



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

EXAMEN COMPLEXIVO

Componente Práctico, previo a la obtención del Título de:

INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

“Diseño y simulación de la automatización del proceso de rebombeo de agua potable.”

AUTOR

ANNIABEL DE LA CARIDAD CARDET SARDUY

LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

Firmas de responsabilidad

Firma de Responsabilidad del Estudiante
Nombre: Anniabel de la Caridad Cardet Sarduy Cédula: 0961814332
 Firma

Firma de Responsabilidad del Profesor o Tutor Propuesto
Nombre: Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, MSc. Cédula: 1104610132
 Firmado electrónicamente por: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ Firma

Firma de Responsabilidad del Docente de Unidad de Integración Curricular II
Nombre: Ing. Carlos Alberto Saldaña Enderica, MSc. Cédula: 0914840947
 Firmado electrónicamente por: CARLOS ALBERTO SALDANA ENDERICA Firma

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I	9
1. FUNDAMENTACIÓN	9
1.1. ANTECEDENTES	9
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	10
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO	11
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	11
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	11
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	11
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO	12
CAPÍTULO II	14
2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	14
2.1.1. Estaciones de bombeo	14
2.1.2. Cisterna	14
2.1.3. Funcionamiento de las bombas centrífugas	14
2.1.4. Arrancadores suaves electrónicos	15
2.1.5. Sensores y transmisores	15
2.1.6. Controlador Lógico Programable (PLC)	16
2.1.7. Interfaz Hombre Máquina (HMI)	17
2.1.8. Topologías de Red	18
2.1.9. Protocolos de comunicación	19
2.1.10. Norma INEN 5 Parte 8: 1986 Sección VIII: Instalaciones Eléctricas	20
2.1.11. Código Eléctrico Nacional (NEC)	20

2.1.12.	SIMATIC IOT 2040	20
2.1.13.	NODE-RED	21
CAPÍTULO III		21
3.	METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA	21
3.1.	Metodología del proyecto	21
3.2.	Requerimientos del sistema de bombeo	22
3.3.	Selección del equipo de bombeo.....	24
3.4.	Dispositivos utilizados en el sistema automatizado de rebombeo de agua potable.	24
3.5.	Características de los dispositivos seleccionados.....	26
3.6.	Diagrama P&ID de la propuesta	36
3.7.	Protocolos de comunicación empleados en la propuesta.....	36
3.8.	Programación en el controlador PLC S7 1200 1214C AC/DC/Rly	37
3.9.	Diseño de Interfaz HMI	38
3.9.1.	Diagrama de Conexión del Panel HMI al PLC	46
3.10.	Diseño del SCADA.....	47
3.11.	Diseño de diagramas y tablero eléctrico del sistema	50
3.11.1.	Diseño del tablero eléctrico del sistema de bombeo.....	55
CONCLUSIONES		57
RECOMENDACIONES		58
BIBLIOGRAFÍA		59
ANEXOS		62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de las topologías de red [13]	18
Figura 2.	PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214 C AC/DC/RELÉ [19].....	26
Figura 3.	Transmisor de nivel SITRANS LU150 [19]	27
Figura 4.	HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN - 6AV21232GB030AX0 [20] 28	
Figura 5.	Bomba Centrífuga Pedrollo F 50/160 A [21]	29
Figura 6.	Interruptor de nivel flotador Flowline LV41 [22]	30
Figura 7.	Transmisor de presión Baumer [23]	31
Figura 8.	Arrancador suave electrónico WEG SSW050030T2246PPZ [24]	32
Figura 9.	Pulsadores, Pilotos y selectores marca SIRIUS ACT Línea Plástica [20].....	33
Figura 10.	SIMATIC IOT 2040 [20]	35
Figura 11.	Normalizado y Escalado de valores de presión y nivel obtenidos de los sensores 37	
Figura 12.	Pantalla principal de la Interfaz	38
Figura 13.	Pantalla de manejo y supervisión de disponibilidad de las bombas	39
Figura 14.	Pantalla de selección del modo de operación del sistema	40
Figura 15.	Pantalla de supervisión del nivel del tanque	41
Figura 16.	Pantalla de supervisión del estado de la cisterna	42
Figura 17.	Pantallas de supervisión del estado de las bombas en modo manual y automático. 43	
Figura 18.	Pantalla de administración de usuarios	44
Figura 19.	Pantalla de alarmas del sistema	45
Figura 20.	Pantalla de históricos del proceso	45
Figura 21.	Diagrama de conexiones del HMI al PLC	46

Figura 22.	Diagrama de conexiones del IOT 2040 al PLC	47
Figura 23.	Área de trabajo de Node Red	48
Figura 24.	SCADA del sistema de bombeo de agua potable	49
Figura 25.	Panel de control del sistema de bombeo en sistema SCADA.....	50
Figura 26.	Diagrama del Circuito de Fuerza del Sistema.....	51
Figura 27.	Diagrama de conexiones de entradas del PLC.....	52
Figura 28.	Diagrama de conexiones de entradas digitales al PLC.....	53
Figura 29.	Diagrama de conexiones de salida del PLC.....	54
Figura 30.	Diseño interior del tablero eléctrico del sistema de bombeo	55
Figura 31.	Puerta de tablero eléctrico del sistema.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Datos de utilidad para el dimensionamiento del sistema automatizado.	22
Tabla 2.	Características del PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214.....	26
Tabla 3.	Características del transmisor de nivel SITRANS LU150	27
Tabla 4.	Características del HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN.....	28
Tabla 5.	Características de la bomba Pedrollo F 50/160 A	29
Tabla 6.	Características del interruptor de nivel FLOWLINE LV41	30
Tabla 7.	Características del transmisor de presión Baumer.....	31
Tabla 8.	Características del arrancador suave SSW050030T2246PPZ	32
Tabla 9.	Características de elementos accionadores.....	33
Tabla 10.	Dispositivos de protección y arranque	34
Tabla 11.	Características del SIMATIC IOT 2040	35

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1.	Curva de datos y prestaciones de la bomba Pedrollo F 50/160A	62
ANEXO 2.	Tablas de comparación de equipos para el sistema automatizado.	63
ANEXO 3.	Diagrama de conexión del interruptor de nivel.....	65
ANEXO 4.	Diagrama de entradas y salidas del arrancador suave WEG SSW050045T2246PPZ.....	66
ANEXO 5.	Diagrama P&ID del sistema automatizado de rebombeo de agua potable. 67	
ANEXO 6.	Diagrama de protocolos de comunicación presentes en el sistema automatizado de rebombeo de agua potable.....	68
ANEXO 7.	Diagrama de flujo modo de operación del sistema.....	69
ANEXO 8.	Diagrama de flujo habilitación de bomba.....	70
ANEXO 9.	Diagrama de flujo comparación de niveles.....	71
ANEXO 10.	Diagrama de flujo modo manual.....	72
ANEXO 11.	Diagrama de flujo modo automático.....	73
ANEXO 12.	Diagrama de flujo rutina tanque vacío	74
ANEXO 13.	Diagrama de flujo rutina tanque medio.....	75
ANEXO 14.	Diagrama de flujo rutina bomba 1.....	77
ANEXO 15.	Diagrama de flujo rutina bomba 2.....	78
ANEXO 16.	Distribución de pantallas en HMI	79
ANEXO 17.	Leyenda de la variable de entrada al PLC.....	80
ANEXO 18.	Dimensiones del tablero eléctrico del sistema	81
ANEXO 19.	Circuito de mando del sistema	82

RESUMEN

Fundamentación: Transformar un proceso que se lleva a cabo de manera convencional, a uno automatizado, usando las bondades que proporcionan equipos como el Controlador Lógico Programable, permite obtener procesos más eficientes y mejor controlados. Es por ello que este proyecto se centró en automatizar el proceso de rebombeo de agua potable, empleando la alternancia de bombas en la regulación del caudal de agua, lo que conlleva a un ahorro del recurso hídrico. **Objetivo:** Diseñar y simular un sistema de control y automatización de bombas alternantes en estaciones de rebombeo de agua potable mediante el control de nivel de agua, para el empleo de sistemas de bombeo más eficientes y enfocados en el ahorro del recurso hídrico. **Método:** En la realización del presente proyecto se aplicaron la Investigación bibliográfica, la diagnóstica y la descriptiva. **Resultado:** Se ejecutó de manera satisfactoria el diseño del tablero de control del sistema de fuerza de la planta, posterior a la realización de los cálculos pertinentes de los dispositivos requeridos de acuerdo a sus parámetros eléctricos y al desarrollo de planos eléctricos del conexionado del sistema de fuerza y las entradas y salidas del Controlador Lógico Programable. Se llevó a cabo la programación para la correcta automatización y control del sistema de bombeo de agua potable, validando parámetros de seguridad para el sistema, dotándolo de robustez. Se escalaron y normalizaron valores entregados por los sensores de presión y nivel, para obtener datos correctos acorde a lo establecido para este sistema. A su vez, se programaron alarmas, a mostrar previamente en la interfaz hombre máquina, asegurando al operario el conocimiento de las fallas en el sistema para lograr dar una respuesta inmediata a las mismas. **Conclusiones:** Se desarrolló la red industrial de todo el sistema, empleando protocolos de comunicación Ethernet, Profibus PA y Profibus DP, dotando al sistema de seguridad y tiempos cortos de reacción. Se diseñaron satisfactoriamente las interfaces HMI y SCADA para la supervisión del sistema de bombeo, contando con un sistema de manejo y monitoreo del proceso tanto de manera local como remota.

Palabras clave: controlador lógico programable; automatización; alternancia; agua potable

CAPÍTULO I

1. FUNDAMENTACIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Actualmente, el ser humano se mantiene como el ser vivo que consume más agua en el planeta, siendo el mismo, quien a lo largo de la historia ha ido descubriendo nuevos métodos para la obtención del preciado líquido [1].

Un elemento que juega un papel importante en el desarrollo de países y sus poblaciones es, sin lugar a dudas, la existencia de un correcto y constante abastecimiento de agua potable. Así mismo, un sistema de bombeo de agua potable que se encuentre diseñado de manera eficiente, contribuye tanto a elevar la calidad de vida de los ciudadanos que gozan de este servicio, como a lograr un ahorro eficaz de tan preciado recurso [2].

El desarrollo de la tecnología, que incluye potentes ordenadores, actuadores de control de retroalimentación, transmisión de potencia a través de engranajes y la tecnología de sensores ha contribuido a hacer que los mecanismos automatizados sean más flexibles para realizar tareas dentro de industrias grandes, medianas y pequeñas [3].

A su vez, los sistemas tradicionales en industrias y procesos comunes se están viendo reemplazados por los Controladores Lógicos Programables (PLC), mediante los cuales se logra obtener mayor optimización en los procesos y un manejo eficiente de los recursos [3]. Aun en la actualidad existen sistemas de bombeo que no cuentan con la presencia de un sistema automatizado que logre gestionar de manera eficaz la demanda que se solicite en un intervalo de tiempo; al contrario, sus sistemas son accionados directamente, donde las bombas de agua trabajan al máximo de su capacidad en todo momento, aun cuando no es requerido, y no existe un sistema de supervisión y control adecuados, de esta manera solo se consume energía eléctrica de forma innecesaria, se desperdicia líquido a causa de los desbordamientos en los tanques y los equipos presentes en el sistema presentan un desgaste mayor, generando altos costos de mantenimiento del sistema [4].

Transformar un proceso que se lleva a cabo de manera convencional, a uno automatizado, usando las bondades que proporcionan equipos como el PLC, permitirá obtener procesos más eficientes y mejor controlados. Es por ello que este proyecto se centra en automatizar

el proceso de rebombeo de agua potable, empleando la alternancia de bombas en la regulación del caudal de agua, lo que conlleva a un ahorro del recurso hídrico.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se centra en la automatización de una estación de rebombeo de agua potable hacia un tanque elevado a 25 metros de altura en un área rural, haciendo uso de la alternancia de bombas. Se tendrán 3 bombas centrífugas de agua, dos de ellas operarán en dependencia de la cantidad de agua que requiera el tanque. Y la otra bomba estará como contingencia en caso de que una de las dos bombas anteriores falle.

El sistema operará en modo manual donde las bombas podrán ser accionadas por un operario; en el modo automático se detectará el nivel que presente el tanque y en dependencia de ello se accionarán las bombas.

Para medir el nivel del tanque que almacenará el agua potable, se empleará un sensor de nivel industrial de tipo ultrasónico, el cual realizará una medición continua del nivel exacto que tiene el tanque. Además, el uso de un transmisor de presión será requerido para verificar el valor de presión que se encuentra ingresando desde las bombas hacia el tanque de almacenamiento.

Todo este proceso, será controlado por un PLC Siemens S7 1200 y para el debido monitoreo se implementará una interfaz hombre-máquina (HMI) y un sistema de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

Para la correcta comunicación del sistema, se hará uso de protocolos Profinet, Profibus-DP y Profibus-PA para establecer transferencias de datos entre el PLC con los diferentes sensores, actuadores y dispositivos de monitoreo y adquisición de datos.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1. OBJETIVO GENERAL:

Diseñar y simular un sistema de control y automatización de bombas alternantes en estaciones de rebombeo de agua potable mediante el control de nivel de agua, para el empleo de sistemas de bombeo más eficientes y enfocados en el ahorro del recurso hídrico.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Diseñar el tablero de control del sistema de fuerza de la planta, considerando los parámetros eléctricos de los dispositivos.
2. Programar el controlador lógico (PLC) para el control del sistema de rebombeo de agua potable.
3. Desarrollar la red industrial tomando en cuenta los protocolos de comunicación.
4. Desarrollar la interfaz para el control y supervisión del sistema de bombas alternantes, que comprende HMI y SCADA.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Al implementar el presente proyecto se logra obtener un control más eficiente sobre los sistemas de rebombeo de agua potable teniendo una solución para mejorar dichos sistemas mediante el uso de la alternancia de bombas.

La implementación también contribuye en un ahorro significativo del tan escaso recurso hídrico, a la vez que se valida un aumento en la vida útil de las electrobombas utilizadas, por lo que se solucionan algunas fallas que presentan los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable. Así mismo, se minimizarán riesgos de operación y errores humanos.

Con este proyecto se persigue obtener una mejora de carácter tecnológico en los sistemas de bombeo, debido a que, a diferencia del proceso convencional, se contará con un controlador, siempre dependiendo de la cantidad de electrobombas a utilizar.

Además, el proyecto se direcciona hacia el plan toda una vida, enfatizando en el eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida, enfocándonos en su objetivo 3 que es garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones [5].

Una política dentro de este objetivo, a la que se enfoca el proyecto es:

Política 3.4: “Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” [5].

También, tomando como objetivo cumplir con el plan Toda una vida, el proyecto cumple con lo propuesto en la intervención emblemática 5 para el Eje 1, la cual está titulada como Agua segura para todos. En la misma expresan que: “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable; en este sentido, esta intervención busca manejar y aprovechar de manera integral el recurso hídrico con una visión que supere las inequidades territoriales en acceso, calidad y cantidad, además de comprometer a todos los actores sociales involucrados en su cuidado y uso responsable.” [5].

Es por ello que este proyecto se centra en diseñar y simular el proceso automatizado de bombeo de agua potable, para que a partir del uso de la tecnología y los procesos de automatización se brinde un aporte a la sociedad y se logren buenas prácticas de ahorro del tan preciado líquido.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO

Con el desarrollo del proyecto se logrará realizar el diseño íntegro de un sistema automatizado para el bombeo de agua potable hacia un tanque elevado empleando la alternancia de bombas mediante el control del nivel de agua. De esta forma se especificarán los detalles de diseño eléctrico, los equipos a utilizar en el sistema y sus debidas protecciones eléctricas. Se desarrollará la programación para llevar a cabo el proceso

automatizado y manual del sistema, junto a esto se diseñará una interfaz HMI para el correcto monitoreo y manejo del sistema.

Se dará cumplimiento a cada objetivo específico propuesto, culminando con la ejecución de la propuesta de manera simulada, comprobando su correcto funcionamiento y sentando las pautas para futuras implementaciones.

Para el diseño del tablero de control del sistema de fuerza de la planta, se tendrán en cuenta los parámetros eléctricos que va a requerir el sistema, considerando las cargas presentes y los equipos de protección para las bombas de agua. Su desarrollo se llevará a cabo mediante softwares de diseño de circuitos eléctricos tales como CADE SIMU y EPLAN Electric, para detallar las conexiones eléctricas y Autodesk Fusion 360, para observar un diseño 3D realista del tablero.

Continuando con el cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizará la programación del PLC, en el software Tia Portal, haciendo uso de un PLC virtual con el software PLC SIM para las comprobaciones de funcionamiento requeridas; estos softwares también serán un objeto clave en la simulación final de la propuesta.

El desarrollo de la interfaz para el control y supervisión del sistema de bombas alternantes, que comprende HMI y SCADA también se desarrollará en los softwares Tia Portal, el cual cuenta con un sinnúmero de paneles HMI, y se hará uso de Node Red para la creación de un dashboard en la nube que conformará el sistema SCADA. De esta forma se logra hacer una comprobación completa del funcionamiento del sistema de bombeo de agua potable.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.1. Estaciones de bombeo

Las estaciones de bombeo están constituidas por equipos, tuberías y accesorios encargados de adquirir el agua de un reservorio dispuesto como abastecimiento del sistema, para posteriormente bombearla o impulsarla hacia un tanque de reserva o la red de distribución [6].

2.1.2. Cisterna

Una cisterna consiste en un depósito de agua subterráneo, dicha agua puede provenir de ríos, manantiales, de la propia lluvia o de un proceso de tratamiento anterior. Una cisterna es garantía para el funcionamiento adecuado del sistema hidráulico y la permanencia de un servicio de distribución eficiente [6].

2.1.3. Funcionamiento de las bombas centrífugas

Las bombas centrífugas captan agua desde el centro incrementando la presión de salida por fuerza centrífuga; la columna de agua toma valores desde 5 a 100 metros. En ellas, el caudal es controlado mediante el aumento o disminución de la velocidad de la bomba [7].

Un tipo de bomba usado comúnmente en sistemas de bombeo de agua potable son las bombas centrífugas horizontales las cuales se caracterizan por tener un eje de transmisión ubicado de forma horizontal. Su ventaja radica en que pueden ser instaladas lejos de la fuente de abastecimiento, permitiendo así una ubicación más segura, en lugares ventilados y secos y que posean fácil acceso [7].

2.1.4. Arrancadores suaves electrónicos

Estos dispositivos, también conocidos como Soft Starter se encargan de la protección de los motores durante su marcha y paro, preservando la red contra elevaciones de corriente y promoviendo un bajo consumo eléctrico [8].

Ventajas del empleo de arrancadores suaves

- La carga en la red se ve reducida gracias a la prevención contra sobrecorrientes.
- Se minimiza el desgaste mecánico del motor debido a la reducción del par mecánico en el arranque y paro.
- La parametrización de las condiciones de marcha y paro es libre.

2.1.5. Sensores y transmisores

Los sensores y transmisores son instrumentos detectores de los valores de aquellas variables que se midan, como puede ser temperatura, presión, distancia, entre otras [3]. Todos los procesos automatizados y de control se efectúan mediante transmisores y sensores, los cuales captan una señal de naturaleza eléctrica, mecánica, electrónica o una combinación de todas para, en el caso de los transmisores, convertirla a una señal que pueda ser transmitida [3].

Sensores ultrasónicos

Los sensores ultrasónicos funcionan mediante señales sonoras con frecuencias mayores a la que puede percibir el ser humano. Contienen un emisor y un receptor de ultrasonidos, siendo el aire su medio de transmisión común [9].

Los sensores detectores de eco son capaces de detectar la presencia de un objeto y medir la distancia a la que se encuentra, esto lo hacen mediante un circuito electrónico que mide el tiempo de recepción del eco y conociendo la velocidad del sonido en el aire determina la distancia [9].

Estos sensores son comúnmente usados en aplicaciones para medir nivel en recipientes y tanques, censado de alturas, etc. [9].

Sensores de Presión

Estos instrumentos toman la presión o la fuerza por unidad de superficie como magnitud física y la transforman en una señal eléctrica, la misma que es enviada a los equipos de automatización o de adquisición estándar [10].

2.1.6. Controlador Lógico Programable (PLC)

Los Controladores Lógicos Programables (PLC), son dispositivos electrónicos capaces de controlar procesos y máquinas mediante su previa programación. Fueron creados a modo de reemplazo para los circuitos secuenciales basados en relés [11].

Su función está dada por el monitoreo de las entradas, y dependiendo del estado de las mismas se activan o desactivan las salidas [11].

Los PLC se utilizan como dispositivos principales en la automatización de procesos industriales. Son imprescindibles para garantizar el ahorro de trabajo, la seguridad en las operaciones, alto rendimiento en los procesos y mayor calidad en el producto final [12].

En gran parte de los PLC, el lenguaje de programación está basado en la “programación Ladder”, la cual consiste en una representación gráfica de los procesos de automatización a realizar mediante símbolos de circuitos eléctricos. Es un lenguaje simple, permitiendo al usuario programar en forma de diagrama escalonado [12].

El uso de PLC confiere grandes ventajas en los sistemas, tales como [12]:

- Tienen alta velocidad de procesamiento.
- Los PLC compactos tienen un bajo promedio de consumo de corriente.
- Su configuración modular permite que se puedan ampliar de acuerdo al proceso a realizar.
- Presentan mayor flexibilidad.

2.1.7. Interfaz Hombre Máquina (HMI)

Mediante el uso de un panel HMI es posible que el usuario o el operador supervise de forma remota el sistema de control y los procesos. Una interfaz hombre máquina adecuada tiene como objetivos captar el estado del proceso de forma rápida, garantizar que el sistema sea confiable, proteger la integridad de los equipos, etc. [11].

Los HMI tienen varias características que facilitan la supervisión de los procesos ya que indican en qué estado se encuentra el sistema; además permiten ejecutar acciones de mando y poseen indicaciones de alarmas con el objetivo de informar al operador de alguna falla existente [11].

Normas para el diseño del HMI

Para el establecimiento de estándares y prácticas recomendadas en aplicaciones de procesos industriales, existe el comité HMI ISA101. Con el estándar ANSI/ISA-101.01-2015 se aborda el diseño, implementación, operación y mantenimiento de los HMI en sistemas de automatización, con el objetivo de orientar en el diseño y construcción de estas interfaces y de esta forma asegurar un sistema seguro y eficiente y mejorar la capacidad del operador para detectar y responder ante anomalías [11].

El diseño de la interfaz debe presentar principios de ergonomía basados en la visión y el oído, considerando las limitaciones visuales en los diferentes entornos de ejecución, teniendo en cuenta siempre la iluminación para evitar la fatiga visual. En cuanto al color de la pantalla, deben tener un contraste diferencial y brillo adecuado, además los colores utilizados para las alarmas no deben emplearse para otro propósito. También, el color de fondo de pantalla debe ser neutro, limitando así las distorsiones cromáticas y garantizando la correcta visualización de la información mostrada [11].

2.1.8. Topologías de Red

La topología de red es el modo físico que tomará la red, es la forma en que se encontrarán interconectados los dispositivos e instrumentos que conforman la red [13].

Una topología de red garantiza una operación eficiente de la red, considerando expansiones en el futuro. En la figura 1 se puede observar las clasificaciones de las topologías de red: bus, malla, árbol, estrella y estrella extendida [13].

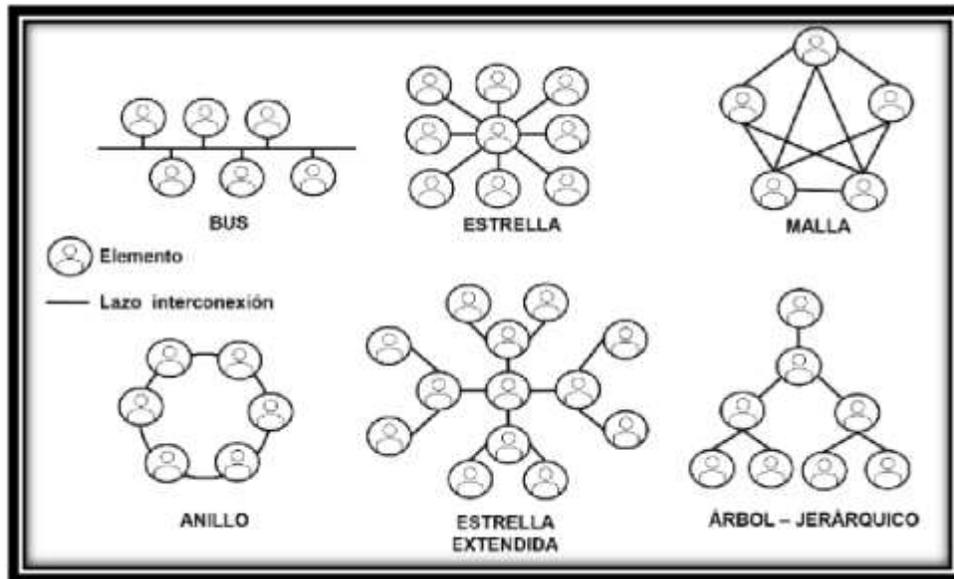


Figura 1. Clasificación de las topologías de red [13]

Topología de estrella

En la topología de estrella todos los nodos se encuentran conectados a un dispositivo central, el mismo que recibe, amplifica y envía la información al resto de nodos, permitiendo que, si falla algún nodo, los demás no se vean afectados y el sistema continúe funcionando [13].

2.1.9. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación definen un grupo de pautas que posibilitan el intercambio de datos entre dispositivos [13].

Estándar IEC61850

Es un estándar internacional que se basa en comunicaciones mediante Ethernet, diseñado para operar en redes TCP-IP a partir de conexiones a red de área local. Este estándar cumple con requisitos de eficiencia, flexibilidad, confiabilidad e interoperabilidad [13].

Protocolo Profibus DP

Es una red de comunicación de campo normada de acuerdo a IEC 61158-2/EN 61158-2. La interconexión es efectuada mediante cables bifilares o de fibra óptica. Mediante este protocolo se logran controlar sensores y actuadores a partir de un controlador principal. Con Profibus- DP se reducen los tiempos de reacción, es posible realizar una puesta en marcha simultánea o independiente de los dispositivos y si llegase a fallar alguna estación subordinada, el resto del sistema seguiría funcionando [14].

Protocolo Profibus PA

Es un protocolo dirigido a comunicar instrumentos de proceso, equipos transmisores de señales de tipo analógicas, manejando una velocidad de transferencia de 31.25 Kbps. Este protocolo se encuentra estandarizado por IEC 61158-2, definiendo la capa física y de servicios. Provee seguridad y suministro de energía a los dispositivos con el uso de par cobre, permitiendo su uso en áreas peligrosas [15].

2.1.10. Norma INEN 5 Parte 8: 1986 Sección VIII: Instalaciones Eléctricas

Esta norma forma parte de una sección del Código Eléctrico Ecuatoriano y establece un grupo de regulaciones que están relacionadas con equipos de fuerza, tableros eléctricos, líneas de distribución, conexiones a tierra y cableado [16].

En lo referente a instalaciones de tableros eléctricos establece que los mismo deben ser instalados en lugares accesibles donde no exista presencia de polvo o suciedad. Además, de ser requerido por las condiciones del lugar, el tablero debe ser cubierto en su parte superior, con material resistente al fuego. Expone también que, cada circuito de salida en el tablero debe ser debidamente controlado de manera independiente con un interruptor automático o manual de palanca [16].

2.1.11. Código Eléctrico Nacional (NEC)

La NEC establece pautas para garantizar la seguridad eléctrica en residencias, comercios e industrias. En ella se regula el cableado eléctrico, las protecciones de sobrecorriente, la instalación de tableros y equipos eléctricos, así como también los sistemas de puesta a tierra [17].

2.1.12. SIMATIC IOT 2040

El SIMATIC IOT 2040 es un dispositivo de Siemens que hace la función de puerta de enlace a la Nube y capta la información de sensores y equipos de forma confiable. Dicha información se capta desde el PLC hasta el dispositivo vía Ethernet y luego es almacenada en la nube para su posterior clasificación y procesamiento [18].

2.1.13. NODE-RED

Node – Red es una herramienta basada en programación de flujo que posibilita unificar nodos de información para facilitar la programación del usuario. Emplea un editor de flujo que se basa en el navegador, posibilitando conectar un sinnúmero de nodos para ser empleados en diferentes programas desarrollados en esta herramienta [18].

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. Metodología del proyecto

En la realización del presente proyecto se aplicarán la Investigación bibliográfica, la diagnóstica y la descriptiva. Durante la primera se llevan a cabo consultas bibliográficas en libros, artículos científicos, tesis y páginas oficiales en internet, todo ello para lograr mayor comprensión del proyecto a realizar y los elementos que estarán presentes en el mismo; durante este método se extraerán conceptos y principios relacionados a los sistemas de bombeo de agua potable, controladores lógicos programables, arrancadores suaves, sensores de nivel y de presión, interfaz hombre máquina e interfaz IoT para digitalizar el proceso.

Asimismo, con la investigación diagnóstica, se pondrá a prueba el sistema automatizado de rebombeo de agua potable, realizando simulaciones para el diagnóstico y la corrección de errores, y de esta forma lograr que el sistema quede en estado óptimo para su funcionamiento. Con este método se potencia la calidad y confiabilidad del sistema automatizado de rebombeo de agua potable.

En cuanto a la investigación descriptiva, permitirá definir y caracterizar el objeto del estudio a realizar, que es el diseño y la simulación del sistema automatizado de rebombeo de agua potable, empleando alternancia de bombas.

El desarrollo del proyecto estará definido por las siguientes etapas:

- Etapa de selección de los dispositivos presentes en el sistema automatizado, según sus características y los requerimientos del sistema.
- Diseño de planos eléctricos del sistema automatizado, diagramas de conexiones de entradas del PLC, diagrama de fuerza del circuito, etc.
- Desarrollo de diagramas P&ID del sistema automatizado.
- Realización de diagramas de flujo del proceso automatizado de rebombeo de agua potable, los cuales brinden una guía para la posterior ejecución de la programación del PLC.
- Ejecución de la programación en el controlador seleccionado para la automatización del proceso de rebombeo de agua potable mediante alternancia de bombas.
- Diseño de las interfaces HMI y SCADA.
- Realización de pruebas de simulación del proceso.
- Evaluación del funcionamiento del sistema.

3.2. Requerimientos del sistema de bombeo

En la Tabla 1 a continuación se resumen ciertas características a considerar para el dimensionamiento del sistema automatizado de rebombeo de agua potable.

Tabla 1. Datos de utilidad para el dimensionamiento del sistema automatizado.

Número de habitantes del área	4000 habitantes
Capacidad del tanque elevado	50 000 litros
Largo del tanque	11.8 metros
Ancho del tanque	2.3 metros
Altura del tanque	3 metros
Altura de elevación del tanque	25 metros
Dotación de agua por habitante	120 litros por día

Fuente: Sistema de bombeo de agua a presión constante mediante la aplicación de variadores de velocidad [12]

Cálculo de caudal medio máximo diario

Para definir el caudal que se requiere para el equipo de bombeo del sistema, se emplea la ecuación (I), la cual describe que el caudal medio máximo diario requerido será la multiplicación entre el valor de la cantidad de habitantes y la dotación de agua por cada uno, luego se hace la debida conversión para expresar el resultado en Litros por segundo [12].

$$= \frac{\# * \text{Dot} * 1 \text{ día} * 1 \text{ h}}{1 * 24 \text{ h} * 3600} \quad (I)$$

Dónde:

- #Hab = Cantidad de habitantes = 4000 habitantes
- Dot = Dotación de agua por habitante por día = 120 L/día
- = Caudal medio máximo diario

Para un número de 4000 habitantes con una dotación de agua de 120 L/día, se registra un caudal medio máximo diario de 480 000 litros por día. Lo que conlleva a un caudal de salida del tanque de 20 000 litros por hora o 333 litros por minuto.

$$= 6 \text{ L/seg}$$

Como el sistema tendrá 3 bombas, pero de ellas solo 2 operarán a la vez para condiciones de nivel de agua requeridas, el caudal medio máximo diario se divide entre 2, obteniendo así que el caudal medio máximo diario por bomba es de 167 L/min.

$$(\text{bomba}) = 3 \text{ L/seg}$$

3.3. Selección del equipo de bombeo

Para la selección del equipo de bombeo adecuado para el sistema se realizaron consultas bibliográficas de diferentes catálogos de bombas centrífugas que cumplan con los requerimientos establecidos para el sistema de bombeo de agua propuesto. En el catálogo de bombas de la marca Pedrollo, observando la tabla de datos del Anexo 1, se realizan los cálculos de comprobación para la bomba Pedrollo serie F50/160 A, la cual cuenta con un caudal de 400 L/min, trabaja hasta una altura de 36 metros y tiene una potencia de 10 HP. Haciendo uso de bombas de esta capacidad se tendrá un llenado completo del tanque en aproximadamente 1h, lo cual es necesario en un sistema donde el tanque tiene un caudal de salida de 20 000 L/ h el cual se llegaría a vaciar en 1 h 30 min.

3.4. Dispositivos utilizados en el sistema automatizado de rebombeo de agua potable.

Luego de realizar tablas comparativas de posibles dispositivos a implementar en el sistema automatizado de bombeo de agua potable (Anexo 2) se seleccionan los siguientes que estarán divididos en las siguientes categorías:



DISPOSITIVOS PARA LA COMUNICACIÓN

- SIMATIC IOT 2040
- Switch SCALANCE X005EEC Siemens
- Industrial Cellular Router Merlin 4600 Series
- HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN - 6AV21232GB030AX0



DISPOSITIVOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN

- PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214 C AC/DC/RELÉ



DISPOSITIVOS PARA EL MANEJO DE POTENCIA

- Fuente SITOP Modular 6EP1334-3BA10 salida 24 VDC
- Arrancador suave WEG SSW050030T2246PPZ
- Interruptor termomagnético EasyPact EZC100N3060 de Schneider
- Contactores Tesys LC1D18M7 de Schneider
- Relés térmicos Tesys LR3D216 de Schneider



DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA

- Transmisor de nivel SITRANS LU150
- Interruptor de nivel de tipo flotador FLOWLINE LV41
- Transmisor de presión BAUMER
- Bombas centrífugas Pedrollo F 50/160 A
- Pulsadores iluminados
- Luces piloto
- Selectores de dos posiciones

3.5. Características de los dispositivos seleccionados

3.5.1. PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214 C AC/DC/RELÉ

Se selecciona el PLC S7 1200 con CPU 1214 C debido a su amplio número de entradas digitales, las mismas que son requeridas para el proyecto a desarrollar ya que se cuenta con múltiples accionadores en el tablero eléctrico.



Figura 2. PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214 C AC/DC/RELÉ [19]

Tabla 2. Características del PLC SIMATIC S7-1200 CPU 1214

Alimentación	110/220 VAC
Entradas digitales (DI)	14 DI a 24 VDC
Salidas digitales (DO)	10 DO tipo relé
Entradas analógicas (AI)	2 AI
Salidas analógicas (AO)	No

Fuente: Lista de precios productos industriales eléctricos de Siemens [19]

3.5.2. Transmisor de nivel SITRANS LU150

Se selecciona el transmisor de nivel SITRANS LU150, el cual cuenta con un rango de medida aceptable para el proceso a implementar, así como compatibilidad con las entradas analógicas del PLC. Además, es un sensor industrial, con un grado de protección IP68 adecuado para las condiciones en las que estará operando.



Figura 3. Transmisor de nivel SITRANS LU150 [19]

Tabla 3. Características del transmisor de nivel SITRANS LU150

Alimentación	24 VDC
Salida	4-20 mA
Rango	0-5 m
Protección	IP68

Fuente: Lista de precios productos industriales eléctricos de Siemens [19]

3.5.3. HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN - 6AV21232GB030AX0

El HMI KTP 700 resulta una selección adecuada para el proyecto, ya que se encuentra en el término medio de la relación calidad-precio. Su interfaz Ethernet permite la comunicación con el PLC S7 1200 que se empleará y presenta grados de protección que evitan daños por polvo o agua, lo que es esencial para los equipos a utilizar en el proyecto.



Figura 4. HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN - 6AV21232GB030AX0 [20]

Tabla 4. Características del HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN

Alimentación	24 V DC
Diagonal de pantalla	7 pulgadas
Protocolos	PROFINET
Protección	<ul style="list-style-type: none">• Frontal: IP65• Lateral: IP20
Interfaces	<ul style="list-style-type: none">• 1 interfaz industrial Ethernet• 1 interfaz USB

Fuente: Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos [20]

3.5.4. Bomba centrífuga PEDROLLO F 50/160 A

Se selecciona la bomba de la marca Pedrollo F 50/160 A, su potencia es adecuada para el trabajo requerido, y cuenta con una altura máxima de operación que se ajusta a las condiciones del proceso a realizar. Observando la curva de datos y prestaciones (Anexo 1) se observa que a una altura de 25 metros la bomba opera con una eficiencia del 80 % y mantiene un caudal de 400 l/min.



Figura 5. Bomba Centrífuga Pedrollo F 50/160 A [21]

Tabla 5. Características de la bomba Pedrollo F 50/160 A

Frecuencia	60 Hz
Velocidad(rpm)	3450 rpm
Potencia (HP)	10 HP
Tensión	220/380/440 V
In	28/16.5/9.5 A
# de fases	3
Normas	EN 60335-1, IEC 60335-1, CEI 61-150, IEC 60034-1, ISO 9001, EN 733

Fuente: Ficha técnica del fabricante [21].

3.5.5. Interruptor de nivel de tipo flotador marca FLOWLINE LV41

En el Anexo 3 se observa el diagrama de conexiones del interruptor de nivel a emplear en la propuesta. Ya que se va a emplear en una cisterna, se debe conectar el cable azul del contacto normalmente abierto a la entrada digital, de esta forma mientras la cisterna esté llena, la o las bombas permanecerán prendidas, caso contrario se cierra el contacto y da la señal de apagar las bombas.



Figura 6. Interruptor de nivel flotador Flowline LV41 [22]

Tabla 6. Características del interruptor de nivel FLOWLINE LV41

Material	✓ Carcasa de polipropileno ✓ Cable PVC
Límite de Temperatura	0 - 50°C
Protección	IP68 (NEMA 6)
Tipo de interruptor	NA / NC
Montaje	Vertical
Corriente Nominal	10 A

Fuente: Catálogo Switch Tech de Flowline [22]

3.5.6. Transmisor de presión marca Baumer



Figura 7. Transmisor de presión Baumer [23]

Tabla 7. Características del transmisor de presión Baumer

Material	Acero inoxidable
Límite de Temperatura	-25 - 100°C
Protección	IP68 (NEMA 6)
Salida	4-20 mA
Presión	0-232 psi
Alimentación	11-30 VDC

Fuente: Catálogo de productos de InstruProcesos 2020 [23]

3.5.7. Arrancador suave WEG SSW050030T2246PPZ

Se selecciona debido a su utilización para sistemas de bombeo, así como su alta eficiencia. Específicamente la serie SSW050030T2246PPZ es utilizada para motores con potencias de 10 HP, misma potencia que se está implementando en el proyecto. Estos arrancadores suaves se caracterizan por ser compactos y a su vez contienen todas las protecciones para los motores. Es un dispositivo de fácil ajuste, con control de dos fases del motor y bypass incorporado [24]. En el anexo 4 se observa un diagrama con las entradas y salidas presentes en el arrancador, y el funcionamiento de cada una.



Figura 8. Arrancador suave electrónico WEG SSW050030T2246PPZ [24]

Tabla 8. Características del arrancador suave SSW050030T2246PPZ

Modelo	SSW050030T2246PPZ
Alimentación	220 a 575 V
Corriente	3 a 85 A

Fuente: Catálogo del fabricante [24]

3.5.8. Elementos accionadores del tablero eléctrico



Figura 9. Pulsadores, Pilotos y selectores marca SIRIUS ACT Línea Plástica [20]

Tabla 9. Características de elementos accionadores

Diámetro de montaje	de	22 mm
Grado de protección		IP69K
Alimentación		24 V AC/DC

Fuente: Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos [20]

3.5.9. Dispositivos de protección y arranque del sistema de potencia

Para la selección de los equipos de protección y arranque para el circuito del tablero eléctrico de potencia del sistema de bombeo de agua potable se toma en cuenta los valores de corriente nominal de las 3 bombas centrífugas, los mismos que se observan en la Tabla 5; teniendo las 3 bombas un valor de $I_n = 16.5$ A.

Teniendo en cuenta lo que establece la NEC, para la selección del Interruptor termomagnético del sistema se multiplica la corriente nominal de mayor valor por el 120 % del potencial nominal y debido a que son 3 bombas se suma la corriente nominal de las 2 bombas restantes [17]. Esto da como resultado 52.8 A por lo que es necesario elegir un dispositivo de igual o similar valor, encontrándose el que se observa en la Tabla 10 que posee una corriente nominal de 60 A y pertenece a la marca Schneider.

Para la selección de los contactores para cada bomba, está establecido la selección de un dispositivo con una corriente nominal mayor a la corriente nominal del motor [17],

encontrándose el contactor Tesys de Schneider con una corriente AC3 de 18 A, valor adecuado para las bombas de 16.5 A.

Por último, se seleccionan los relés térmicos Tesys de Schneider que poseen una regulación térmica de 12 a 18 A lo que permite regularlos a la corriente nominal de 16.5 A de las bombas.

Tabla 10. Dispositivos de protección y arranque

DISPOSITIVO	CARACTERÍSTICAS	IMAGEN
<p>Interrupor termomagnético EasyPact EZC100N3060 de Schneider</p>	<p>-In = 60 A -Capacidad de interrupción: 25 kA -Protección: IP20, IK07 -Altura: 165mm -Ancho:105mm -Profundidad:60mm</p>	
<p>Contactores Tesys LC1D18M7 de Schneider</p>	<p>-AC3: 18A -Resistencia a picos de tensión: 6kV acorde a IEC 60947 -Normas: IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1, IEC 60335-1, UL 508 -Protección: IP20 -Altura:122mm -Ancho:55mm -Profundidad:120mm</p>	
<p>Relés térmicos Tesys LR3D216 de Schneider</p>	<p>-Regulación térmica: 12 a 18 A -Protección: IP20 -Normas: IEC 60947-4-1, IEC 60947-5-1 -Alto: 81mm -Ancho:70mm -Profundidad:115mm</p>	

Fuente: Hojas de datos de cada dispositivo [25,26,27]

3.5.10. SIMATIC IOT 2040

El IOT 2040 facilita la recopilación y procesamiento de datos de los sistemas de producción implementando soluciones de productividad de la Industria 4.0 en diferentes procesos productivos [20].



Figura 10. SIMATIC IOT 2040 [20]

Tabla 11. Características del SIMATIC IOT 2040

Procesador	Intel Quark
Interfaces	2 puertos Ethernet, 2 puertos RS232/485
RAM	1 GB

Fuente: Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos [20]

3.6. Diagrama P&ID de la propuesta

En el Anexo 5 se visualiza el diagrama de tuberías e instrumentación para el sistema automatizado de rebombeo de agua potable mediante alternancia de bombas. En él se observan los instrumentos utilizados en campo, tales como el interruptor de nivel para la cisterna, un transmisor de nivel y un transmisor de presión para el tanque de almacenamiento de agua potable, además de los tipos de señales mediante las cuales se comunicarán estos instrumentos con el PLC, siendo las líneas discontinuas señales eléctricas.

3.7. Protocolos de comunicación empleados en la propuesta

En el Anexo 6 se logra visualizar el diagrama que contiene todos los protocolos de comunicación ejecutados en la propuesta, detallándose el uso de protocolo Ethernet para comunicar el PLC con el panel HMI. Para la conexión entre PLC y los dispositivos de entrada/salida a nivel de campo, tales como botoneras y los contactores de las bombas se emplea el protocolo Profibus DP el cual dota al sistema de una elevada velocidad de transmisión. Además, para la comunicación de los sensores con el controlador se empleará el protocolo Profibus PA, mismo que provee seguridad y suministro de energía a los dispositivos. Para la comunicación de los datos del PLC hacia el sistema SCADA se utilizará el protocolo Ethernet que comunicará el PLC con el dispositivo SIMATIC IOT 2040, el cual realizará el envío de los datos relevantes mediante pasarelas de comunicación hacia NodeRED. Se realizará una conexión basada en una topología de estrella donde cada nodo estará conectado al controlador central, en este caso el PLC S7 1200.

3.8. Programación en el controlador PLC S7 1200 1214C AC/DC/Rly

Para realizar la programación del proceso automatizado para bombeo de agua potable, se realizaron diagramas de flujo del proceso, lo que brindó una guía para desarrollar de manera más fluida la programación. En los Anexos 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 y 15 se pueden observar dichos diagramas de flujo enfocados en los procesos de selección de modo de operación del sistema, selección de disponibilidad de las bombas, comparación de niveles, y las rutinas previstas para ambos modos de operación.

Además, en la programación en el software Tia Portal, se agregaron dos bloques de función, para Normalizar y Escalar los valores obtenidos desde los sensores de nivel y de presión, lo que se observa en la Figura 11.

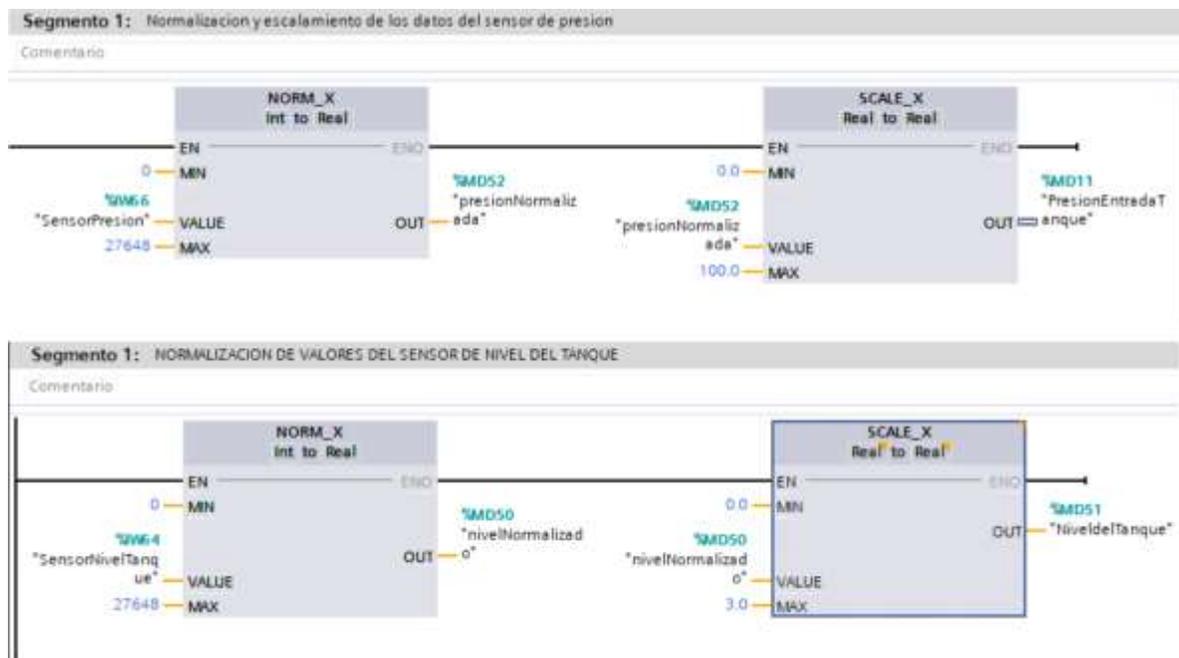


Figura 11. Normalizado y Escalado de valores de presión y nivel obtenidos de los sensores

3.9. Diseño de Interfaz HMI

En este apartado se detalla todo el diseño de la Interfaz HMI presente en la planta, el cual permitirá realizar una supervisión del estado del proceso, tanto el estado de funcionamiento de las bombas, el nivel del tanque, la presión de entrada al tanque y el estado de la cisterna. El diseño se encuentra normado mediante ANSI/ISA-101.01-2015, ISO 9241 y EN 29241, las mismas que abordan los requisitos de diseño para pantallas HMI para lograr un desempeño efectivo en las tareas por parte de los usuarios, con diseños que cumplan con los códigos de colores establecidos y de fácil entendimiento para el operador.

En la Figura 12 se observa la pantalla principal de la interfaz, en ella se tienen los diferentes botones para navegar entre pantallas, cada uno de ellos con la debida seguridad, donde los procesos de operación corresponden al operador, los de supervisión al supervisor y por último el administrador tendrá acceso total. En esta misma pantalla se observa un panel donde se informa el usuario que está actualmente con la sesión iniciada, y un botón para cerrar la sesión en caso de ser necesario. En el Anexo 16 se detalla un diagrama de interconexión entre todas las pantallas del HMI.

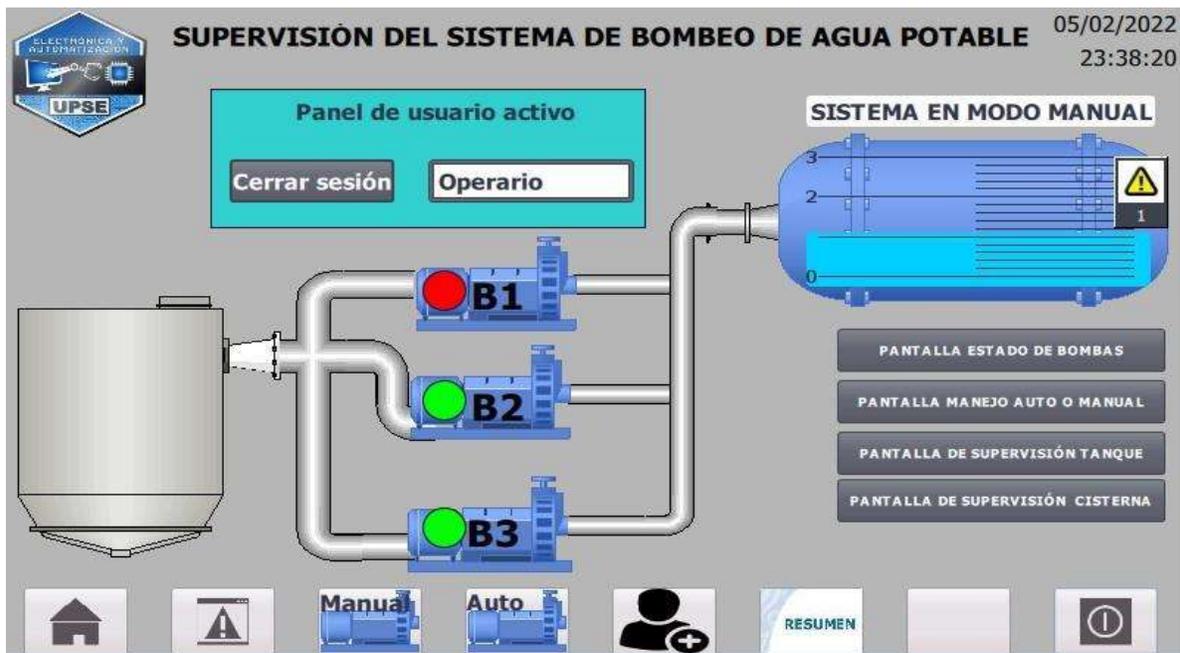


Figura 12. Pantalla principal de la Interfaz

La Figura 13 detalla la pantalla donde el Operador manejará la disponibilidad de las bombas mediante pulsadores, también cuenta con un panel donde se observa si dicha bomba se encuentra disponible, no disponible o en falla. En la esquina superior izquierda, un botón con la imagen de una flecha permite retroceder a la pantalla principal del HMI.

Figura 13. Pantalla de manejo y supervisión de disponibilidad de las bombas



La Figura 14 muestra la pantalla de selección del funcionamiento del sistema. Esta pantalla puede ser accedida por un operario o el administrador, en la cual mediante un selector se define si el sistema operará en modo Manual o Automático; allí también se encuentran los paneles de mando para poner en marcha o detener cada una de las bombas, en caso de seleccionar el modo manual, o para dar marcha o detener el proceso en modo automático.



Figura 14. Pantalla de selección del modo de operación del sistema

En la Figura 15 se logra observar la pantalla perteneciente al monitoreo en tiempo real del nivel de agua presente en el tanque, así como la presión de entrada y la cantidad de litros de agua almacenada. Esta pantalla solo da permisos de acceso al Supervisor o al Administrador. El valor de nivel será dado en metros y el volumen de agua en litros.



Figura 15. Pantalla de supervisión del nivel del tanque

En la Figura 16 en cambio se observan dos imágenes de una misma pantalla, la pantalla donde se supervisa el estado de la cisterna. Cuando la cisterna se encuentra abastecida, el indicador verde estará prendido, en cambio cuando su interruptor de nivel de la señal, se prenderá el indicador rojo y se mostrará un cuadro de texto en rojo indicando que la cisterna se encuentra vacía.

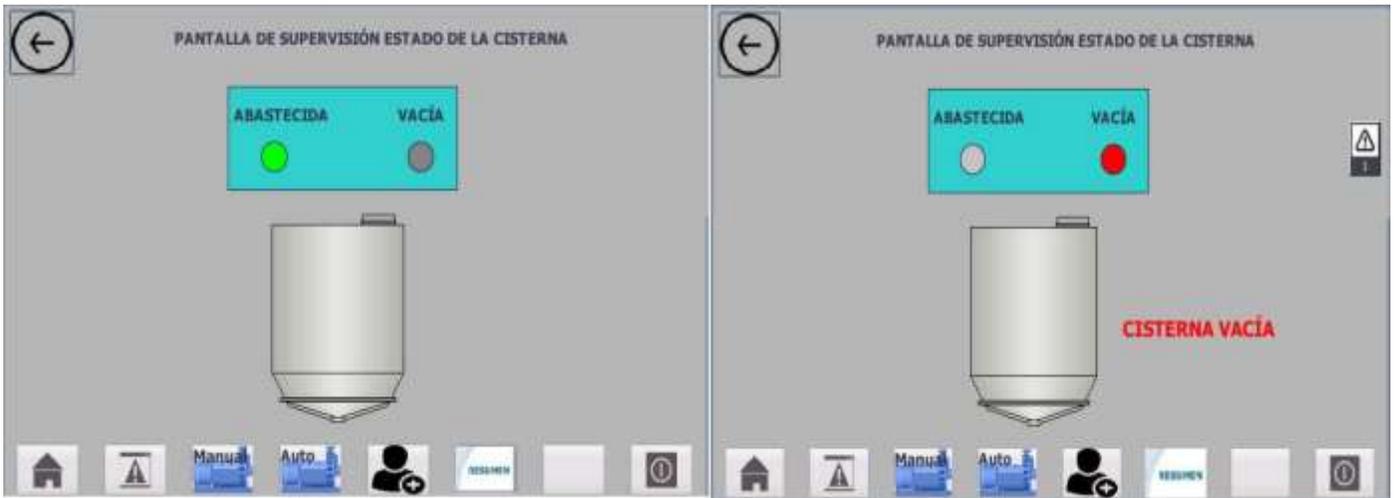


Figura 16. Pantalla de supervisión del estado de la cisterna

La Figura 17 muestra 2 pantallas para la supervisión de las bombas, la diferencia entre ellas radica en que una será utilizada en el momento en que el sistema esté operando en modo manual, la otra para cuando el sistema esté operando en modo automático. En estas pantallas el supervisor podrá observar que bombas están operando, o que bombas están apagadas, así como también la disponibilidad de las mismas o si el término de alguna bomba da una señal de falla.



Figura 17. Pantallas de supervisión del estado de las bombas en modo manual y automático.

La Figura 18 muestra la pantalla para administrar los usuarios que operarán en el panel HMI, y la contraseña de acceso de los mismos. Esta pantalla solo puede ser accedida por el Administrador.



Figura 18. Pantalla de administración de usuarios

En la Figura 19 se visualiza la pantalla para el manejo de alarmas. Esta es una pantalla que aparece de manera emergente, cuando ocurre algún hecho que requiera ser notificado, o también puede ser accedido mediante un botón en la pantalla principal del panel. Las alarmas que se están manejando para este proceso son las fallas de las bombas, aviso de tanque lleno o tanque vacío, aviso de paro de emergencia, aviso de cisterna vacía, aviso de sobrepresión y baja presión en el sistema. Dichos avisos desaparecerán de esta pantalla una vez sean solucionadas las fallas.



Figura 19. Pantalla de alarmas del sistema

En cambio, en la Figura 20 se observa la pantalla de históricos del sistema. En esta se pueden observar todos los avisos de sistema, alarmas y errores ocurridos durante el tiempo de ejecución del proceso, detallando la hora en la que ocurrió el aviso.



Figura 20. Pantalla de históricos del proceso

3.9.1. Diagrama de Conexión del Panel HMI al PLC

En la Figura 20 se detallan las conexiones pertinentes para la comunicación del panel HMI KTP 700 con el PLC 1214 C AC/DC/Rly. El cable verde corresponde a la conexión por protocolo Profinet entre el HMI y el PLC. Los cables rojos y azul, pertenecen a la conexión a 24 V que requiere el HMI para ser alimentado. El PLC será alimentado por una tensión de 110 V

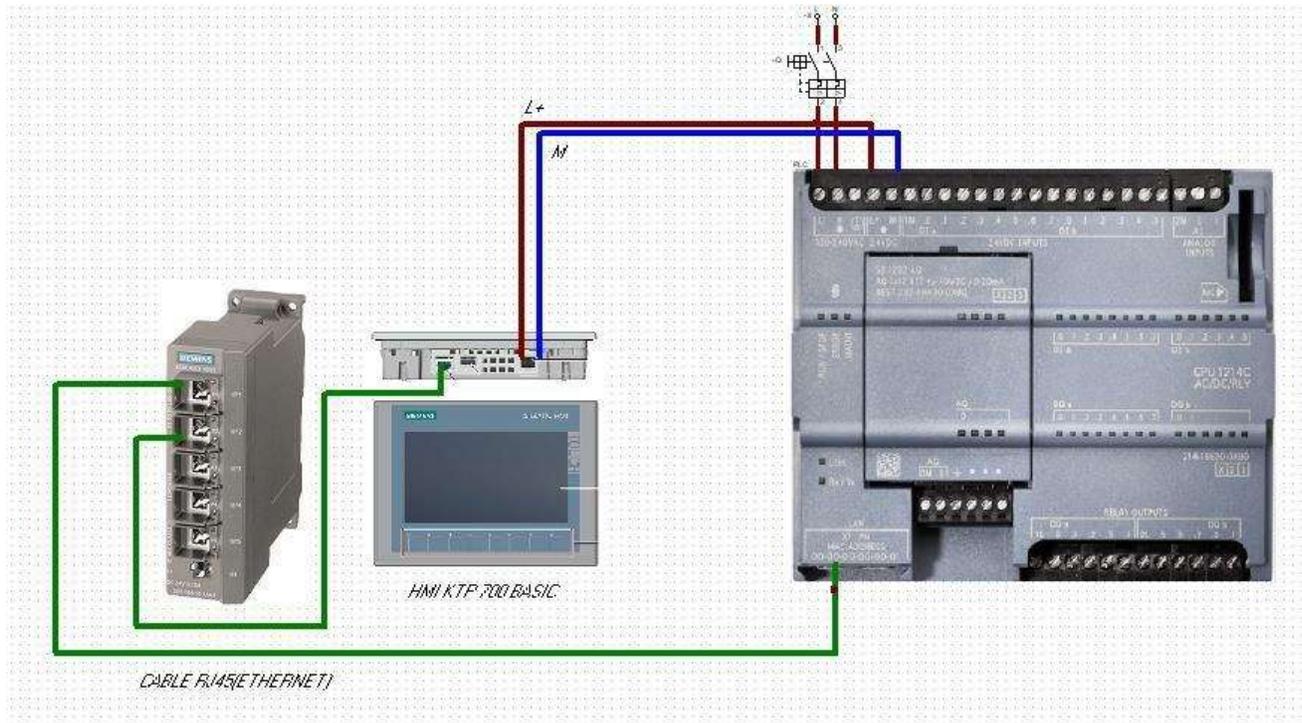


Figura 21. Diagrama de conexiones del HMI al PLC

Una vez dentro del espacio de trabajo de Node – Red se hará uso del nodo s7 in para la adquisición de las variables del PLC, además del nodo llamado change para convertir las variables de tipo bool en un número para ser representado en el dashboard. Los nodos como son el led, gauge, numeric, etc. serán de gran utilidad para representar toda la información en el dashboard; en este caso se representará información importante del proceso como el estado de las bombas, el nivel del tanque y el estado de la cisterna, así como las alertas de falla de bombas y sobrepresión.

En la Figura 21 se observa el espacio de trabajo de Node - Red con el desarrollo de toda la adquisición y tratamiento de la información recopilada.



Figura 23. Área de trabajo de Node Red

En el Dashboard de Node Red que se muestra en la Figura 22, se podrá visualizar, de manera remota, información importante con respecto al proceso de bombeo de agua potable tal como el nivel del tanque elevado, gráfica de variación del nivel con respecto al tiempo, además de leds que indicarán el estado de las bombas, si están disponibles, si están operando o si están en falla; leds indicativos del estado del tanque y la cisterna, así como del modo de operación del sistema.

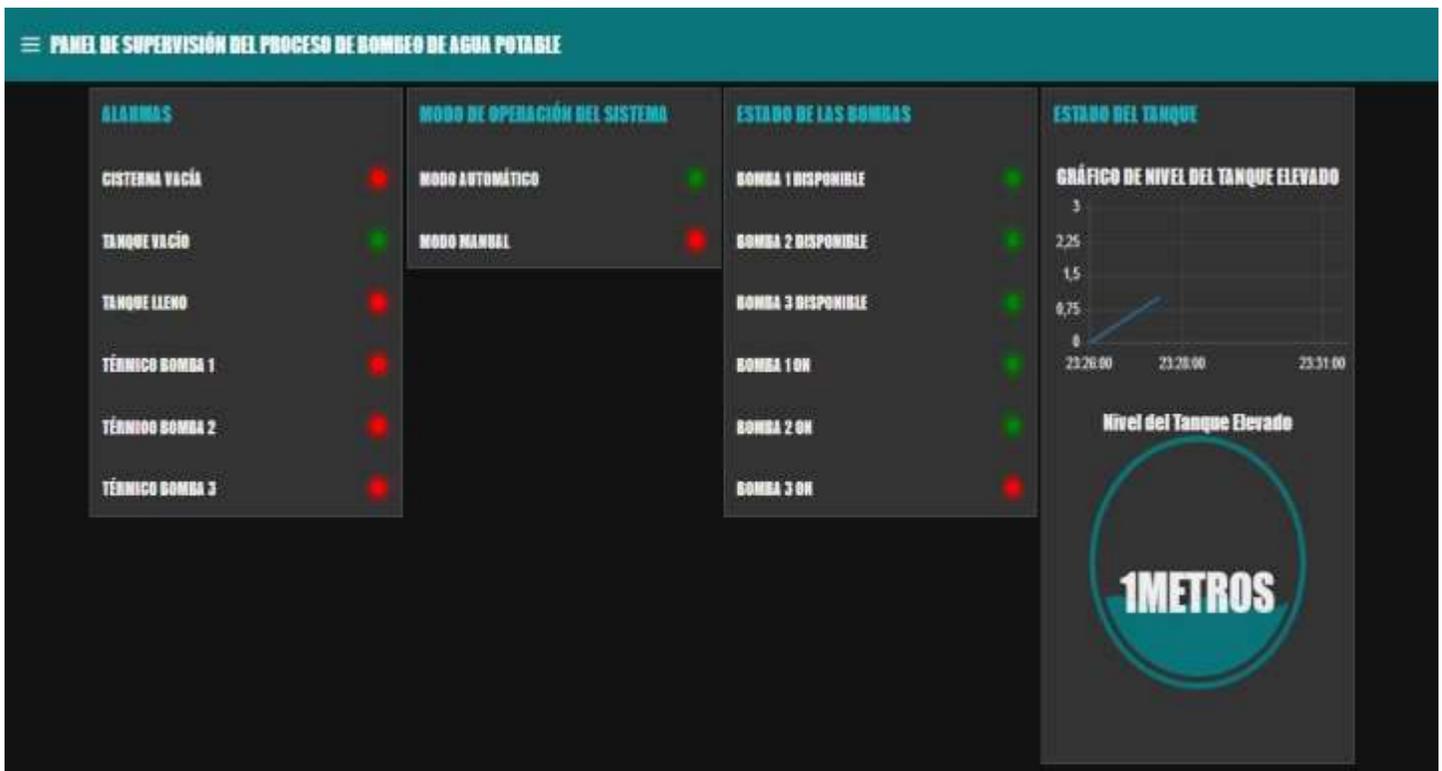


Figura 24. SCADA del sistema de bombeo de agua potable



Figura 25. Panel de control del sistema de bombeo en sistema SCADA

En la Figura 25 se visualiza la segunda pantalla del SCADA perteneciente al panel de manejo de botoneras para controlar el sistema de bombeo. En esta pantalla se puede encender cada bomba de manera manual, siempre que el sistema esté operando en este modo, y para el modo automático, es posible presionar marcha y paro.

3.11. Diseño de diagramas y tablero eléctrico del sistema

En este apartado se detallan los diagramas de conexiones eléctricas realizados para el funcionamiento del sistema de bombeo de agua potable usando alternancia de bombas. Los diagramas se realizan en el software de diseño eléctrico EPLAN ELECTRIC que brinda la disponibilidad de gran parte de los dispositivos empleados en el proceso. Con estos diseños se permite tener una guía del conexionado para el posterior diseño del tablero eléctrico.

En la Figura 26 se muestra el Esquema de Fuerza del sistema de bombeo, el cual contiene un interruptor termomagnético principal representado por la letra Q, los 3 contactores de las bombas representados por KM1, KM2 y KM3, los 3 relés térmicos (F1, F2, F3), 3 arrancadores suaves electrónicos (G1, G2, G3) y las 3 bombas centrífugas (B1, B2, B3).

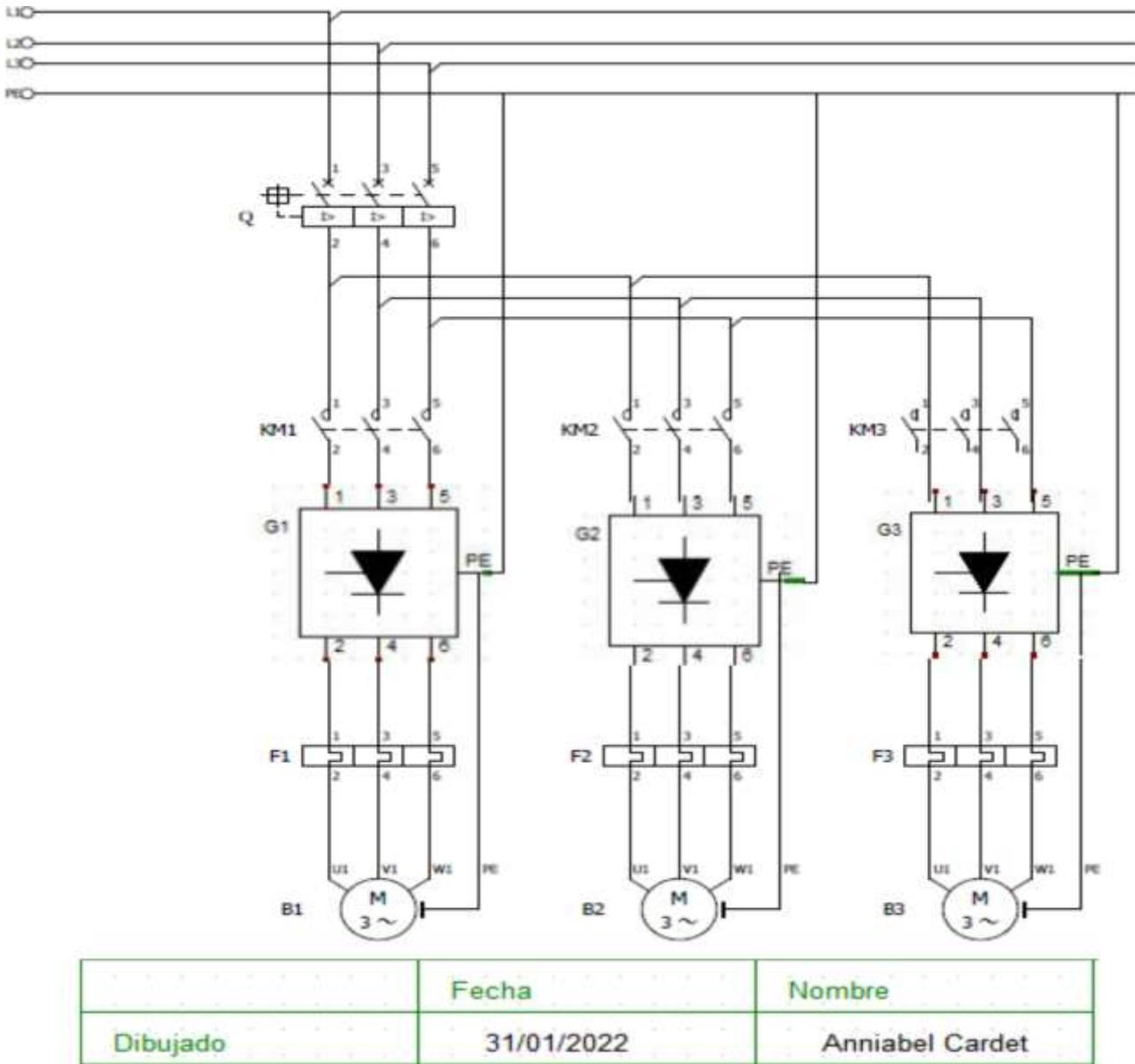
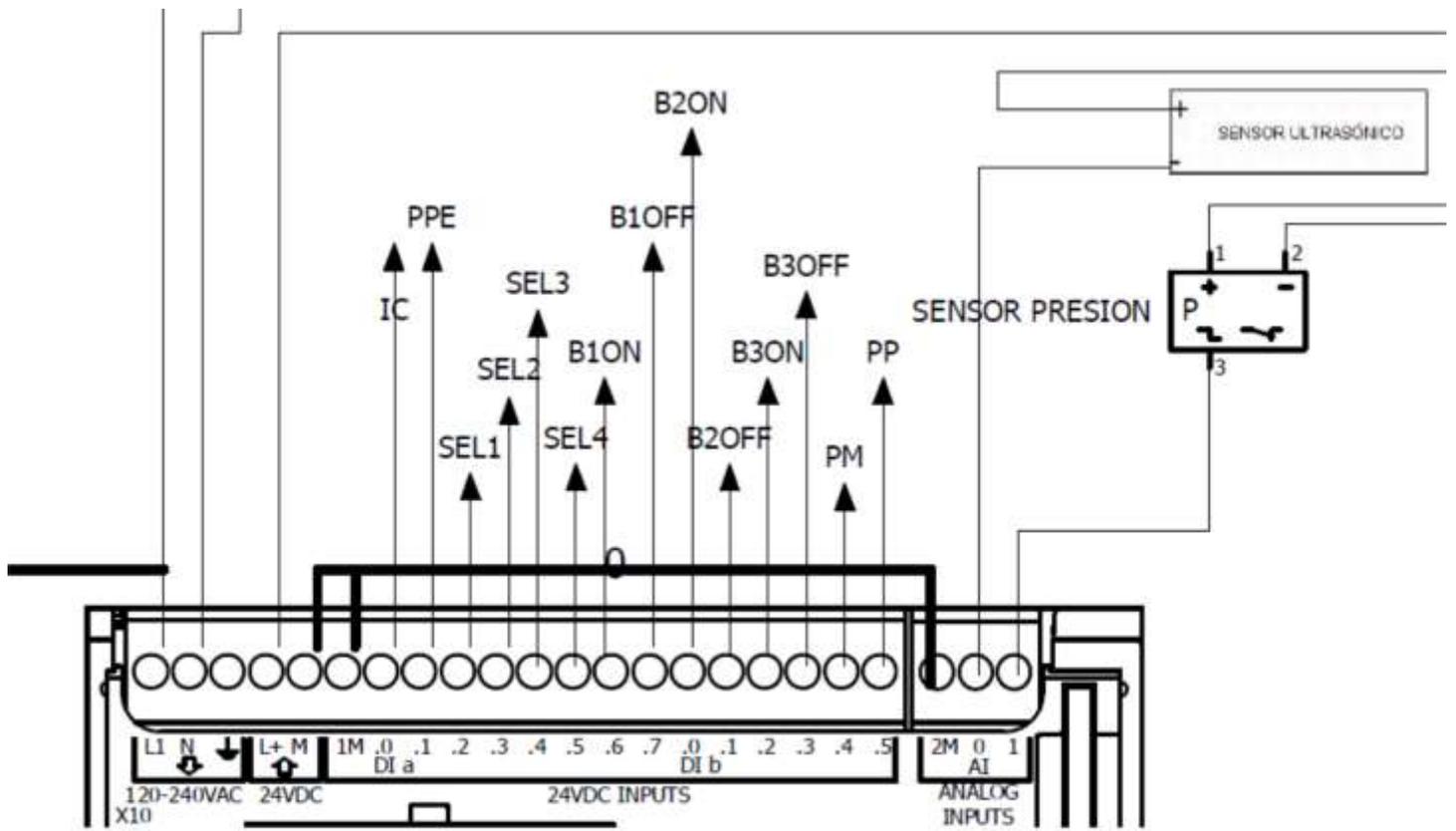


Figura 26. Diagrama del Circuito de Fuerza del Sistema

En las Figuras 27 y 28 se puede observar el conexionado de las entradas al PLC. Dichas entradas están compuestas por pulsadores y selectores, que vienen incluidos en el software, y se esquematizaron los sensores y la fuente de voltaje de 24 V para lograr representar su conexión real al sistema. En el Anexo 17 se observa una leyenda para definir el elemento perteneciente a cada entrada del PLC.



	Fecha	Nombre
Dibujado	31/01/2022	Anniabel Cardet

Figura 27. Diagrama de conexiones de entradas del PLC

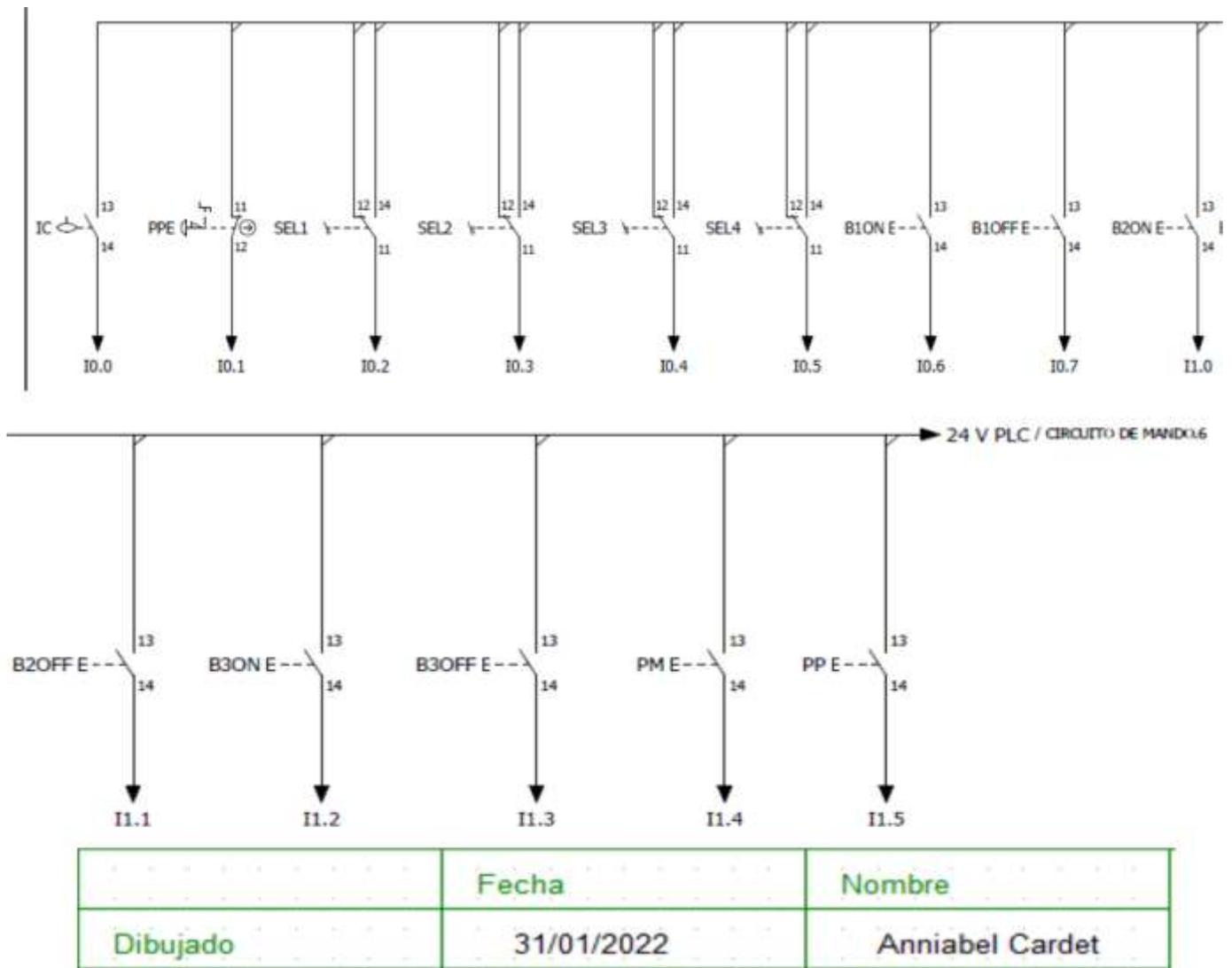


Figura 28. Diagrama de conexiones de entradas digitales al PLC

Por último, las conexiones de las salidas del PLC se observan en la Figura 29. Las salidas del PLC estarán conectadas a las bobinas de los contactores de cada bomba y a las luces piloto que indican el estado de operación de las bombas centrífugas.

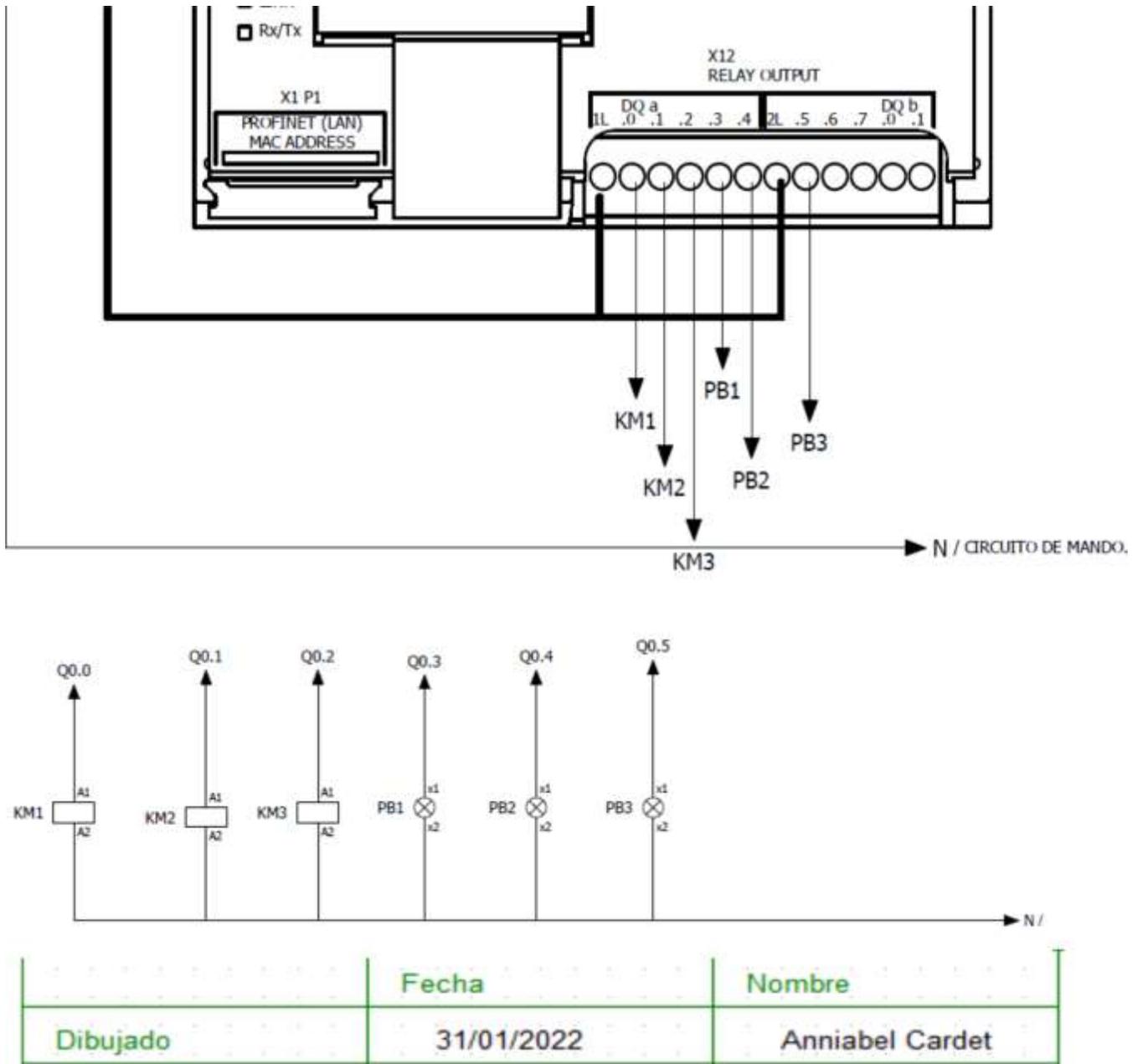


Figura 29. Diagrama de conexiones de salida del PLC

3.11.1. Diseño del tablero eléctrico del sistema de bombeo

En las Figuras 30 y 31 se puede observar el diseño en 3D del tablero eléctrico para el sistema de bombeo de agua potable. Dicho diseño se ejecutó en el Software Autodesk Fusion 360, cumpliendo con lo establecido en las normas NEC e INEN y empleando riel-din, canaletas y borneras para que el cableado se haga de manera ordenada.



Figura 30. Diseño interior del tablero eléctrico del sistema de bombeo

De la misma forma, en la Figura 31 se observa la puerta del tablero en la cual estarán colocadas las botoneras correspondientes al manejo del proceso, y el panel HMI. Además, se colocan etiquetas para que el operador identifique fácilmente la función que cumple cada pulsador o selector. En el Anexo 18 se detallan las dimensiones del tablero.



Figura 31. Puerta de tablero eléctrico del sistema

CONCLUSIONES

- Se ejecutó de manera satisfactoria el diseño del tablero de control del sistema de fuerza de la planta, posterior a la realización de los cálculos pertinentes de los dispositivos requeridos de acuerdo a sus parámetros eléctricos y al desarrollo de planos eléctricos del conexionado del sistema de fuerza y las entradas y salidas del PLC.
- Se llevó a cabo la programación en el PLC para la correcta automatización y control del sistema de bombeo de agua potable, validando parámetros de seguridad para el sistema, dotándolo de robustez. Se escalaron y normalizaron valores entregados por los sensores de presión y nivel, para obtener datos correctos acorde a lo establecido para este sistema. A su vez, se programaron alarmas, a mostrar previamente en el HMI, asegurando al operario el conocimiento inmediato de las fallas en el sistema para lograr dar una respuesta inmediata a las mismas.
- Se desarrolló la red industrial de todo el sistema, empleando protocolos de comunicación Ethernet, Profibus PA y Profibus DP, dotando al sistema de seguridad y tiempos cortos de reacción.
- Se diseñaron satisfactoriamente las interfaces HMI y SCADA para la supervisión del sistema de bombeo, contando con un sistema de manejo y monitoreo del proceso tanto de manera local como remota.

RECOMENDACIONES

- En la interfaz de Node – Red se recomienda analizar las características de funcionamiento de los paquetes de nodos que se vayan a emplear en el diseño además de su versión, para así evitar problemas en la interconexión con los equipos y en la compatibilidad con el Gateway Simatic IOT 2040.
- Se sugiere implementar este proyecto en el futuro y de esta forma continuar mejorándolo para dotarlo de mayor robustez y eficacia.
- En caso de implementarse, es necesario tomar en cuenta las características del sistema y del sensor de nivel, debido a que cada tanque de almacenamiento posee datos de capacidad variables.
- Para la transmisión y recepción de datos es de vital importancia emplear cables de red apantallado para precautelar la información digital evitando que la misma sea afectada por interferencias de ruido electromagnético que comúnmente ocurren en ambientes industriales.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. D. E. Economía, “UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL,” 2020.
- [2] E. Profesional and D. E. I. Civil, “No Title.”
- [3] “Facultad de Ingeniería Ingeniería Mecatrónica Programa Especial de Titulación : ‘ Diseño e Implementación de Sistema Automatizado en Cuarto de Bombas para el Suministro de Agua Potable en Edificio Torres Paz ’ Autor : Franks Christian Pahuara Rojas para o,” 2020.
- [4] L. Marco, ““CONTROL AUTOMÁTICO PARA BOMBEO DE AGUA CON VARIADORES DE VELOCIDAD PARA OBTENER PRESIÓN CONSTANTE ,”” p. 15, 2019, [Online]. Available: <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/1908>
- [5] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida,” p. 84, 2017, [Online]. Available: http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_OK.compressed1.pdf.
- [6] J. Lourdes, ““Automatización del Bombeo de Agua a través del Control de Nivel de la Cisterna de la Estación Miraflores Ep-Emapa,”” p. 176, 2015, [Online]. Available: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10702>.
- [7] Organización Panamericana de la Salud, “Guías para el Diseño de Estaciones de Bombeo de Agua Potable.,” *Organ. Panam. la Salud*, p. 39, 2005, [Online]. Available: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/161esp-diseno-estbombeo.pdf>.
- [8] P. B. Luna Castillo, Francisco Daniel, Prado Correa, “FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 01 Facultad de Ingeniería y Arquitectura,” *Univ. Andin. del Cusco*, pp. 1–118, 2020, [Online]. Available: http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [9] A. Brunete. *Introducción a la Automatización Industrial*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2020.
- [10] M. Gutiérrez. S. A. Iturralde, *Fundamentos Básicos de Instrumentación y control*.
- [11] V. A. Sánchez Tapia, “Diseño De Un Sistema Scada Con Control Remoto, Usando Un Controlador Lógico Programable (Plc), Un Sistema Cctv, Un Servidor Vnc Y El

- Software Team Viewer, Aplicado a La Seguridad Residencial,” *Univ. Nac. San Agustín Arequipa*, pp. 41–44, 2020, [Online]. Available: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/10654>.
- [12] F. H. Padilla Narvaez, “Sistema de bombeo de agua a presión constante mediante la aplicación de variadores de velocidad,” p. 261, 2000, [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10552/1/T1593.pdf>.
- [13] Aybar Mejía, M., Arias Martijena, A., Castillo Ruíz, A. A., Roa Arias, Ángel I., Bidó Cuello, E., García Maimó, J., & Mariano-Hernández, D. (2021). Protocolos y topologías utilizadas en los sistemas de comunicación de las microrredes eléctricas. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(1), 81-95. DOI: <https://doi.org/10.22206/cyap.2021.v4i1.pp81-95>
- [14] Silva Conde, A., Ortiz Carrasco, H., Segovia Neira, B, “Simulación de procesos industriales mediante la implementación de un protocolo de comunicación profibus DP”, 2021, [Online]. Available: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7632>
- [15] I. Cevallos and D. Santo, *Diseño e implementación de un módulo didáctico para prácticas de red Profibus y Profinet con PLCs s71500 aplicado a motores trifásicos*. 2020.
- [16] Servicio Ecuatoriano de Normalización, “Código de práctica sobre protección contra incendios. Sección VIII: Instalaciones Eléctricas”, [Online]. Available: https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5%20Parte%208_Sec_8.pdf
- [17] NEC, “Nationa Electric Code,” p. 1470, 2015.
- [18] C. Andr, “Diseño y simulación de un sistema de monitoreo para un proceso de control de temperatura mediante PLC e IoT para la empresa Educatia,” 2021.
- [19] Siemens (2019, Enero 01). Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos (Edición Enero 1 de 2019) [Online]. Available: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:3424fd64-1a13-4d4f-b05b-5da93a1919ce/version:1566593499/lista-de-preciosindustriaecuador.pdf>
- [20] Siemens (2021, Febrero 01). Lista de Precios Productos Industriales Eléctricos (Edición Febrero 1 de 2021) [Online]. Available: https://electricoindustrial.com.ec/catalogos/Catalogoo_SIEMENS.pdf
- [21] Pedrollo. Electrobombas centrífugas normalizadas ‘EN 733’ [Online]. Available: <https://www.pedrollo.com/es/f-electrobombas-centrifugas-normalizadas-en-733/144>

- [22] S. Float and L. Switches, “Switch - Tek,” no. 562, pp. 1–10.
- [23] INSTRUPROCESOS, “Catálogo de productos 2020,” 2020, [Online]. Available: www.sensortecsa.com.ec
- [24] TECO WESTINGHOUSE, “Arrancadores Suaves,” pp. 5–11, 2013, [Online]. Available: www.tecowestinghouse.com
- [25] Schneider, Ficha técnica del Interruptor Automático Fijo EasyPact EZC100N TMD
<https://www.se.com/pe/es/product/EZC100N3060/interruptor-automático-fijo-easypact-ezc100n-tmd-60a-3p3d/>
- [26] Schneider, Hoja de características del Contactor Tesys D- 3P (3NA) – AC-3,
[Online]. Available: <https://www.se.com/es/es/product/LC1D18M7/contactor-tesys-d-3p3-na-ac3-440-v-18-a-220-v-ca-bobina/?node=12146440908-contactors&range=664-tesys-d-tesys-deca-control-tallas-1-2-y-3&selected-node-id=12146440908>
- [27] Schneider, Product data sheet of TeSys LRD thermal overload relays – 12…18 A,
[Online]. Available: <https://www.se.com/ww/en/product/LR3D216/tesys-lrddeca-thermal-overload-relays-12-18-a-class-10a/?node=12146783929-thermal-overload-relays&range=1885-tesys-deca-overload-relays&selected-node-id=12146783929>

ANEXOS

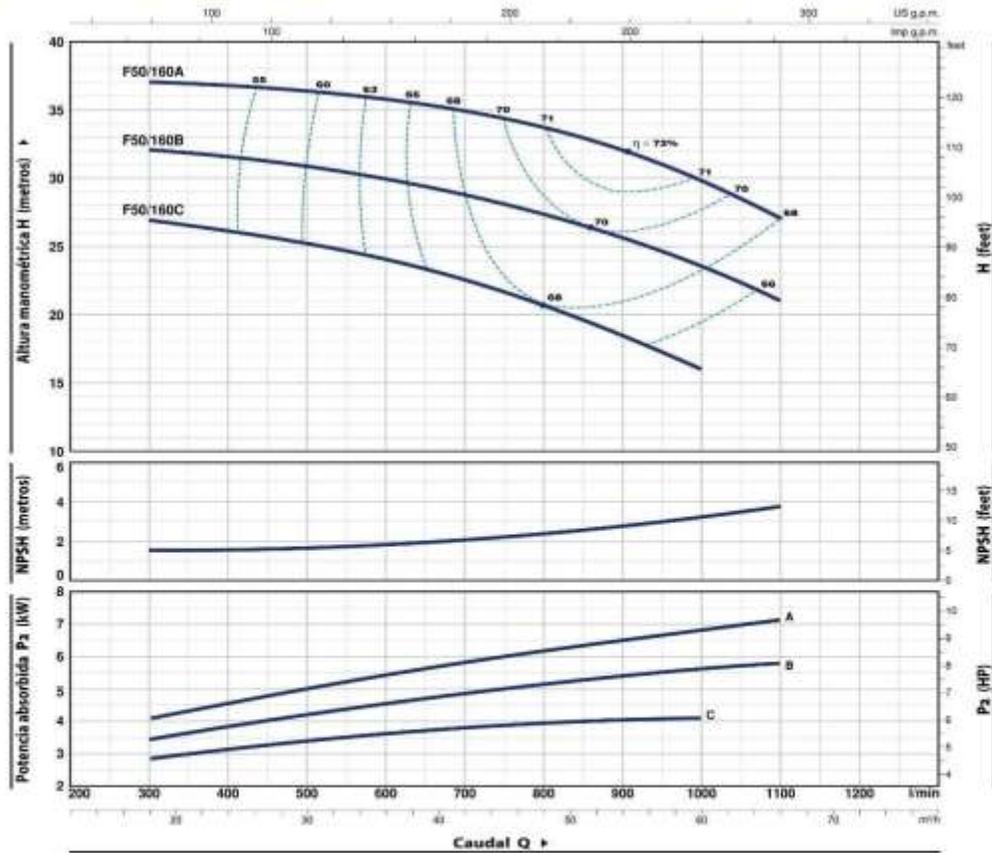
ANEXO 1. Curva de datos y prestaciones de la bomba Pedrollo F 50/160A

F50/160



CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



MODELO	POTENCIA (Pa)		Q	Caudal											
	kW	HP		0	38	42	48	54	60	66	72	78	84	90	
Trifásica			l/min	0	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100		
F 50/160C	4	5.5	H metros	27	27	26.5	25	24.5	23	20	18.5	16			
F 50/160B	5.5	7.5		33	32	31.7	31	30	29	27	26	24	21		
F 50/160A	7.5	10		38	37	36.8	36.5	36	34	33	32	30	27		

Q = Caudal H = Altura manométrica total NS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

F50/160 | 60 Hz

Fuente: Ficha técnica del fabricante Pedrollo [21]

ANEXO 2. Tablas de comparación de equipos para el sistema automatizado.

COMPARATIVA DE CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

	 Módulo lógico programable LOGO!	 SIMATIC S7-1200 CPU 1212 C AC/DC/RELÉ	 SIMATIC S7-1200 CPU 1214 C AC/DC/RELÉ
Alimentación	12/24 VDC	110/220 VAC	110/220 VAC
Entradas digitales	4 (0 – 10 VDC)	8 a 24 V	14 a 24 V
Entradas analógicas	4 (0-10 VDC)	2 a 24 V	2 a 24 V
Salidas digitales	4 tipo relé	6 tipo relé	10 tipo relé

COMPARATIVA DE HMI

	 HMI PANEL SIEMENS KTP400 BASIC PN	 HMI PANEL SIEMENS KTP700 BASIC PN	 HMI PANEL SIEMENS TP900 COMFORT
Alimentación	24 V DC	24 V DC	24 V DC
Diagonal de pantalla	4,3 pulgadas	7 pulgadas	9 pulgadas
Protocolos	PROFINET	PROFINET	PROFINET (2 SWITCH) PROFIBUS DP/MPI(RS485/RS422)

COMPARATIVA DE SENSORES DE NIVEL



Sensor ultrasónico industrial Automation
Technology



Transmisor de nivel SITRANS LU150

Alimentación	12 VDC	24 VDC
Señal de salida	0-5 V	4-20 mA
Rango de medición	0-20 m	0-5 m
Protección	IP66	IP68

COMPARATIVA DE BOMBAS CENTRÍFUGAS



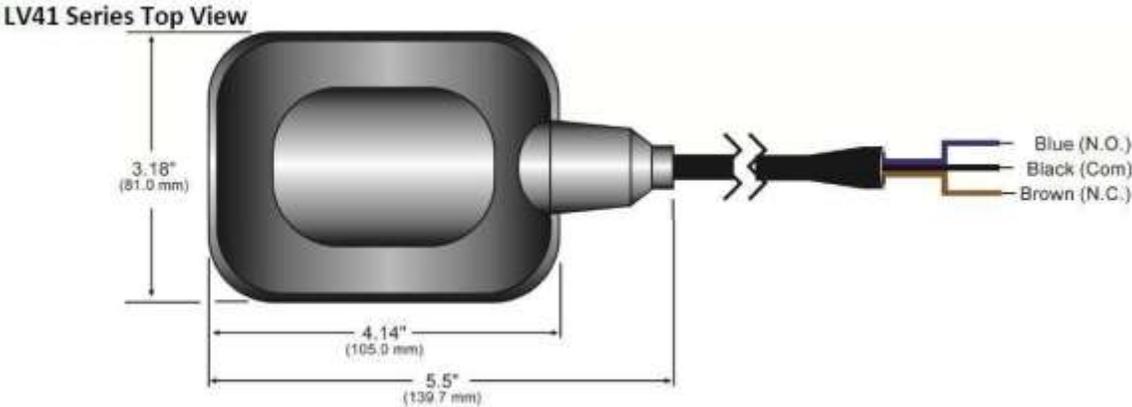
Bomba Centrífuga Pedrollo F 50/160 A



Bomba Centrífuga Pedrollo F 65/200 AR

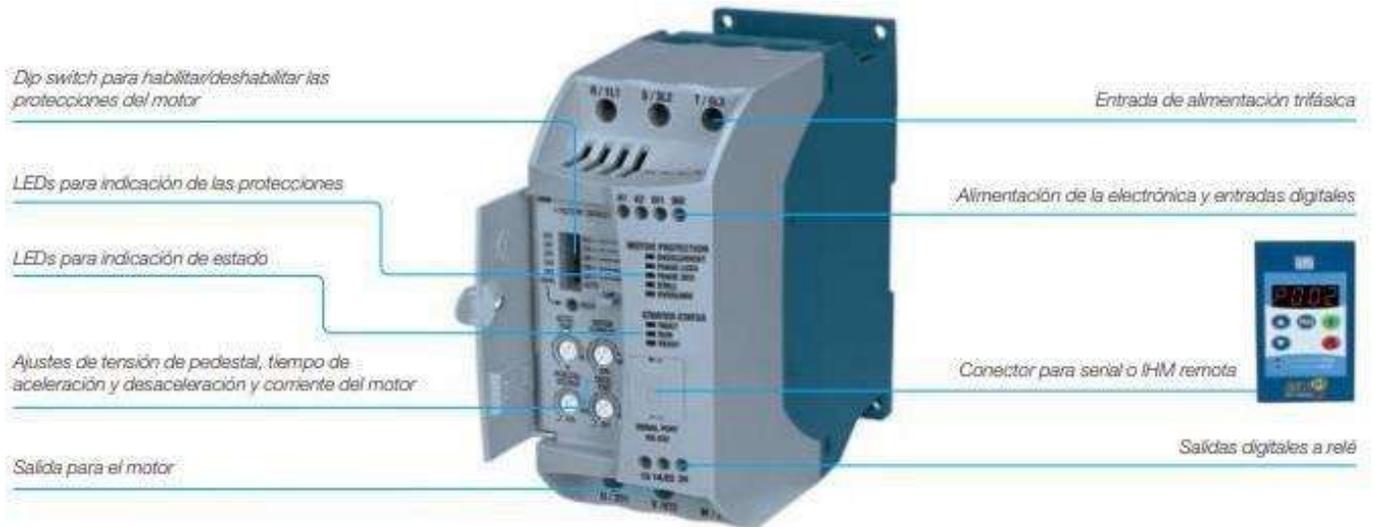
Tensión	220/380/440 V	220/380/440 V
Potencia (HP)	10 HP	30 HP
Frecuencia	60 Hz	60 Hz
Altura máxima	36 m	57 m
Consumo en Amperios	28/16.5/9.5 A	97/56/48 A

ANEXO 3. Diagrama de conexión del interruptor de nivel



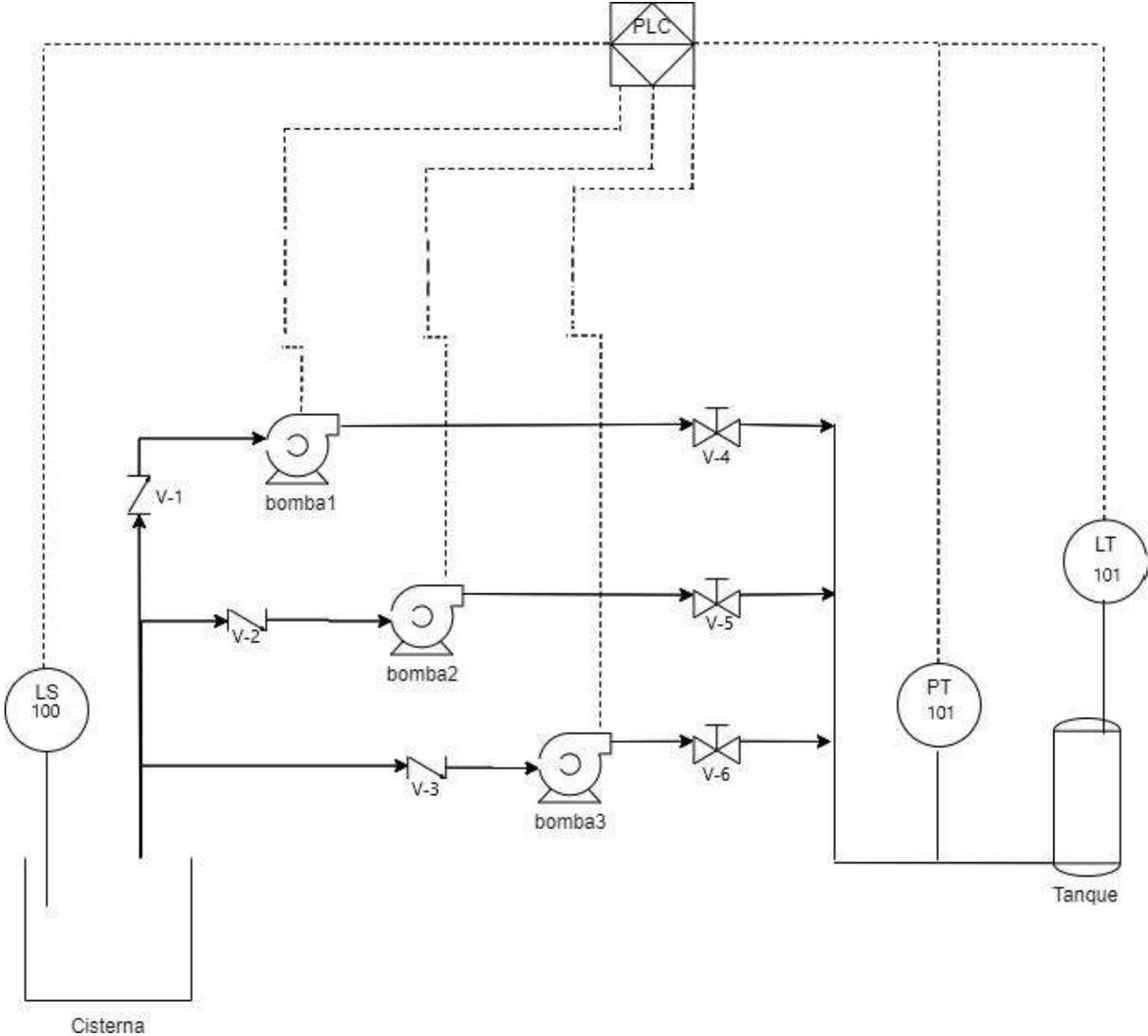
Fuente: Ficha técnica del fabricante FLOWLINE [22]

ANEXO 4. Diagrama de entradas y salidas del arrancador suave WEG SSW050045T2246PPZ



Fuente: Catálogo del fabricante [24]

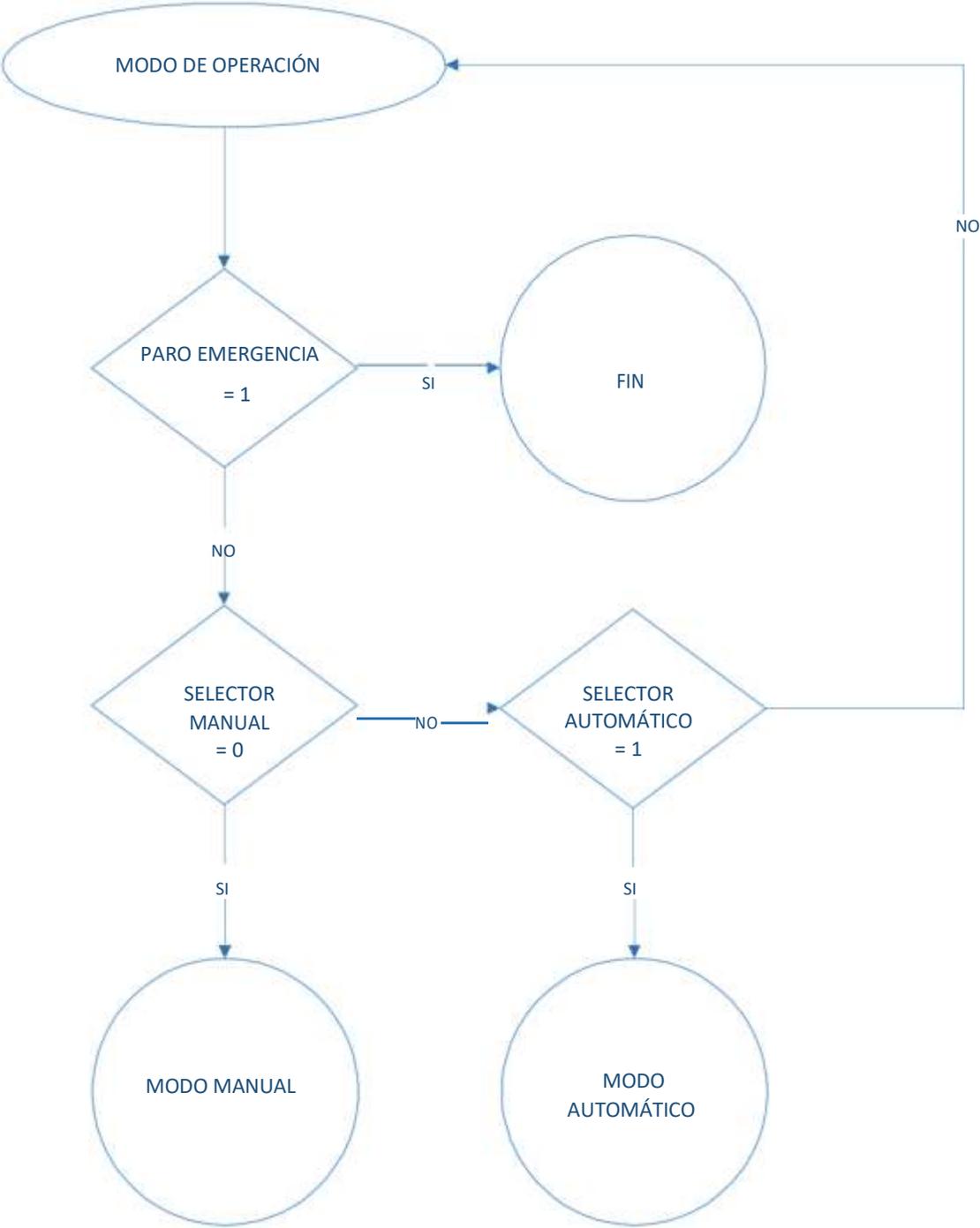
ANEXO 5. Diagrama P&ID del sistema automatizado de rebomdeo de agua potable.



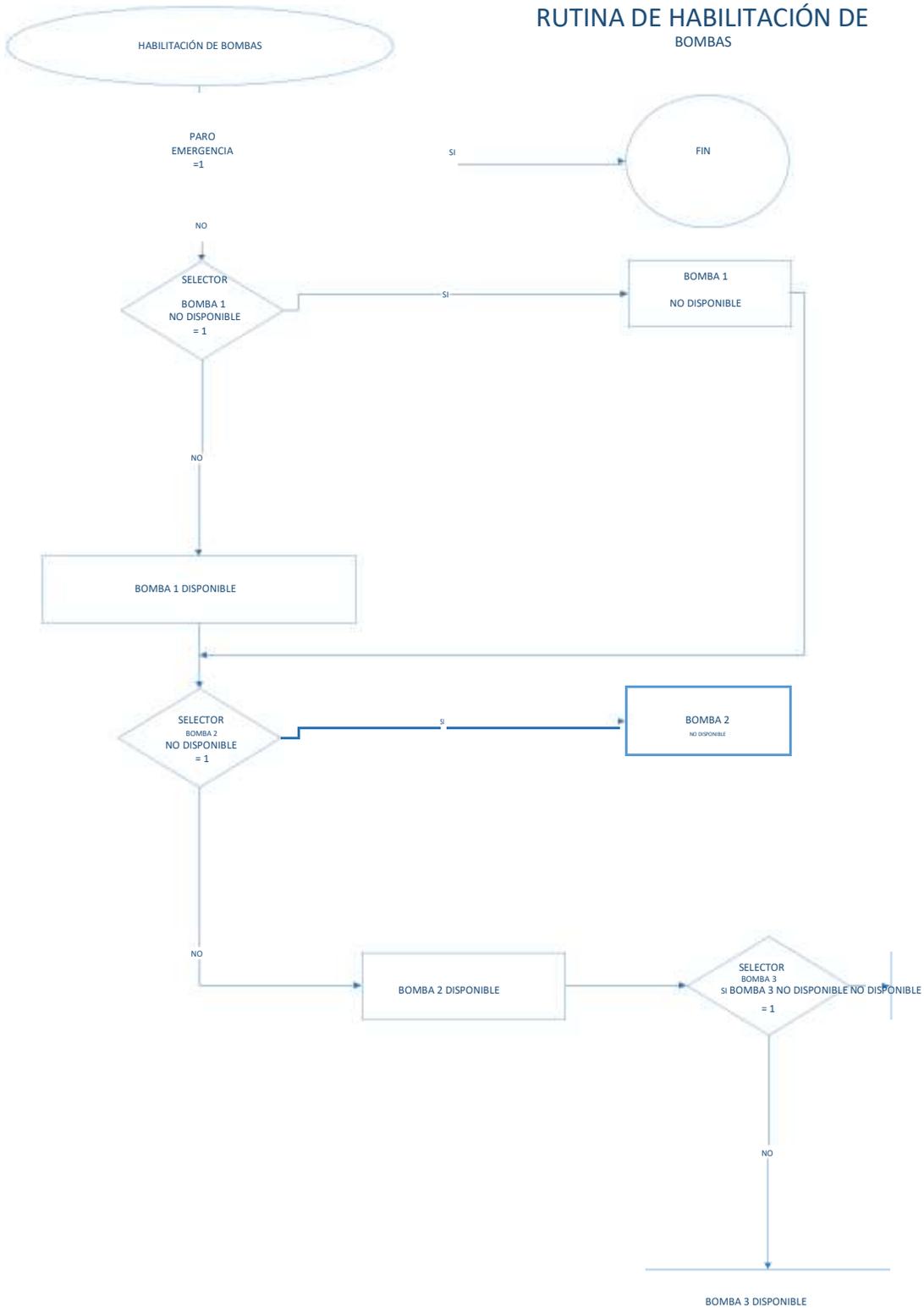
ANEXO 6. Diagrama de protocolos de comunicación presentes en el sistema automatizado de bombeo de agua potable



ANEXO 7. Diagrama de flujo modo de operación del sistema

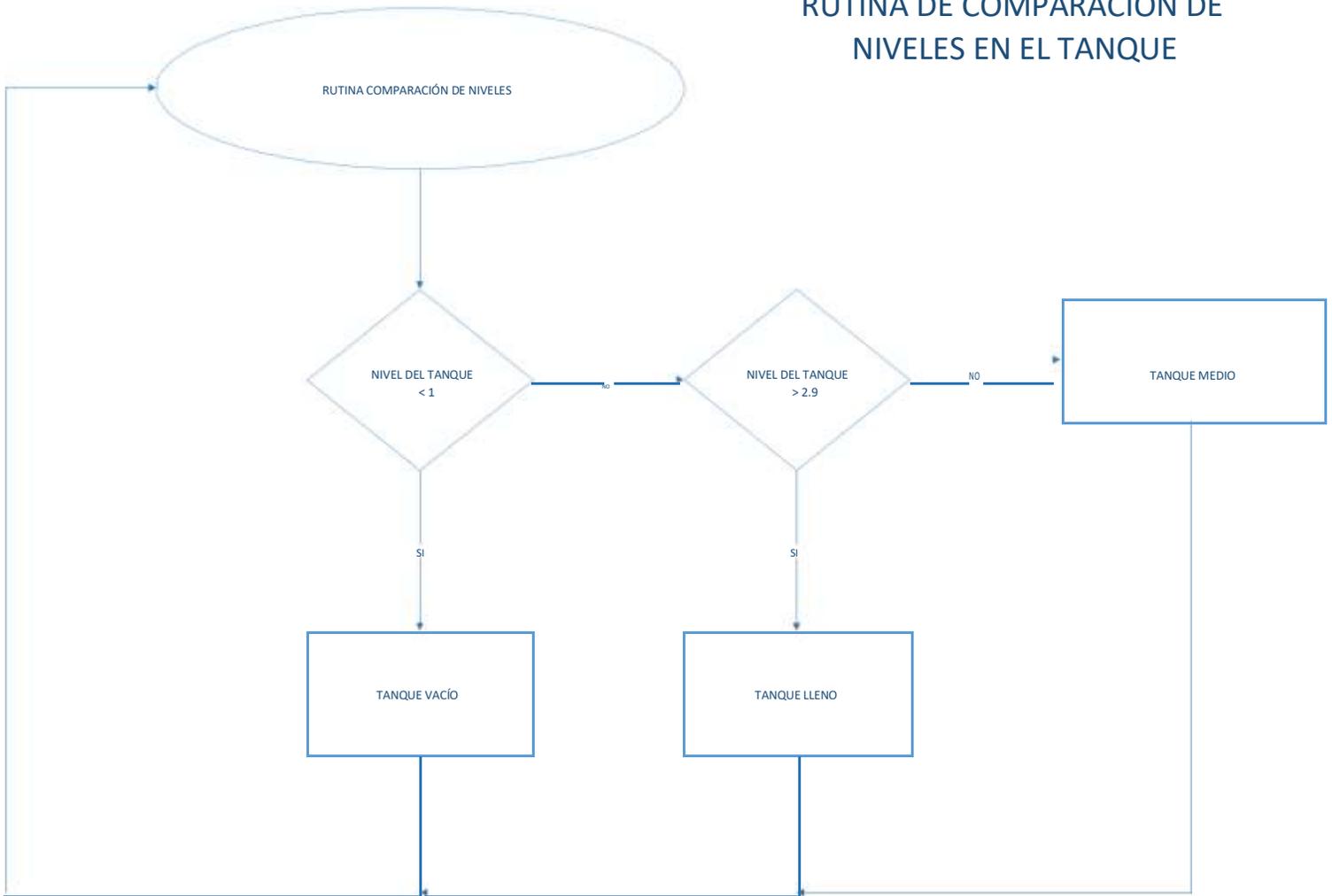


ANEXO 8. Diagrama de flujo habilitación de bomba



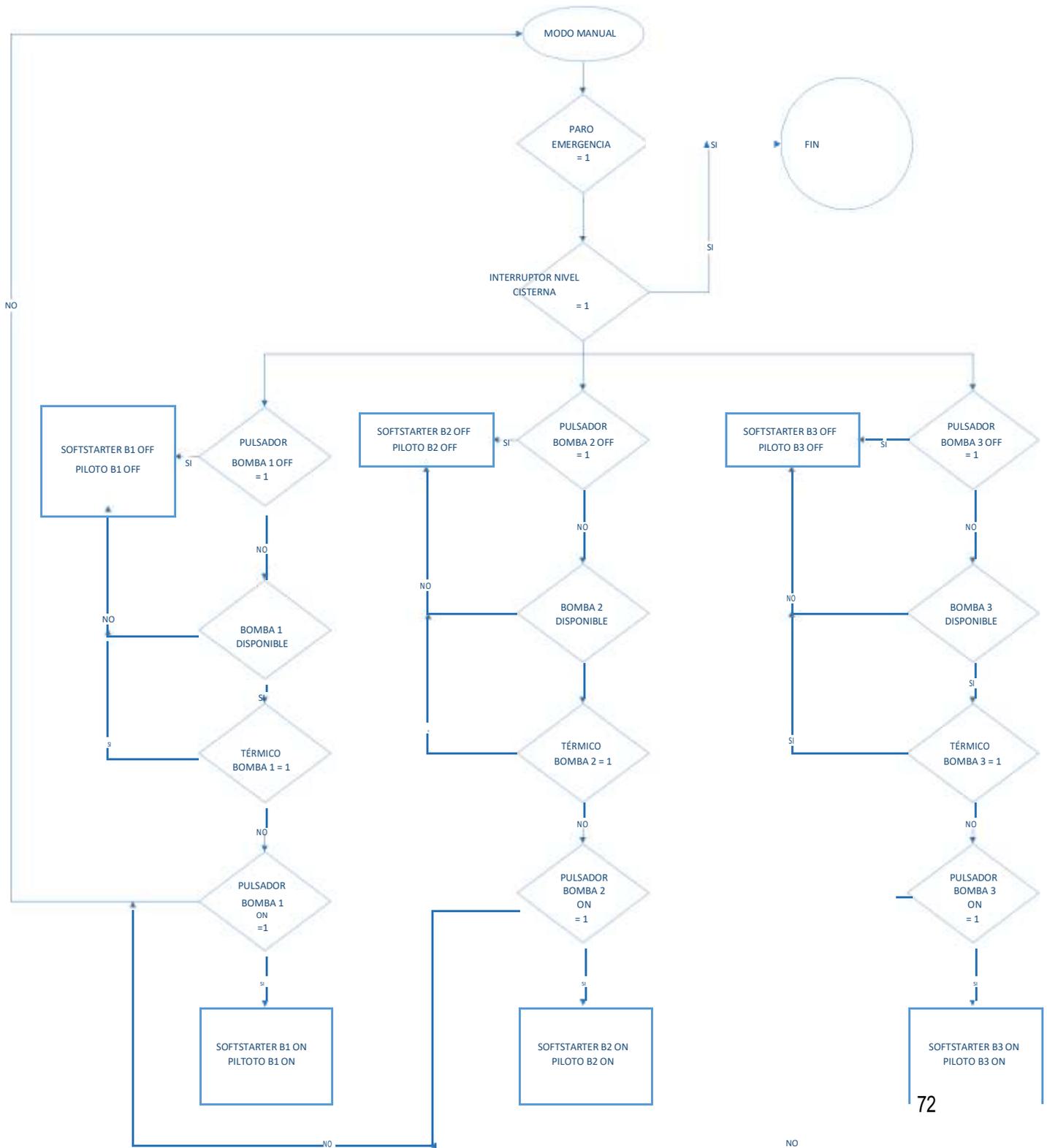
ANEXO 9. Diagrama de flujo comparación de niveles

RUTINA DE COMPARACIÓN DE NIVELES EN EL TANQUE



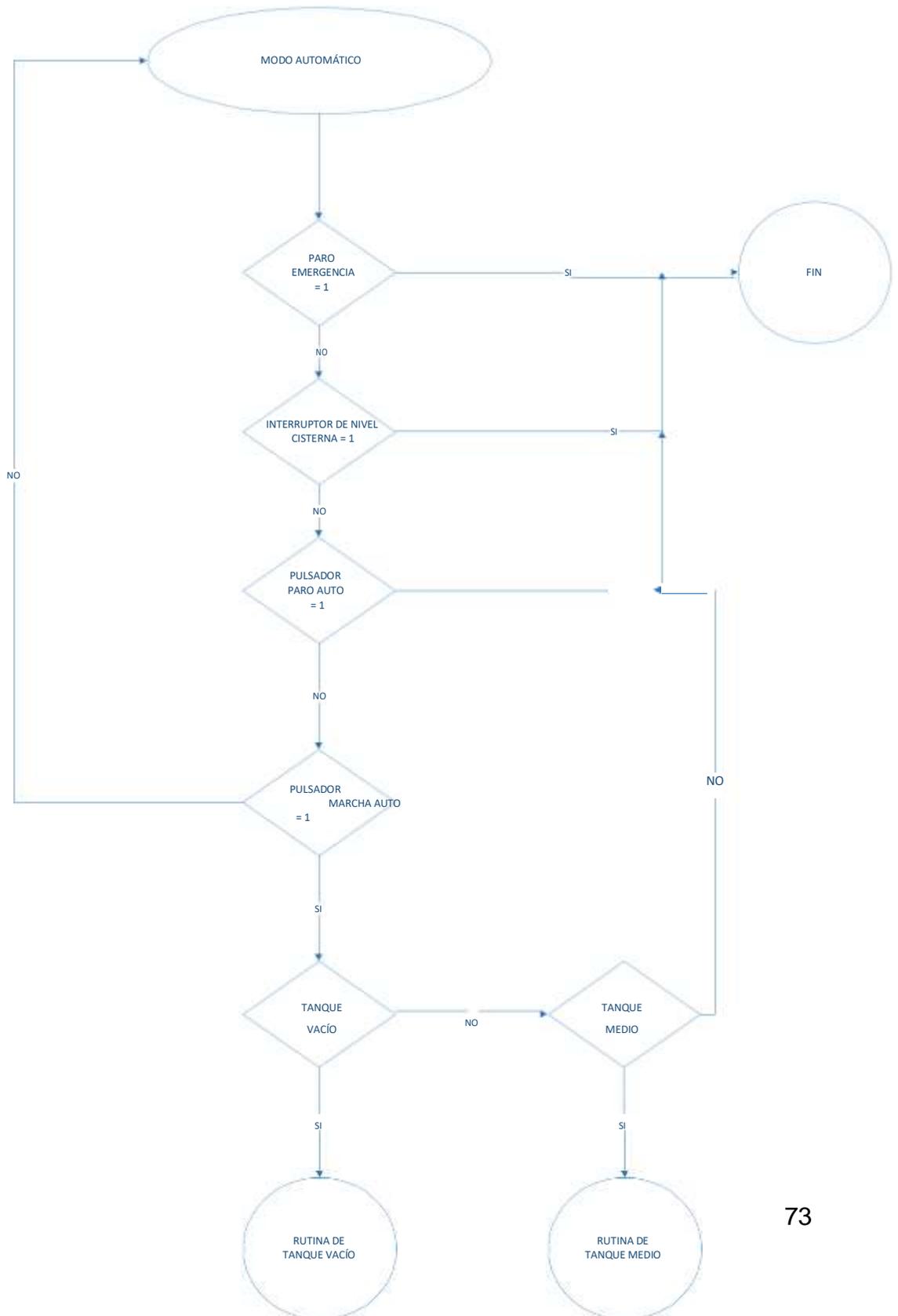
ANEXO 10. Diagrama de flujo modo manual

RUTINA MODO MANUAL



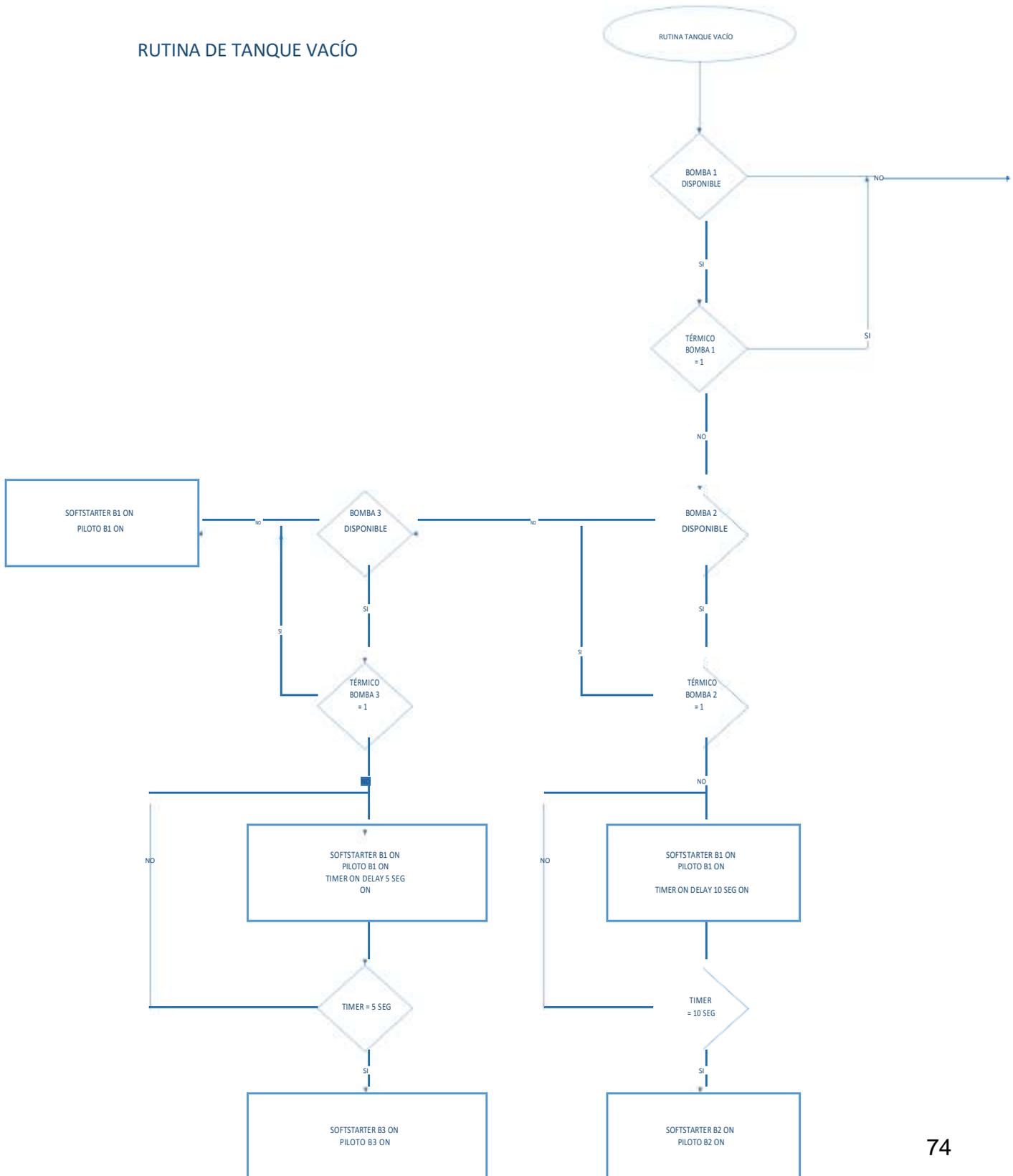
ANEXO 11. Diagrama de flujo modo automático

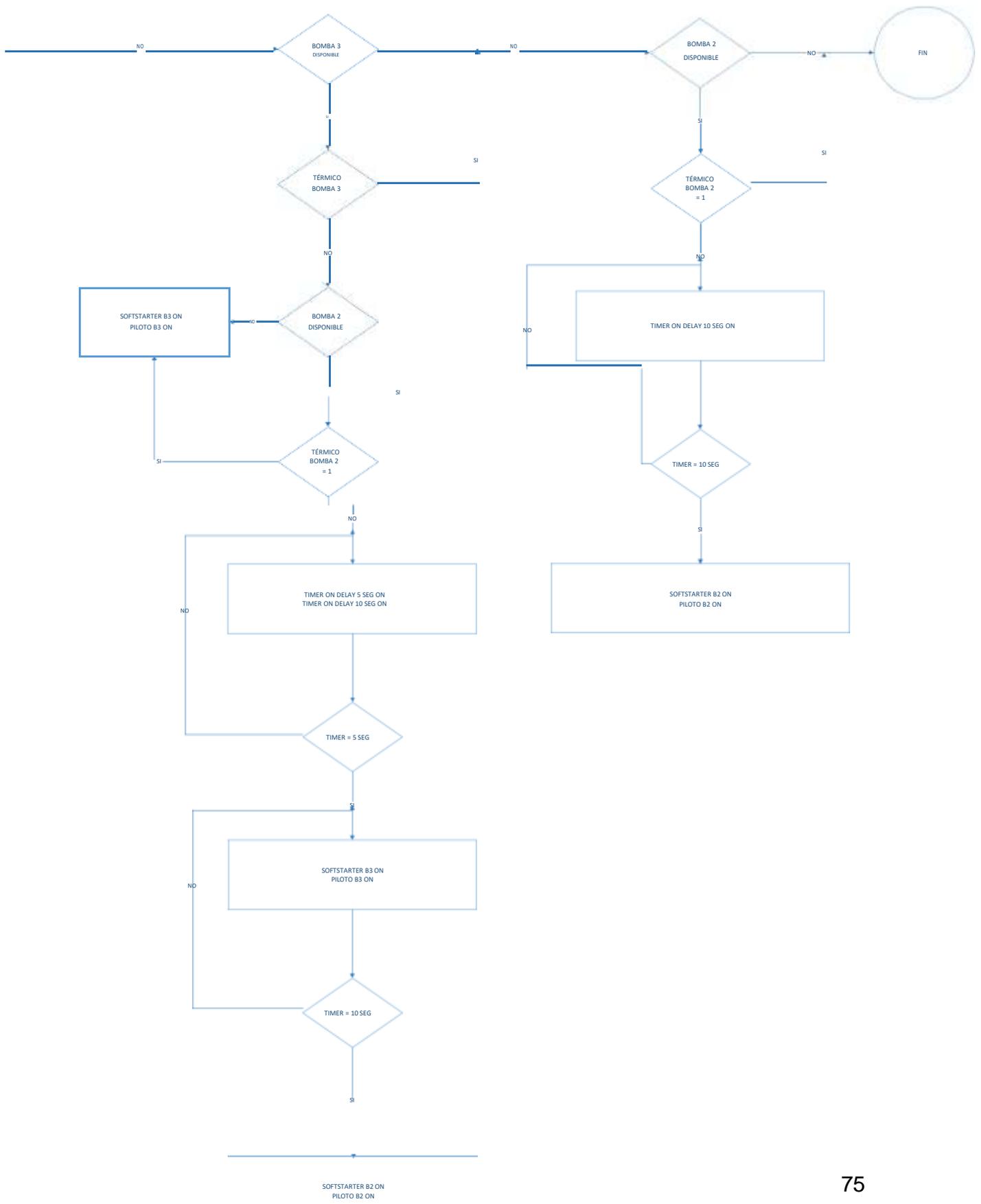
RUTINA MODO AUTOMÁTICO



ANEXO 12. Diagrama de flujo rutina tanque vacío

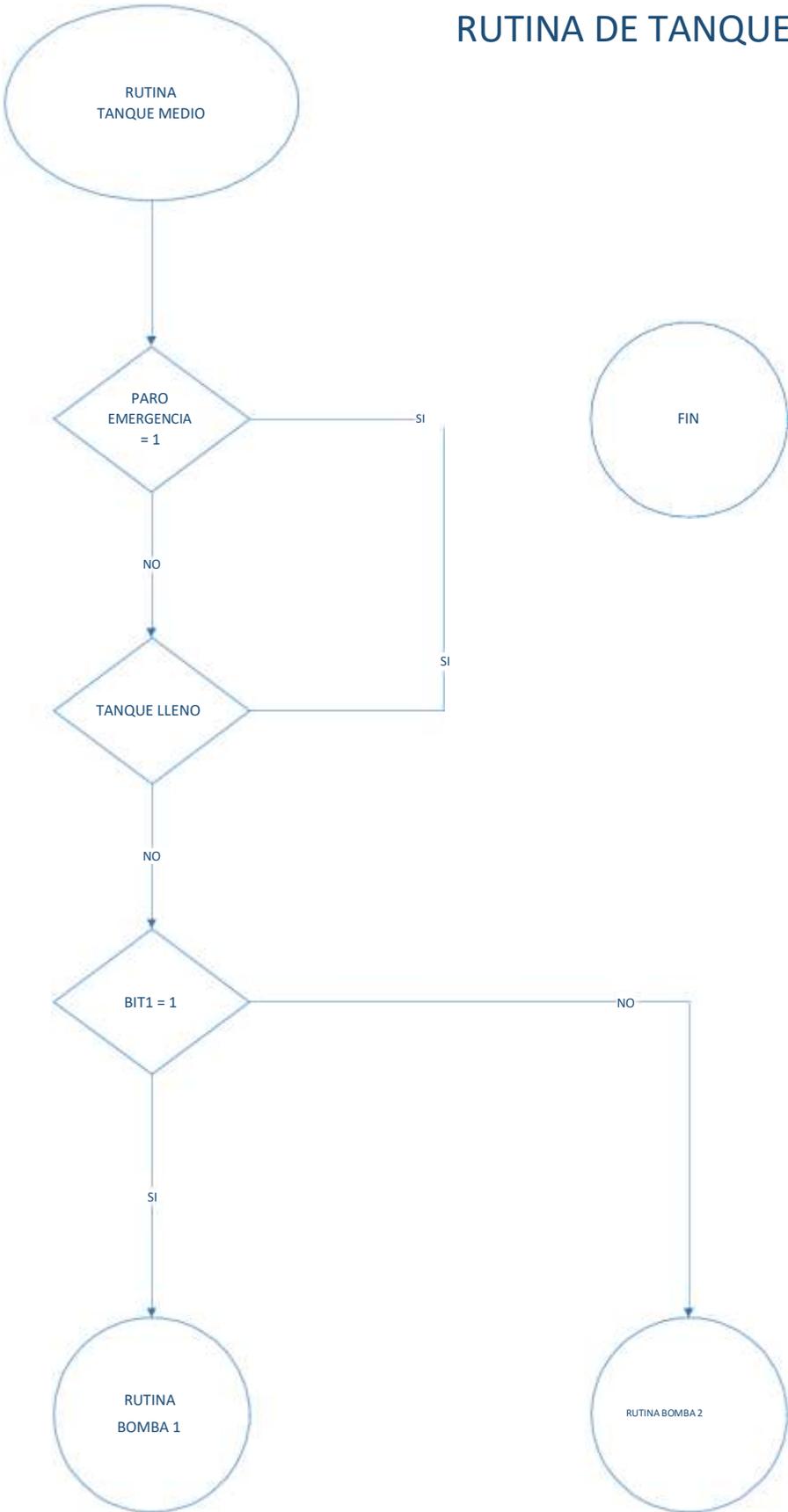
RUTINA DE TANQUE VACÍO





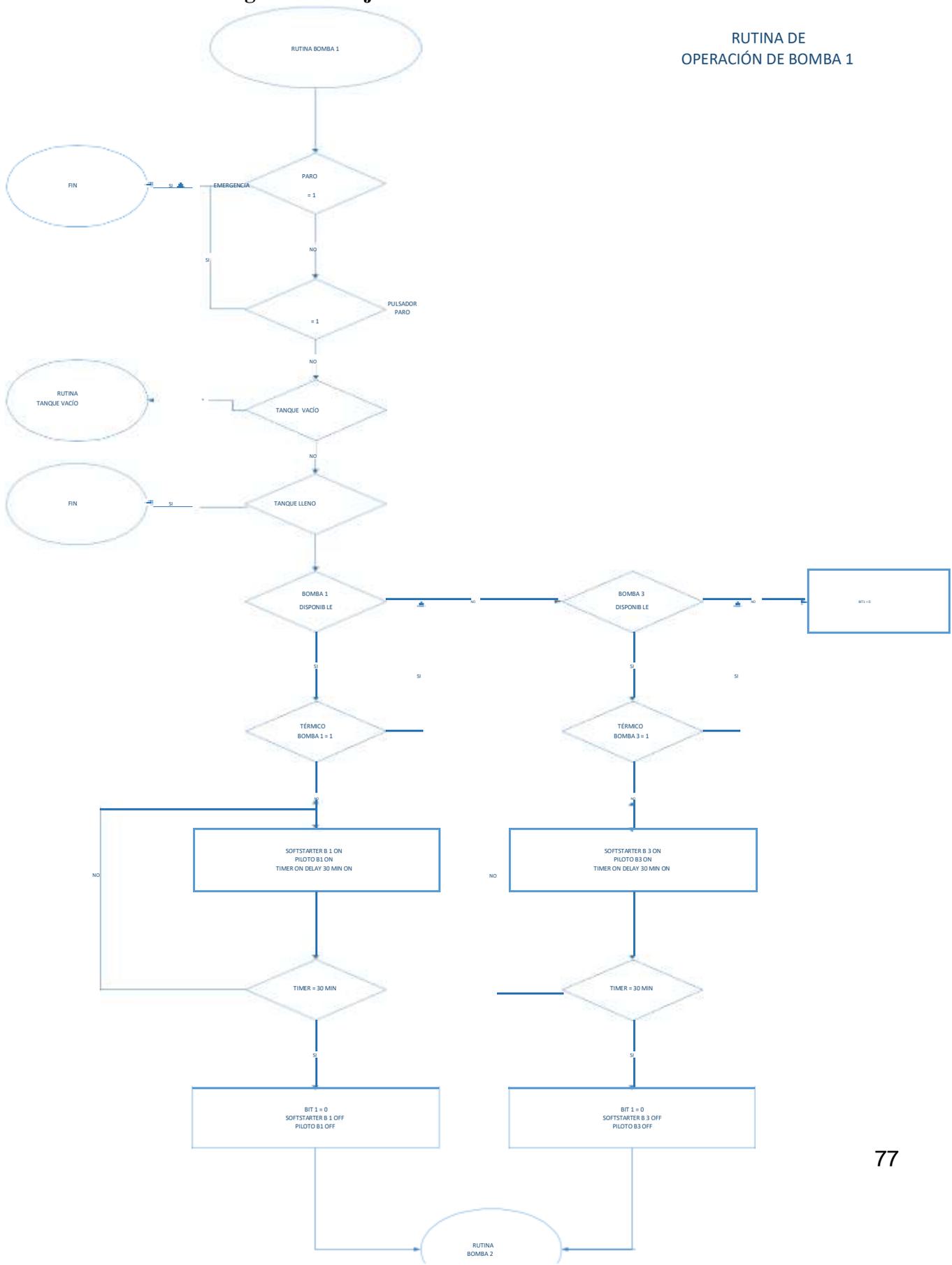
ANEXO 13. Diagrama de flujo rutina tanque medio

RUTINA DE TANQUE MEDIO



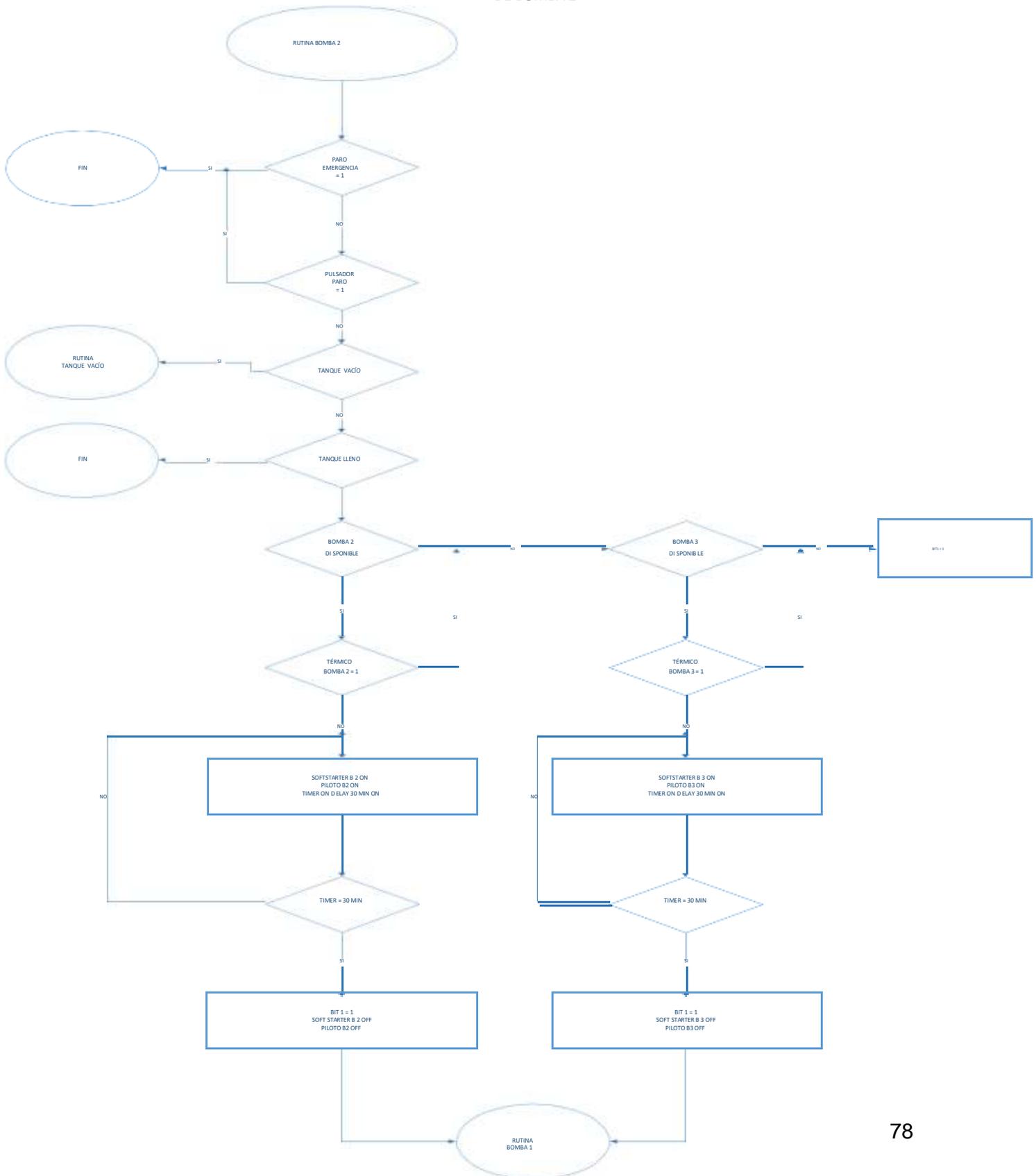
ANEXO 14. Diagrama de flujo rutina bomba 1

RUTINA DE OPERACIÓN DE BOMBA 1

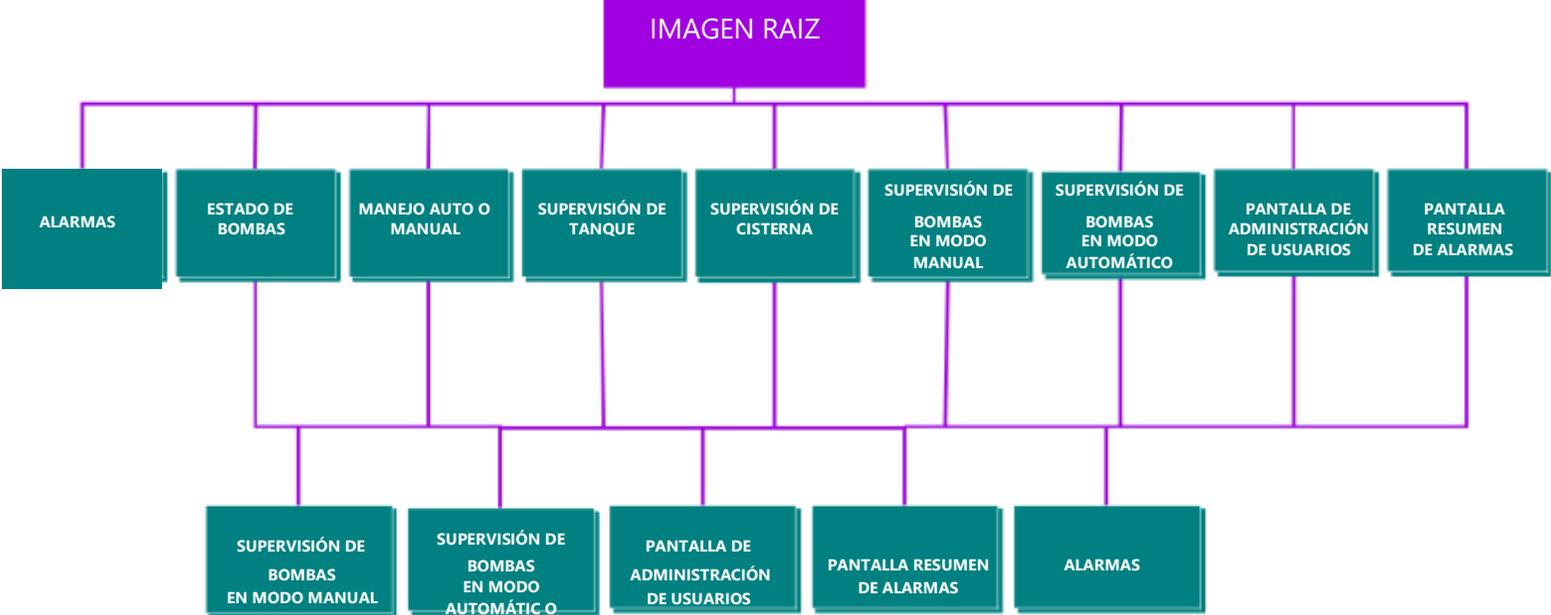


ANEXO 15. Diagrama de flujo rutina bomba 2

RUTINA DE OPERACIÓN DE BOMBA 2



ANEXO 16. Distribución de pantallas en HMI

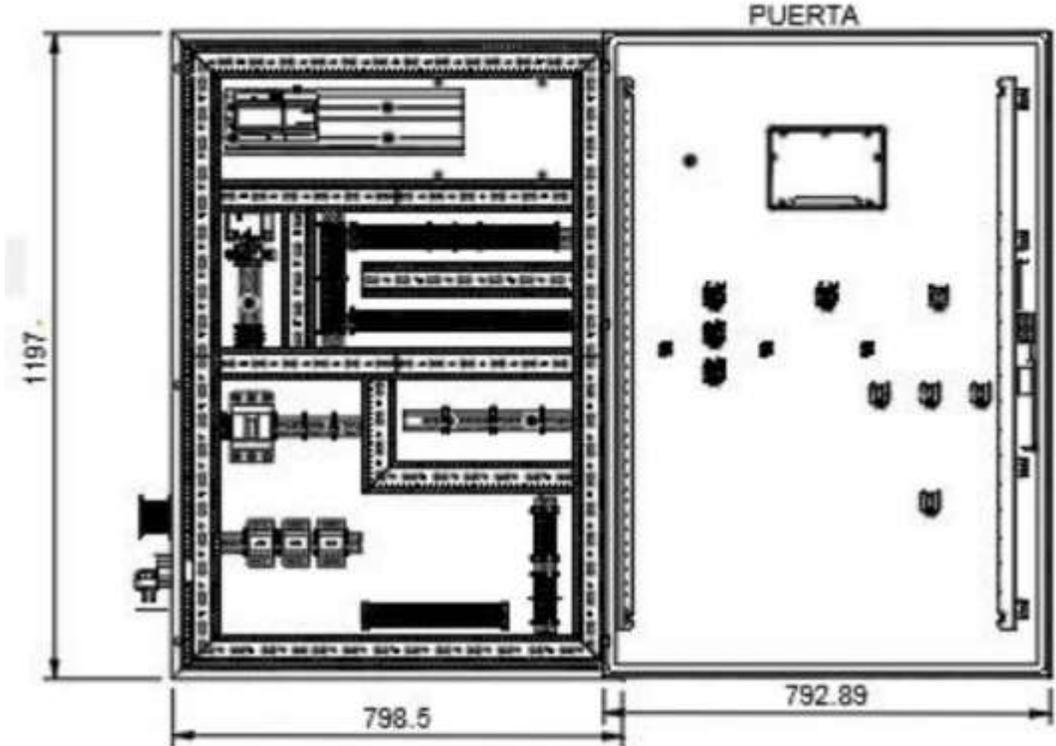


ANEXO 17. Leyenda de la variable de entrada al PLC

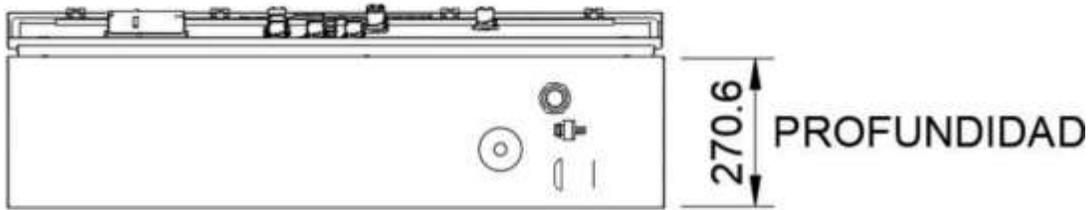
VARIABLE	SIGNIFICADO	PM	PULSADOR MARCHA AUTO
B1	BOMBA 1	PP	PULSADOR PARO AUTO
B2	BOMBA 2		
B3	BOMBA 3		
PE	PARO DE EMERGENCIA		
SEL 1	SELECTOR MANUAL-AUTO		
SEL 2	SELECTOR DISPONIBILIDAD B1		
SEL 3	SELECTOR DISPONIBILIDAD B2		
SEL 4	SELECTOR DISPONIBILIDAD B3		
B1ON	PULSADOR PRENDE B1		
B1OFF	PULSADOR APAGA B1		
B2ON	PULSADOR PRENDE B2		
B2OFF	PULSADOR APAGA B2		
B3ON	PULSADOR PRENDE B3		
B3OFF	PULSADOR APAGA B3		

ANEXO 18. Dimensiones del tablero eléctrico del sistema

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



ANEXO 19. Circuito de mando del sistema

