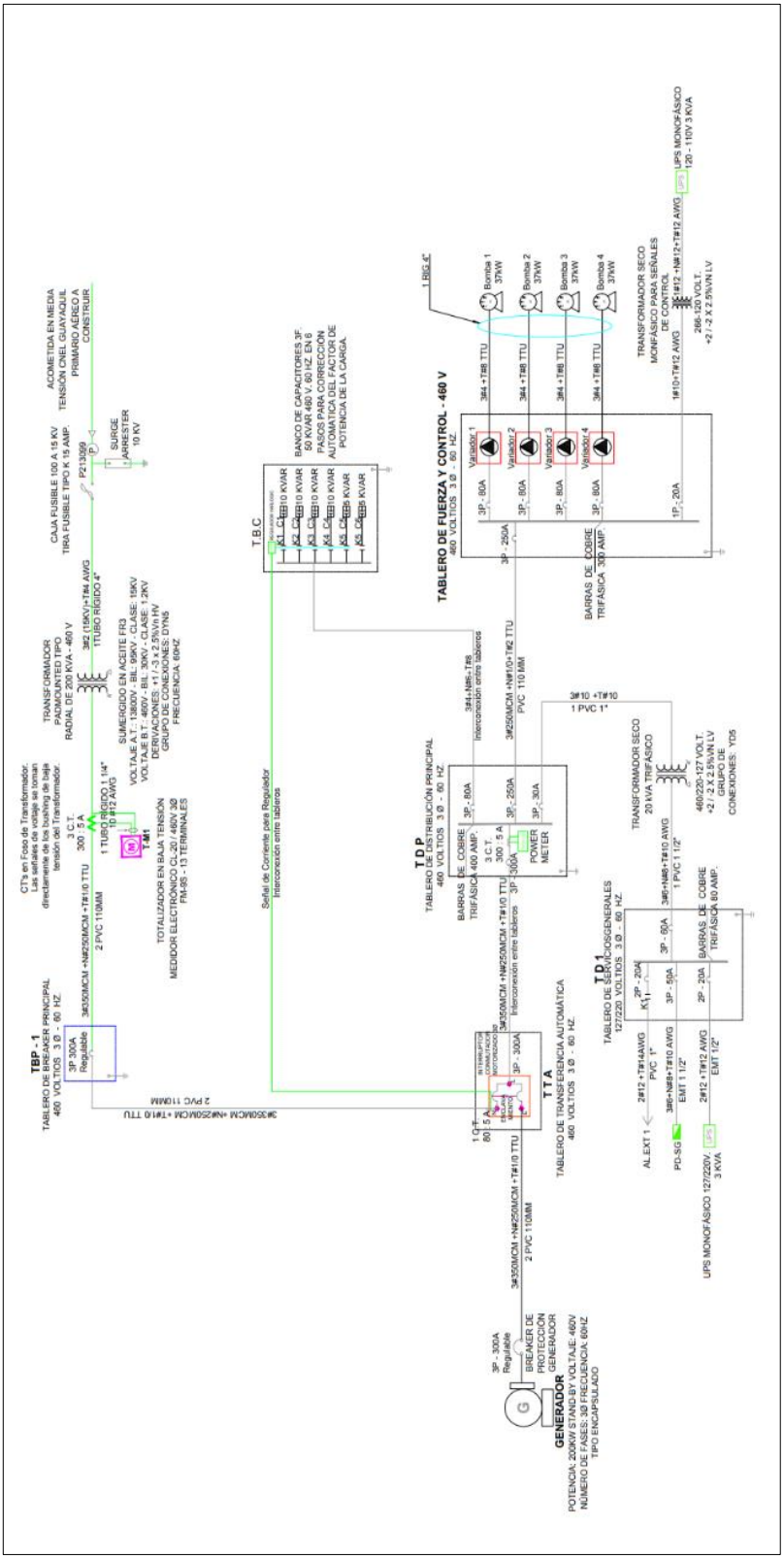
4.2 Recomendaciones

- Se debe utilizar programables abiertos que permitan realizar un análisis profundo de modelos con los mismos. Estos programas deben de ser prácticos y sencillos de aprender.
- Uso de gráficos o simulaciones que permitan entender de mejor manera los procesos, actividades y recursos necesarios para el correcto desarrollo de sistemas complejos utilizados en industrias.
- Estudiar nuevas tecnologías que permitan mejorar, arreglar o simplificar los procesos desarrollados en el sistema actual, para implementar futuras automatizaciones que simplifiquen el desarrollo continuo del sistema de bombeo.
- Realizar un estudio a profundidad de las necesidades del sistema a automatizar ya que, de esta depende el estudio correcto del proyecto en desarrollo.

ANEXOS

Anexo a

Plano eléctrico de la energización del sistema



Elaborado por el autor

Referencias

Almachi Ch., J. W., & Naranjo B., E. A. (2021). *Desarrollo de un sistema SCADA para una estación de bombeo de agua a presión constante*. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Álvarez P., J. E. (2022). *Implementación de una arquitectura de red, como aporte a la gestión de seguridad informática del hotel «San Pablo» de la provincia de Santa Elena.* [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/59969

Amores Silva, I., Chávez Estrada, M., & Miranda Ramos, M. (2018). Diseño, implementación y control para un banco de pruebas con bombas centrífugas en conexión y paralelo. *Científica*, *22*(1), 51-59. Redalyc.

Aparicio B., A. (2022). *Implementación de un Sensor de Nivel en el Tanque Industrial 334HP9004 en Minera Panamá Área de Flotación Columnas* [Universidad Antonio Nariño]. http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/7633/2/2023_AlvaroAparicioBecerra.pdf

Atiaja S., I. R. (2023). *Sistema de telegestión para el control del consumo eléctrico mediante una red IOT en la facultad de ingeniería en sistemas, electrónica e industrial de la Universidad Técnica de Ambato.* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/38413/1/t2235te.pdf

Barrionuevo P., L. M., & Villamarín G., S. J. (2021). *Diseño de un módulo de entrenamiento para un sistema de bombeo de agua a presión constante para el centro de capacitación «CEPROIN» en la ciudad de Latacunga*

[Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/8127/1/PI-001761.pdf

Belaño R., J. V., & Lascano F., C. O. (2022). *Diseño de un sistema SCADA para la adquisición de datos en medición de pérdidas primarias y secundarias en un sistema de flujo.* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9292

Bonilla V., A. G. (2020). *Diseño y simulación de un impulsor centrífugo radial semi abierto para bombas de torbellino* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6766/1/T-001553.pdf

Cafaggi Félix, A. A., Rodal Canales, E. A., & Sánchez Huerta, A. (2021). *Sistemas de bombeo*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.ingenieria.unam.mx/deptohidraulica/publicaciones/pdf_publicaciones/Sistemas-de-bombeo-(dig-2021)-1.pdf

Calero O., G. F., & Romero C., C. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de control maestro-esclavo, para repotenciar un módulo de prácticas en el laboratorio de automatización de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayas, basado en la red industrial Profibus.* [Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil]. https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19458

Castro Valencia, D. M., Asprilla Lara, Y., & Lizcano Caro, J. A. (2023). Soluciones basadas en la naturaleza: Abastecimiento de agua en las zonas rurales del Medio Atrato -Chocó. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, *20*(1), 95-113.

Centro Zaragoza. (2023, febrero 2). *Sensores universales de presión de neumáticos QUICK FIT de Bosch*. https://revistacentrozaragoza.com/sensores-universales-de-presion-de-neumaticos-quick-fit-de-bosch/

Chuquín Vasco, N. S., Chuquín Vasco, J. P., & Chuquín Vasco, D. A. (2020). *Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrífugas: Vol. 1era Edición*. Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador.

Crespo D., N. E. (2022). *Diseño e implementación de módulos de red MODBUS/TCP entre tres automatas programables para arranque de motor trifásico de manera local, remoto y lectura de sensores.* [Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23840

Danilo I., Q. L., & Steven F., T. T. (2022). *Implementación de un sistema de comunicación mediante protocolo MODBUS RTU para la obtención de parámetros eléctricos de una estación fotovoltaica de 3KW.* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9485

Daza Pepinos, L. A. (2023). *Desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la estación de bombeo de Punyaro de la empres municipal de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Otavalo.* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37528/1/Tesis%20I.M.%20740%20-%20Daza%20Pepin%C3%B3s%20Luis%20Antonio.pdf

De la Rosa M., T., & León G., J. L. (2023, mayo). La gestión por procesos desde la coordinación de la carrera de Sistemas de Información. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, *6*(2), 189-197.

D-Link. (2023, noviembre 25). Switch Industrial Gigabit Sin Gestión. *D-Link Latinamerica*. https://la.dlink.com/la/switches/switches-industriales/

Eaton. (2023, diciembre 12). *Arrancadores suaves S811+/S801*. https://www.eaton.com/mx/es-mx/catalog/machinery-controls/s811--s801--soft-starters.html

Endress, & Hauser. (2023, diciembre 12). *Medición de nivel capacitiva Liquicap FMI51*. Productos Endress. https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/medicion-nivel-capacitiva-adherencias?t.tabId=product-overview

Ferreira G., A. M. (2019). *Alcance del efecto de flujo transiente en redes de distribución de agua potable de distintas topologías para la detección de fugas* [Universidad de los Andes]. http://hdl.handle.net/1992/45657

Gallegos Cuenca, A. D., & Toaquiza Curco, D. R. (2022). *Diseño de un sistema SCADA para la adquisición de datos en la determinación de curvas características en bombas de torbellino conectadas en serie y paralelo.* [Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9345

Guananga N., E. J., & Vivas D., W. R. (2022). *Comparación de protocolos de comunicación para internet de las cosas (IOT)* [Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23315/1/UPS%20-%20TTS948.pdf

Li, L., Rong, S., Wang, R., & Yu, S. (2020). Recent advances in artificial intelligence and machine learning for nonlinear relationship analysis and process control in drinking water treatment: A review. *Chemical Engineering Journal*, *405*, 126673. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126673

Lucino, C. V., Liscia, S., & Galíndez, J. M. (2022). *Bombas, estaciones de bombeo y acueductos* (1era. Edición). Universidad Nacional de La Plata (EDULP).

Macias Q., J. J. (2021). *Implementación de una red de datos de alta velocidad bajo estándar 802.9 para la comunicación de los dispositivos informáticos en el Decanato de la Facultad de Ciencias Técnicas* [Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM)]. http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3036/1/MACIAS%20QUIROZ%20JIMENA%20JAZMIN.pdf

Maldonado R., V. A. (2021). *Desarrollo de un servidor de datos industrial con protocolo MODBUS TCP para los 8 códigos de función básicos* [Escuela Politécnica Nacional]. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21515/1/CD%2011008.pdf

Marcillo L., W. S. (2021). *Análisis del modelado UML en el diseño y desarrollo del Software de calidad*. Universidad Estatal del Sur de Manabí (UNESUM).

Martínez, L. A. B., & Almarales, D. A. Z. (2023). Automatización de procesos en la industria 4.0. *Revista de Investigación Formativa: Innovación y Aplicaciones Técnico - Tecnológicas*, *5*(1), Article 1. https://doi.org/10.34070/rei.v5i1.408

Mercado S., L. T., & Mendoza C., C. S. (2021). *Sistema automatizado para el proceso de facturación de la tienda «Litos» ubicada en la ciudad de Jinotepe, departamento de Carazo.* [Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua]. http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/16565

Miranda L., K. A. (2020). *Diseño e implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control multiprotocolo en un módulo demostrativo portátil* [ESPE - Universidad de las Fuerzas Armadas]. http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21898

Moreno, E. G. (2020). *Automatización de Procesos Industriales.* Universitat Politècnica de València.

Muñoz A., P. (2019). *Simulación de Diagramas de Secuencia con la herramienta de modelado USE* [Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática]. https://hdl.handle.net/10630/19207

Navarrete, J. A. G., Ramírez, J. J. S., & Dávila, C. I. M. (2023). *Rediseño y simulación de un sistema de bombeo de agua potable de 60 m3/h para la junta de agua potable cuendina ubicada en la ciudad de quito-ecuador.* http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24490

Ortíz Lombana, M. A. (2021). *Diseño de un banco de pruebas para bombas hidráulicas centrífugas en configuración en serie, paralelo e individual.*

Pahuara Rojas, F. C. (2020). *Diseño e Implementación de Sistema Automatizado en Cuarto de Bombas para el Suministro de Agua Potable en Edificio Torres Paz*. Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica.

Panchi C., C. A. (2022). *Implementación del diagrama de estados del convertidor de protocolos MQTT-SN a MQTT utilizando UML* [Escuela Politécnica Nacional]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22707

Parra O., D. (2021). *Metodología para la determinación de protocolos de comunicación a nivel industrial a partir del ancho de banda y tipo de señal eléctrica*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Patiño M., F. Y. (2022). *Elaboración de diagramas de casos de uso*. Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia. https://doi.org/10.16925/gcgp.60

Polanía Reyes, C., Cardona Olaya, F., Castañeda Gamboa, G., Vargas, I. A., Calvache Salazar, O., & Abanto Vélez, W. (2020). *Metodología de la Investigación Cuantitativa y Cualitativa*. Institución Universitaria Antonio José Camacho.

Quispe Velasquez, W. (2022). *La importancia del PLC en la programación de las máquinas herramientas* [Universidad Nacional de Educación]. http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/8439

Ramirez F., O. I. (2023). *Estudio e implementación de un medidor inteligente para el control y monitoreo del consumo de agua potable a través de una red LPWAN* [Universidad Nacional de Loja]. https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/27650

Rivero Diaz, A. E. (2020). *Implementación de plan de mantenimiento en bombas centrífugas verticales para aumentar su vida útil, en proyecto de gran minería* [Univsersidad Continental]. https://hdl.handle.net/20.500.12394/8538

Rodríguez M., P. A. (2019). *Diseño y simulación de un sistema SCADA para el control y monitoreo de reservorios de agua potable usando un algoritmo de control mediante una red inalámbrica en Arequipa.* Universidad Católica de Santa María.

Samuel Medina, Joselito Medina-Marín, Oscar Montaño-Arango, & Manuel González-Hernández. (2022). Creación de Redes de Petri a partir de la descripción de procesos de negocios utilizando Python. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, *10*(Especial2). https://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial2.8673

Sánchez H., H. Y. (2022). *Plan de mantenimineto válvula de alivio principal de reactores de polimerización* [Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8969

Sensores de presión. (s. f.). *CZ Revista técnica de Centro Zaragoza*. Recuperado 30 de noviembre de 2023, de https://revistacentrozaragoza.com/tag/sensores-de-presion/

Serrano, E. J. (2022). Las redes de Petri y su adopción en programas de la Universidad de Sonora. *EPISTEMUS*, *16*(33), Article 33. https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.221

Solano Aguirre, J. C., & Morquecho Sanchez, M. E. (2020). *Diseño de un sistema de control para el bombeo de agua potable a presión contante.* [Escuela Superior Politécnica del Litoral.]. http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57233

Solis Toscano, J. R. (2020). *Establecimiento de Métodos y Técnicas de ahorro energético aplicado al proceso de secado de madera* [Universidad Técnica de Cotopaxi Facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas carrera en ingeniería electromecánica]. http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6857

Stauffer, B., & Spuhler, D. (2023, noviembre 14). *Captación de ríos, lagos y embalses (reservorios)*. https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/captacion/captacion-de-rios-lagos-y-embalses-8reservorios

Switches industriales. (s. f.). *D-Link Latinamerica*. Recuperado 30 de noviembre de 2023, de https://la.dlink.com/la/switches/switches-industriales/

Ushiña Ll., S. J., & Zambrano S., S. A. (2022). *Diseño y construcción de un banco de pruebas con sensores electrónicos de presión y caudal aplicado a sistemas de tuberías en serie y paralelo.* [Universidad Central del Ecuador]. http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/27118

Usquiza Cruz, B., Silva Ramírez, M., & Olivares Muñoz, S. V. (2022). Rendimiento de una bomba hidráulica prototipo a diferente diámetro de tubería y singularidades. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, *5*(1), 37-41. https://doi.org/10.25127/ucni.v5i1.887

Velazco Salazar, J. M. (2020). *Sistema SCADA para el proceso de potabilización en la planta de tratamiento de agua potable conocoto* [Universidad Técnologica Israel]. http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2431

Villacreses P., C. A., & Vargas Ch., J. R. (2020). *Diseño e implementación de maleta didáctica portatil y desarrollo de aplicaciones sobre automatización industrial utilizando un PLC MICRO 850 y HMI* [Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil]. http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20461

Zamora V., J. A. (2020). *Diseño de un sistema de automatización para un canal de riego* [Universidad de Los Andes]. https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/476b62e7-9330-405c-a5b0-4769a8b38d04/content

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Yela Villamar, Jeordana Brigitte** con C.C: # 0924175441 autora del Trabajo de Titulación: **Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad,** previo a la obtención del título de **INGENIERA EN ELECTRÓNICA 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, 14 de febrero del 2024

f. _____

Nombre: Yela Villamar, Jeordana Brigitte

C.C: 0924175441

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio de un sistema de bombeo inteligente para Posorja, utilizando HMI, SCADA, PLC, PIPE, VISUAL PETRI, para mejorar la calidad de vida de su comunidad.		
AUTOR(ES)	Jeordana Brigitte Yela Villamar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raul		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Electrónica en control y automatismo		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniera Electrónica en control y automatismo		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de febrero del 2024	**No. DE PÁGINAS:**	75
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de Automatización, Modelados Matemáticos, Sistemas de Control		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Estación de Bombeo, Agua Potable, Automatización, PLC, HMI, SCADA, Eficiencia Operativa.		

RESUMEN:

Este proyecto de tesis se orienta al planteamiento de un estudio para la optimización de una estación de bombeo de agua potable en la Parroquia de Posorja, Ecuador, a través de un sistema de control avanzado. Para ello se propone un diseño con tecnologías como PLC, HMI, SCADA, PIPE y redes de Petri para gestionar eficientemente cuatro bombas de agua. La investigación busca resolver retos como la escasez intermitente de agua y la carga física de los operadores. La automatización tiene por objetivo mejorar la eficacia operativa, ahorrar costes y garantizar una distribución uniforme del agua potable. La metodología se basa en un enfoque científico cuantitativo correlacional, con métodos bibliográficos y de simulación para analizar y modelar el sistema de control. Con este proyecto no sólo se pretende proponer un estudio detallado para la optimización local, sino también ofrecer un modelo replicable para sistemas similares, promoviendo el desarrollo sostenible y la gestión eficiente de los recursos hídricos. La investigación aborda la imperiosa necesidad de mejorar la calidad de vida de la comunidad y garantizar el suministro continuo de agua potable en el futuro.

ADJUNTO PDF:	☒ SI	☐ NO
CONTACTO CON AUTOR:	**Teléfono:** +593990468107	E-mail: jeordana.yela@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	**Nombre:** Ubilla González, Ricardo Xavier	
	Teléfono: +593 99 952 8515	
	E-mail: ricardo.ubilla@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):	