



**UNAP**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**MEJORAMIENTO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE DOS EQUIPOS  
DEL LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA-2023**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:**

**HADRYAN CORAINNE GÓMEZ BARDALES**

**MILAGROS JHANINA HUAYAS NAVARRO**

**ASESORES:**

**Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.**

**Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2024**



**UNAP**

**Facultad de Ingeniería Química  
Unidad de Investigación**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 004 -CGT-FIQ-UNAP-2024**

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 22 días del mes de Marzo de 2024, a horas 11:00, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"MEJORAMIENTO DEL CONTROL AUTOMÁTICO DE DOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA - 2023"**, aprobado con Resolución Decanal N° 056-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Hadryan Corainne Gómez Bardales y Milagros Jhanina Huayas Navarro**, para optar el título profesional de **Ingeniero Químico**, que otorga la Universidad de acuerdo Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R. D. N° 025-2024-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. HUGO EMERSON FLORES BERNUY, Dr.	Miembro
Lic. ARTURO SECLÉN MEDINA, Dr.	Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente

El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

La sustentación pública y la tesis ha sido: aprobada con la calificación buena, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico. Siendo las 11:43 se dio por terminado el acto de Sustentación

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.  
Presidente de Jurado

Ing. HUGO EMERSON FLORES BERNUY, Dr.  
Miembro

Lic. ARTURO SECLÉN MEDINA, Dr.  
Miembro

Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.  
Asesor

Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.  
Asesor



**JURADO Y ASESOR**



.....  
**Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.**  
**Presidente de Jurado**



.....  
**Ing. HUGO EMERSON FLORES BERNUY, Dr.**  
**Miembro**



.....  
**Lic. ARTURO SECLÉN MEDINA, Dr.**  
**Miembro**



.....  
**Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.**  
**Asesor**



.....  
**Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.**  
**Asesor**

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

FIQ\_TESIS\_GOMEZ BARDALES\_HUAYAS  
NAVARRO.pdf

AUTOR

GOMEZ BARDALES / HUAYAS NAVARRO

RECuento DE PALABRAS

13406 Words

RECuento DE CARACTERES

65166 Characters

RECuento DE PÁGINAS

62 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.0MB

FECHA DE ENTREGA

Mar 30, 2024 7:57 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Mar 30, 2024 7:58 PM GMT-5

### ● 37% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 35% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 26% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a la persona que siempre ha iluminado mi camino con amor y apoyo incondicional: mi querida madre. Tu constante aliento y confianza en mí han sido mi mayor inspiración. Este logro es tuyo tanto como mío, y espero que esta tesis sea un testimonio de la gratitud y admiración que siento por ti. Gracias por ser la razón de mis éxitos y la razón por la que nunca dejé de esforzarme. Te amo más allá de las palabras.

**Hadryan Corainne Gómez Bardales**

Dedicatoria: a mi madre a la mujer que con su entereza me enseña lo que es vivir; que con su amor y consejo me dio el impulso para salir adelante. A ella que supo ser madre y amiga y aunque hubo momentos difíciles, siempre conté con su apoyo, ante todo. Gracias a ti, hoy veo convertirse en realidad una de mis metas.

**Milagros Jhanina Huayas Navarro**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a dos mujeres excepcionales en mi vida: a mi amada madre, quien con su amor incondicional y apoyo constante me ha inspirado a perseguir mis sueños; y a mi querida abuela, cuya sabiduría, cariño y ejemplo de fortaleza han sido una guía invaluable en mi camino hacia el logro de esta tesis. Su influencia y amor han sido pilares fundamentales en mi éxito académico. ¡Gracias por todo!

**Hadryan Corainne Gómez Bardales**

Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio, enseñándome a valorar todo lo que tengo. A todos ellos dedico el presente trabajo, porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida. Lo que ha contribuido a la consecución de este logro. Espero contar siempre con su valioso e incondicional apoyo. ¡Gracias por todo!

**Milagros Jhanina Huayas Navarro**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESORES	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Los controladores lógicos programables	5
1.2.2. Estructura general de un controlador lógico programable	6
1.2.3. Lenguajes de programación de los controladores lógicos	7
1.2.4. Entradas de un PLC	9
1.2.5. Salidas de un PLC	10
1.2.6. Temporizadores (Timers)	11
1.2.7. PLC Zelio Logic	11
1.2.8. Programación del PLC Zelio Logic	12
1.3. Definición de términos básicos	17
1.3.1. Variables en la alternancia de cuatro electrobombas	17
1.3.2. Variables en el temporizado de una electrobomba	18
1.3.3. Circuito lógico	19
1.3.4. Enclavamiento o retención	19
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	20
2.1. Formulación de la hipótesis	20
2.2. Variables y su operacionalización	20
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	24
3.1. Tipo y diseño	24
3.1.1. Esquema para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP	26

3.1.2. Descripción de la alternancia de cuatro electrobombas	28
3.1.3. Descripción del temporizado de una electrobomba	29
3.1.4. Elaboración del circuito lógico para el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP	29
3.1.5. Relación entre la situación de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PCL	36
3.1.6. Determinación de la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC	37
3.1.7. Diagrama de instalación eléctrica	39
3.1.8. Montaje e instalación del sistema de automatización	40
3.1.9. Pruebas de funcionamiento del sistema de automatización en los dos equipos de laboratorio	41
3.2. Diseño muestral	44
3.3. Procedimientos de recolección de datos	45
3.4. Procesamiento y análisis de datos	46
3.5. Aspectos éticos	46
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	47
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	57
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	58
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	60
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	61
ANEXOS	63
Anexo 1. Matriz de consistencia	64
Anexo 2. Especificaciones técnicas de los componentes principales del sistema de automatización	65
Anexo 3. Vista real del sistema automatizado, al ser instalado en los dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP	66
Anexo 4. Instructivo para el funcionamiento del sistema de automatización	67



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de las variables en la alternancia de cuatro electrobombas	22
<b>Tabla 2.</b> Operacionalización de las variables en el temporizado de una electrobomba	23
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la prueba 1	47
<b>Tabla 4.</b> Resultados de la prueba 2	47
<b>Tabla 5.</b> Resultados de la prueba 3	47
<b>Tabla 6.</b> Resultados de la prueba 4	48
<b>Tabla 7.</b> Resultados de la prueba 5	48
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la prueba 6	48
<b>Tabla 9.</b> Resultados de la prueba 7	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Puntos de entrada y salida de un PLC	7
<b>Figura 2.</b> Ejemplo de diagrama de bloques funcionales	8
<b>Figura 3.</b> Ejemplo de diagrama de contactos	8
<b>Figura 4.</b> Ejemplo de lista de instrucciones	8
<b>Figura 5.</b> Ejemplo de lista de texto estructurado	8
<b>Figura 6.</b> Símbolo del contacto normalmente abierto (NA)	9
<b>Figura 7.</b> Símbolo del contacto normalmente cerrado (NC)	9
<b>Figura 8.</b> Símbolo de la bobina tipo conector	10
<b>Figura 9.</b> Símbolo de la bobina tipo Set	10
<b>Figura 10.</b> Símbolo de la bobina tipo Reset	10
<b>Figura 11.</b> Temporizador a la conexión	11
<b>Figura 12.</b> Temporizador a la desconexión	11
<b>Figura 13.</b> PLC modelo Zelio SR2 A201FU	12
<b>Figura 14.</b> Pantalla de inicio del Zelio Soft2	13
<b>Figura 15.</b> Pantalla de selección del módulo	13
<b>Figura 16.</b> Pantalla de selección del lenguaje de programación	14
<b>Figura 17.</b> Interfaz de usuario del Zelio Soft2	16
<b>Figura 18.</b> Esquema del diseño de investigación para la alternancia de cuatro electrobombas	24
<b>Figura 19.</b> Esquema del diseño de investigación para el temporizado de una electrobomba	25
<b>Figura 20.</b> Esquema para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP	27
<b>Figura 21.</b> Interfaz de comunicación entre una PC y el PLC	28
<b>Figura 22.</b> Diseño y simulación del prendido de la marca M1, de la salida física Q1 y del temporizador TT1	30
<b>Figura 23.</b> Diseño y simulación del prendido de la salida física Q2 y del temporizador TT2	31
<b>Figura 24.</b> Diseño y simulación del prendido de la salida física Q3 y del temporizador TT3	31
<b>Figura 25.</b> Diseño y simulación del prendido de la salida física Q4 por falla de cualquiera de las salidas físicas: Q1, Q2 o Q3	32

<b>Figura 26.</b> Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q1	33
<b>Figura 27.</b> Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q2	33
<b>Figura 28.</b> Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q3	34
<b>Figura 29.</b> Diseño y simulación del prendido de la marca M5, de la salida física Q5 y del temporizador TT4	35
<b>Figura 30.</b> Diagrama de instalación eléctrica	39
<b>Figura 31.</b> Vista real del sistema de automatización, después de su instalación en los dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP	40
<b>Figura 32.</b> Detalle del sistema de automatización	41
<b>Figura 33.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 1	50
<b>Figura 34.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 2	51
<b>Figura 35.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 3	52
<b>Figura 36.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 4	53
<b>Figura 37.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 5	54
<b>Figura 38.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 6	55
<b>Figura 39.</b> Diagramas de estado correspondientes a la prueba 7	56

## RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo de tesis fue: realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023, para lo cual, primeramente, se investigó sobre el entorno y el lenguaje de programación del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2. Los dos equipos fueron: “prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas” y “equipo para determinar la relación entre la altura dinámica y el caudal en electrobombas periféricas”. Seguidamente, se elaboró el circuito lógico mediante el cual se pudo controlar desde una PC el funcionamiento de las cinco electrobombas. Posteriormente, se realizó el mejoramiento del control automático de dichos equipos, mediante el diseño y montaje de un sistema de automatización. Por último, dicho sistema se instaló en los mencionados equipos, realizándose correspondientemente y en forma simultánea las siguientes operaciones: “alternancia de cuatro electrobombas” y “temporizado de una electrobomba”. Los resultados obtenidos en las siete pruebas de funcionamiento del sistema de automatización, indicaron que el residuo del tiempo de funcionamiento de las cinco electrobombas, es cero, demostrándose de esta manera que los temporizadores TT1, TT2, TT3 y TT4 del PLC (controlador lógico programable), tienen una eficiencia del 100 %, pues dichas electrobombas no presentaron ningún retardo al prenderse y apagarse, de acuerdo a lo programado en el circuito lógico. De esta manera, se ha cumplido con el objetivo general, probándose al mismo tiempo la hipótesis general.

**Palabras claves:** controlador lógico programable, circuito lógico, sistema de automatización, temporizadores, alternancia, tiempo de funcionamiento.

## ABSTRACT

The general objective of the present work of thesis was: accomplishing the improvement of two teams 'automatic control of the Laboratory of Operations and Unitary Processes of the FIQ UNAP-2023, for which, firstly, Zelio Soft2 V5.4.2 investigated about the surroundings and the programming language of the software of simulation himself. The two teams were: prototype with logical programmable control to automate the passage of time of functioning of four electrobombas and equipmen to determine the relation between the dynamic height and the flow in electrobombas peripheral. Straightaway, became elaborate the intervening logic circuit which the functioning of the five electrobombas could get under control from a PC. At a later time, the improvement of the automatic control of the aforementioned teams came true, by means of the design and frame-up of a system of automation. Finally, the aforementioned system got settled in the mentioned equipment, coming true correspondingly and in good shape simultaneous the following operations: four electric pumps alternation and whiled away the time of an electric pump. The results obtained in the seven-performance testings of the system of automation, indicated that the residue of the passage of time of functioning of the five electrobombas, it is zero, demonstrating this way than timers 1, 2, 3 and 4 of the PLC (logical programmable control), have an efficiency of 100, because the aforementioned electrobombas did not present any delays when caught fire and becoming extinguished, according to what's programmed in the logic circuit. This way, it has come true with the realistic general, trying on at the same time his general hypothesis

**Keywords:** logical programmable control, logic circuit, system of automation, timers, alternation, operating time

## INTRODUCCIÓN

La importancia de la automatización en la industria de procesos ha aumentado increíblemente en los últimos veinte años, convirtiéndose en una fuerza impulsora de todo el sector químico (farmacéutica, alimentaria, petróleo, gasífero, minería, etc.). Es por eso que, en la actualidad, la automatización de procesos industriales, es uno de los cursos de mayor importancia en la formación de todo ingeniero químico, pues le brinda a dicho profesional la habilidad de desarrollar sistemas de instrumentación innovadores para controlar procesos complejos que garantizan la fiabilidad y seguridad en las diversas industrias de procesos químicos.

Gracias al empleo de los controladores lógicos programables (PLC), la automatización aplicada a los procesos industriales, ha experimentado una gran evolución en las últimas dos décadas, lo cual ha favorecido a la industria química, ya que permiten tener un control absoluto del comportamiento dinámico de las variables involucradas en los diversos procesos industriales.

Existen muchos trabajos de tesis en la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP); sin embargo, la gran mayoría de ellos no tienen relación con la automatización de procesos industriales. Recientemente, en el año 2022, se ha realizado el trabajo de tesis titulado: “diseño, construcción e instalación de un prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas” (Del Águila y Haquiwara, 2022, pp. xii, 66-79), el cual no es suficiente para que todos los alumnos que llevan la asignatura de Automatización de Procesos Químicos realicen las prácticas respectivas y por tanto no puedan desarrollar totalmente las habilidades y destrezas que requieren al pasar dicha asignatura. Además, este equipo trabaja con un PLC LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6, el mismo que utiliza una interfaz que sólo permite transferir un programa desde una PC al PLC, más no permite realizar el control en tiempo real del funcionamiento de las cuatro electrobombas desde una PC. También existe otro equipo del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, denominado: “equipo para determinar la relación entre la altura dinámica y el caudal en electrobombas periféricas” (Espinoza y Pezo, 2023, pp. xiv, 1-76), el cual posee una electrobomba que es prendida de forma manual. Todo esto genera un problema, debido a que el egresado no estaría

desarrollando las capacidades de poder controlar en tiempo real desde una PC, el funcionamiento de los equipos que intervienen en las diferentes operaciones y procesos; pues en la actualidad, las empresas realizan el control de sus operaciones y procesos de dicha forma. Por lo antes mencionado, es que, en el presente trabajo de tesis, se formula el siguiente problema general: ¿cuál será el sistema que mejore el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023?

Entonces, de esta manera, es que se formulan los siguientes problemas específicos:

### **Problemas específicos**

- ¿Cuál es el circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP?
- ¿Cuál es la relación entre la situación de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC?
- ¿Cuántas son las entradas y salidas físicas que debe utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP?

En consecuencia, en el mismo orden de ideas del problema general y los problemas específicos, se generan el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se describen a continuación:

### **Objetivo general**

Realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023.

### **Objetivos específicos**

- Elaborar el circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

- Determinar la relación entre la situación de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.
- Determinar cuántas son las entradas y salidas físicas que debe utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

La presente investigación es importante, porque será un aporte a la implementación del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, permitiendo de esta forma que los alumnos de dicha facultad puedan realizar con normalidad las prácticas en las asignaturas de Operaciones Unitarias y Automatización de Procesos Químicos; afianzando de esta manera los conocimientos recibidos en las clases teóricas.

La presente tesis está conformada por ocho capítulos, los cuales se detallan en el desarrollo del informe final:

- Capítulo I: Marco teórico
- Capítulo II: Hipótesis y variables
- Capítulo III: Metodología
- Capítulo IV: Resultados
- Capítulo V: Discusión
- Capítulo VI: Conclusiones
- Capítulo VII: Recomendaciones
- Capítulo VIII: Fuentes de información



## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes

- Del Águila y Haquiwara (2022, pp. xii, 66-79), han realizado el trabajo de tesis titulado: “Diseño, construcción e instalación de un prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas”. Inicialmente en este trabajo, hicieron una investigación minuciosa sobre los lenguajes de programación (ladder y BDF) que se utilizan para programar a un PLC y después diseñaron un esquema del prototipo automatizado de cuatro electrobombas, dando a conocer de esta manera a cada uno de sus componentes principales. A continuación, efectuaron el diseño y la simulación del circuito eléctrico (diagrama ladder) en el PLC de marca Siemens y modelo LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6, con el propósito de comprobar el prendido y apagado de las salidas físicas del PLC, conforme a lo programado en los temporizadores del PLC; lo cual también hizo posible que determinen el número de entradas y salidas físicas que utilizaron en el PLC. El software de simulación que utilizaron para la programación del PLC fue el LOGO! Soft Comfort V6.1. Posteriormente, determinaron la relación entre el estado de cada una de las salidas físicas del PLC: Q1, Q2, Q3 y Q4, con el estado de la marca de enclavamiento (M1) y el tiempo de funcionamiento de las cuatro electrobombas. Finalmente, llevaron a cabo siete (7) pruebas de funcionamiento del mencionado prototipo, resultando el residuo del tiempo de funcionamiento de las cuatro electrobombas igual a cero (0), verificando de esta manera, que las cuatro electrobombas no presentan ningún retardo al prenderse o apagarse, conforme al tiempo que programaron en los temporizadores T001, T002 y T003, con lo cual demostraron que el PLC funciona con una eficiencia del 100 %.
- Mamani (2021, pp. xvi, 85-90), realizó la tesis titulada: “Diseño e implementación de un prototipo para automatizar el proceso de embotellado de yogurt en la planta lechera Tacna”. Este trabajo consistió en el diseño de un prototipo, capaz de realizar el proceso de embotellado de yogurt, para eso utilizaron un Controlador Lógico Programable (PLC), sensores de proximidad (sensor óptico, sensor capacitivo), válvulas solenoides, luces piloto, cilindros neumáticos, un variador

de velocidad que gobernó la velocidad de revolución del motorreductor, el cual se encargaba de ejecutar el transporte de botellas mediante una faja transportadora. Por último, la operación de arranque y paro de la maquina lo llevaron a cabo con una HMI (Human-Machine Interface) y pulsadores. De esta forma comprobaron y pusieron en funcionamiento el prototipo de embotellado, consiguiendo buenos resultados que demuestran que se puede ampliar la producción y disminuir pérdidas en el transcurso de embotellado de yogurt.

- Tovar y Parales (2020, pp. vi, 31-41), realizaron el proyecto titulado: “Diseño e implementación de un banco didáctico de pruebas para la programación de PLC Schneider Electric”. El objetivo general de este trabajo fue buscar que los estudiantes del programa de ingeniería electromecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio puedan reforzar el conocimiento adquirido en las clases y llevarlo a la práctica puntualmente en temas relacionados con electrónica industrial y programación. Para esto, diseñaron e implementaron un banco didáctico de pruebas para la programación de PLC, en donde partieron inicialmente de un estudio de conceptos preliminares para la selección de los elementos, luego realizaron su diseño e implementación y finalmente sus pruebas de funcionamiento. Al concluir este trabajo, elaboraron guías de práctica que evidencian la utilidad del banco didáctico en diferentes campos de acción y con una complejidad diferente entre ellas que permiten desarrollar múltiples competencias profesionales en los estudiantes del programa de ingeniería electromecánica de la Universidad Antonio Nariño sede Villavicencio. También, mediante las pruebas de funcionamiento del banco didáctico, pudieron comprobar la correcta programación del PLC y funcionamiento de cada uno de los componentes.

## **1.2. Bases teóricas**

### **1.2.1. Los controladores lógicos programables**

Los controladores lógicos programables reciben el nombre de PLC (Programmable Logic Controller). A la hora de diseñar la automatización de un proceso, hay dos caminos: realizar el automatismo mediante **tecnología cableada**, en la cual la manera de funcionar depende de los elementos empleados y la forma de interactuar con ellos (tarea que se

realiza mediante el cableado), o bien emplear la **tecnología programada**, en la cual mediante un programa se establece cómo debe responder el sistema ante estímulos en las entradas (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 310; Cucat, 2020, p. 9).

Los sistemas programados se emplean en sistemas complejos donde en el programa o forma de actuar no implica un cambio en los elementos que lo integran.

Un PLC es un dispositivo electrónico que guarda y procesa una secuencia de órdenes que se definen en la programación, mediante entradas y salidas (señales analógicas y/o digitales) con el fin de controlar una tarea (Tovar y Parales, 2020, p. 18)

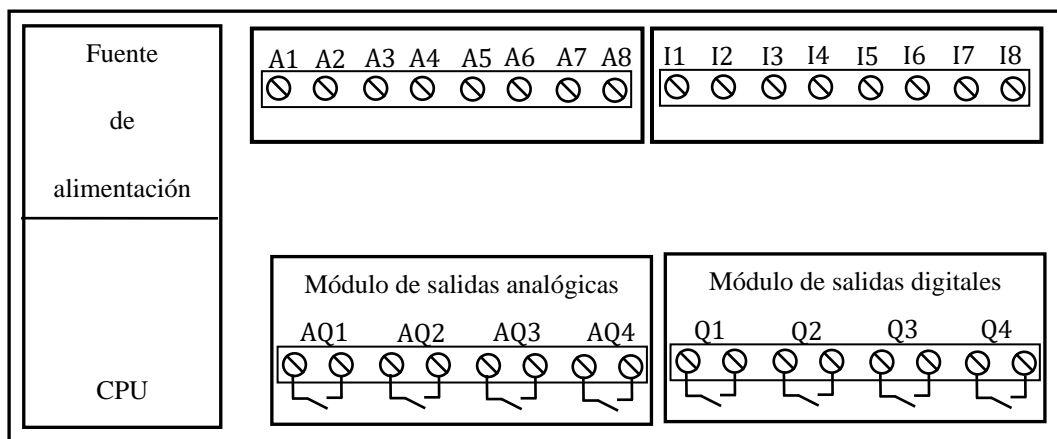
### 1.2.2. Estructura general de un controlador lógico programable

Tovar y Parales (2020, p. 18), mencionan que la estructura general de un autómata programable o PLC está compuesta por:

- **Fuente de alimentación.** Proporciona las tensiones para el funcionamiento de los componentes del sistema que puede ser interna o externa.
- **Unidad central del proceso (CPU).** Es el componente principal del PLC que interpreta y ejecuta las instrucciones del programa que se almacenan en su memoria (datos del proceso y del sistema de control) (Cucat, 2020, p. 14).
- **Módulos de entradas y salidas.** Se clasifican de acuerdo al tipo de datos que emplean, así tienen:
  - Módulos digitales o binarios.** Utilizan datos a nivel de bit, es decir todo (1) o nada (0). Detectan tensión en una entrada o no la detectan, activan un bit de salida o no la activan (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 312).
  - Módulos analógicos.** Poseen cualquier valor dentro de un rango. Utilizan datos a nivel de byte (8 bits) o word (16 bits). Los módulos de entrada analógicos se emplean para leer magnitudes que no se pueden expresar en valores todo (1) o nada (0), como por ejemplo presión, temperatura, distancia, etc. (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 312).

Por lo general, los puntos de entrada digitales se representan como: I1, I2, I3,

I4,..... y los puntos de entrada analógica como: A1, A2, A3, A4,.....; mientras que los puntos de salida digital son designados como: Q1, Q2, Q3, Q4,..... y los puntos de salida analógica se identifican como: AQ1, AQ2, AQ3, AQ4,.... (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 6). En la figura 1, se puede observar la estructura y configuración básica de un PLC, el cual consta con lo siguiente: un módulo de ocho (8) entradas digitales, un módulo de ocho (8) entradas analógicas, un módulo de cuatro (4) salidas digitales y un módulo de cuatro (4) salidas analógicas. A las entradas del PLC se conectan sensores, pulsadores o interruptores; es decir, cualquier dispositivo que pueda generar una señal. A las salidas del PLC se conectan los actuadores (motores, electroválvulas, ventiladores, etc.).



**Figura 1.** Puntos de entrada y salida de un PLC.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 6.

### 1.2.3. Lenguajes de programación de los controladores lógicos

La forma de cómo el PLC procesa los datos de las entradas para activar o desactivar las salidas, se realiza mediante una serie de órdenes, las cuales se indican mediante algún lenguaje de programación. Existen cuatro lenguajes de programación, siendo dos de ellos tipo gráfico y los otros dos son tipo texto (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322).

Tipo gráfico:

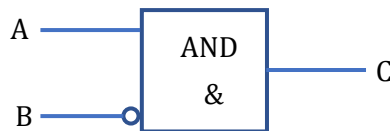
**Diagrama de bloques funcionales (FBD, Function Block Diagram).** Se basa en el empleo de las funciones lógicas.

- **Diagrama de contactos (Ladder Diagram).** Se basa en el empleo de la lógica de relés.

Tipo texto:

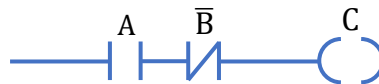
- **Lista de instrucciones (Instruction List).** Se basa en los principios del lenguaje ensamblador.
- **Texto estructurado (Structured Text).** Se basa en los lenguajes de alto nivel como C.

En las figuras 2, 3, 4 y 5, se muestran ejemplos del diagrama de bloques funcionales, diagrama de contactos, lista de instrucción y texto estructurado, respectivamente.



**Figura 2.** Ejemplo de diagrama de bloques funcionales.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322.



**Figura 3.** Ejemplo de diagrama de contactos.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322; Flórez, 2010, pp. 46-7.

LD	A
ANDN	B
ST	C

**Figura 4.** Ejemplo de lista de instrucciones.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322.

$C = A \text{ AND NOT} B.$

**Figura 5.** Ejemplo de lista de texto estructurado.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322.

Se debe notar que la negación del contacto B, se puede expresar como NOTB o  $\bar{B}$ . Las figuras 2, 3, 4 y 5, muestran que los contactos A y  $\bar{B}$ , están conectados en serie, lo cual obedece a la operación de multiplicación. Por lo tanto, el estado de la salida C dependerá del resultado de dicha operación. De esta forma, la ecuación lógica que representa a las figuras, 2, 3, 4 y 5, es:

$$A * \bar{B} = C. \quad (1)$$

#### 1.2.4. Entradas de un PLC

Las entradas de un PLC se utilizan exclusivamente como un contacto en el software de programación. El contacto puede ser abierto o cerrado, el cual está conectado a un botón, pulsador, interruptor, detector, etc. (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, pp. 349-350).

- **Contacto normalmente abierto (NA).** Se activa cuando el valor lógico del elemento que representa es uno (1) (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 28-31; Mamani, 2021, p. 15).



**Figura 6.** Símbolo del contacto normalmente abierto (NA).

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, pp. 28-31.

- **Contacto normalmente cerrado (NC).** Su función es similar al contacto NA anterior, pero en este caso se activa cuando el valor lógico del elemento que representa es cero (0) (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 28-31; Mamani, 2021, p. 15; Estrella y Panduro, 2023, p. 18).



**Figura 7.** Símbolo del contacto normalmente cerrado (NC).

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, pp. 28-31.

### 1.2.5. Salidas de un PLC

Las salidas de un PLC se conectan a los diferentes actuadores que se emplean en la instalación (motores, ventiladores, electroválvulas, etc.). Estas se representan en el software de programación del PLC mediante una bobina, la cual se etiqueta con la letra Q, según el número de orden (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350). Existen tres tipos de bobinas para las salidas.

- **Bobina tipo conector.** Se activa cuando la combinación que hay a su entrada da el valor lógico uno (1) (Mamani, 2021, p. 15).



**Figura 8.** Símbolo de la bobina tipo conector.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 12; Mamani, 2021, p. 15.

- **Bobina tipo Set.** Si reciben una señal se activan y se desactivan cuando esta desaparece (Mamani, 2021, p. 15; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).



**Figura 9.** Símbolo de la bobina tipo Set.

Fuente: Mamani, 2021, p. 15.

- **Bobina tipo Reset.** Una vez activa no se puede desactivar si no es por su correspondiente bobina en Reset. Esta bobina tiene prioridad sobre la Set (Mamani, 2021, p. 15).

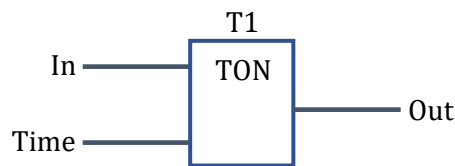


**Figura 10.** Símbolo de la bobina tipo Reset.

Fuente: Mamani, 2021, p. 15.

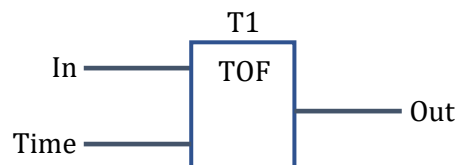
### 1.2.6. Temporizadores (Timers)

Los temporizadores o timers, se emplean para la gestión del tiempo y en el software de programación del PLC pertenecen al grupo de funciones especiales, los cuales se representan con la letra T (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 326). Existen varios modos de funcionamiento de los temporizadores, siendo los más empleados el temporizador a la conexión y el temporizador a la desconexión.



**Figura 11.** Temporizador a la conexión.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 326.



**Figura 12.** Temporizador a la desconexión.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 326.

En un temporizador a la conexión (TON), el proceso de la cuenta del tiempo empieza nada más se detecta la señal en la entrada. En un temporizador a la desconexión (TOF), el proceso de la cuenta del tiempo empieza cuando el temporizador deja de detectar la señal a la entrada. En ambos casos se debe fijar el tiempo de operación.

### 1.2.7. PLC Zelio Logic

El PLC Zelio Logic pertenece a la gama baja de los autómatas de la marca Schneider Electric. El PLC Zelio puede programarse en lenguaje ladder (diagrama de contactos) o como diagrama de bloques funcionales (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 345). La gama Zelio se divide en dos grupos: SR2 (modelos de tipo compactos) y SR3 (modelos de tipo modular). El rango de tensiones es el típico: 12 VCC, 24 VCA/CC y



100 – 240 VCA. El número de entradas varía entre modelos de 6, 8 y 12 y de 4 y 8 salidas. En el presente trabajo, se utiliza el modelo Zelio SR2 A201FU, el cual se muestra en la figura 13.



**Figura 13.** PLC modelo Zelio SR2 A201FU.

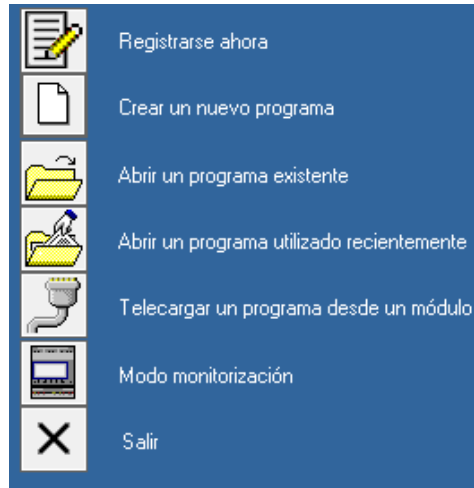
Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 346.

### 1.2.8. Programación del PLC Zelio Logic

La programación del PLC Zelio Logic, se puede hacer usando la botonera que está debajo del display; sin embargo, es más cómodo hacerlo desde una PC y luego transferir el programa al PLC (Chong y Ferreyra, 2023, p. 15). El Zelio Soft2, es el software de simulación que se utiliza para programar el PLC Zelio Logic de la marca Schneider, del cual se muestra a continuación el entorno de simulación.

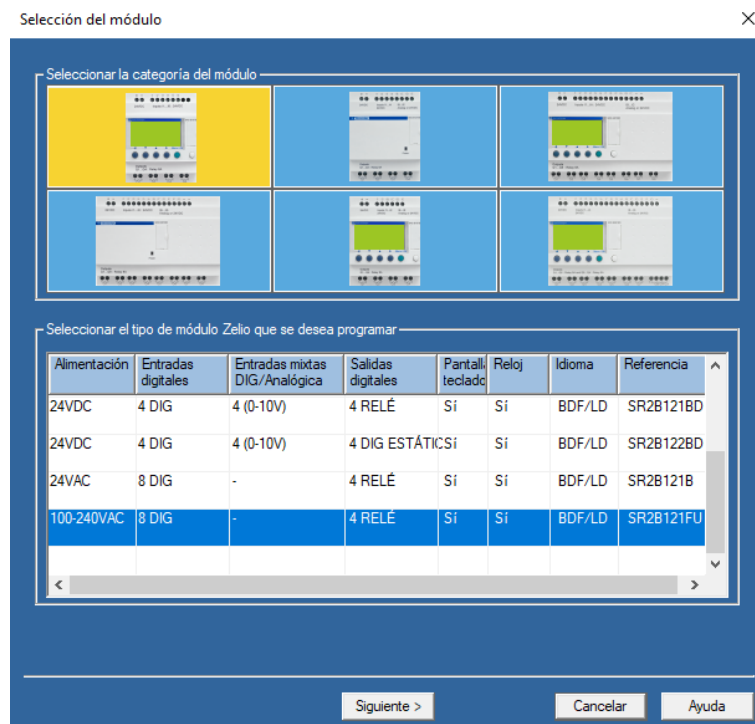
Para realizar una aplicación mediante el Zelio Soft2, inicialmente, se debe ingresar a la pantalla de inicio (figura 14) y seguidamente seleccionar el módulo (figura 15). En la figura 15, se puede verificar los diferentes tipos de módulos con sus respectivas características. El lenguaje a utilizarse en la programación del PLC Zelio, está en relación a las características del modelo empleado; es decir, hay modelos que aceptan tanto la programación en lenguaje ladder como en diagrama de bloques funcionales, como hay modelos que sólo permiten la programación en lenguaje ladder (Chong y Ferreyra, 2023, p. 15). Cuando se elige el modelo del PLC Zelio y la versión del software correspondiente, se debe observar una ventana donde se muestran los lenguajes de programación con los

que trabaja el PLC Zelio, asimismo el tipo de alimentación y la cantidad de entradas y salidas físicas (véase la figura 16).



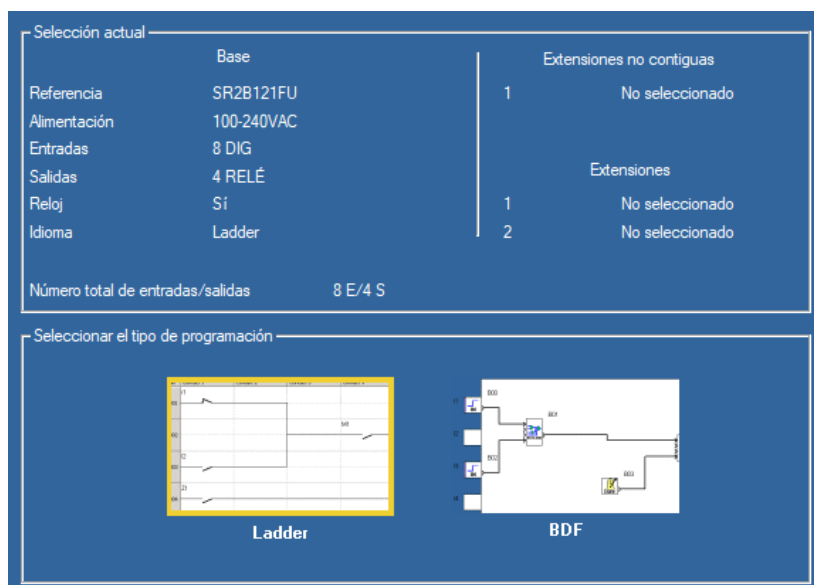
**Figura 14.** Pantalla de inicio del Zelio Soft2.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 15.



**Figura 15.** Pantalla de selección del módulo.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 16.



**Figura 16.** Pantalla de selección del lenguaje de programación.

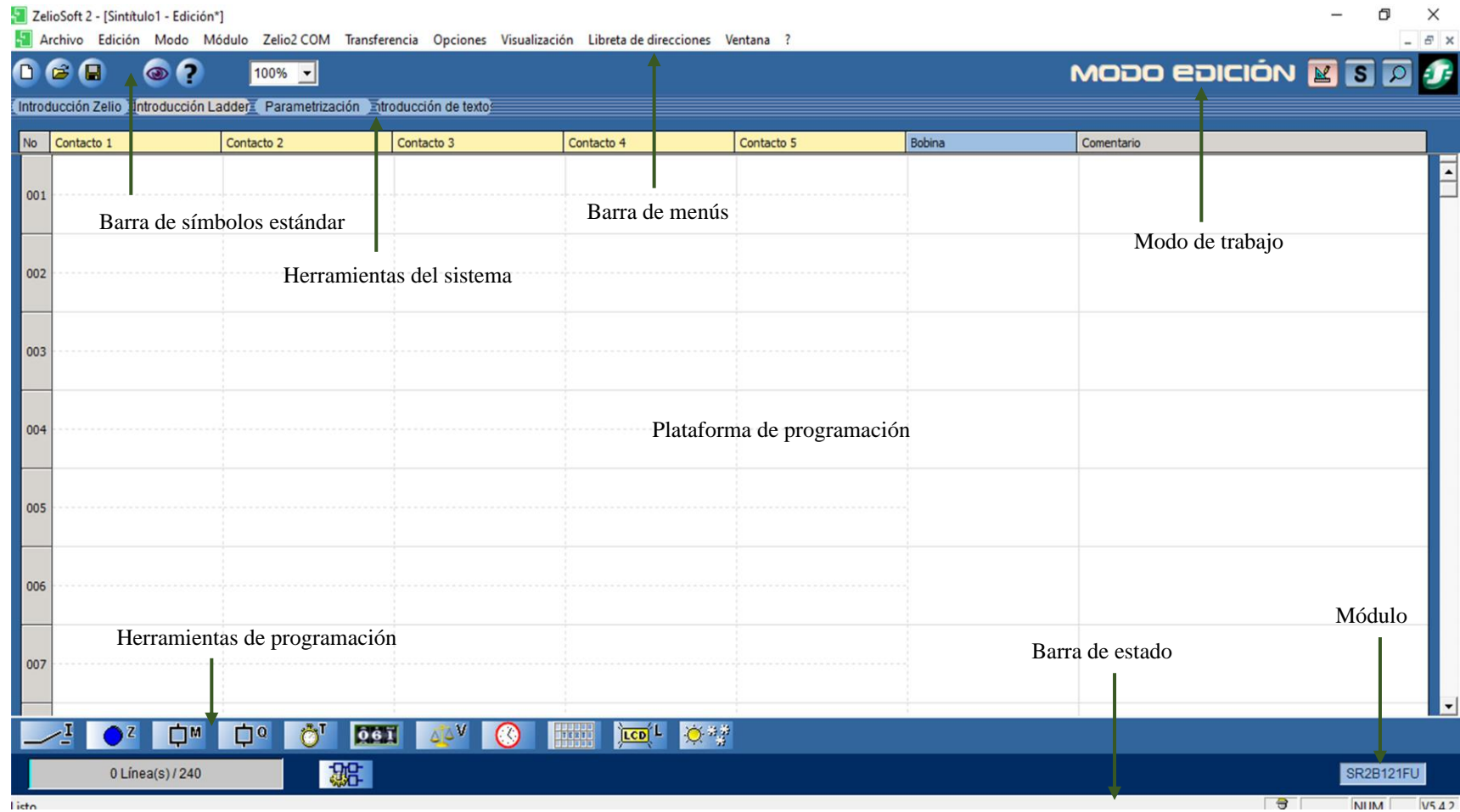
Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 16.

Chong y Ferreyra, 2023, p. 18, indican que la interfaz de usuario (figura 17) del software de simulación Zelio Soft2, tiene las siguientes partes:

- **Barra de menú.** Está se encuentra situada en la parte superior de la pantalla de programación, en la cual están ubicados los comandos para la creación, configuración y traspaso de los programas (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 348; citado por Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Herramientas del sistema.** Acá se pueden visualizar los modos de introducción del programa (Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Modos de trabajo.** El software de simulación Zelio Zoft2, tiene tres formas de trabajo, los mismos que se indican a continuación: edición, simulación y monitorización (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349; citado por Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Plataforma de programación.** Es la parte en donde se desarrollan los programas, la cual se encuentra fraccionada en filas y en columnas (Chong y Ferreyra, 2023,

p. 18).

- **Barra de estado.** Es la parte de la interfaz de usuario, que muestra información adicional como: porcentaje de zoom y el estado de un programa (Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Barra de símbolos estándar.** Es esta parte se indican los botones de comandos: nuevo, abrir y guardar (Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Herramientas de programación.** Es esta sección se puede visualizar, los elementos mediante los cuales se desarrolla un programa, los cuales son: entradas, salidas físicas, marcas, temporizadores, contadores, etc. (Chong y Ferreyra, 2023, p. 18).
- **Entradas.** En el software de simulación Zelio Soft2, las entradas digitales se utilizan únicamente como un contacto, el cual puede ser abierto o cerrado y se simbolizan por I e i, respectivamente, seguido del orden numérico correspondiente (Chong y Ferreyra, 2023, p. 19). En la realidad, un contacto representa a un generador de señal (botón, pulsador, interruptor, sensor, etc.).
- **Salidas.** Las salidas físicas en el software de simulación Zelio Soft2, se simbolizan con la letra Q seguido del número de orden (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 19-20). Las salidas físicas de un PLC, se deben conectar a los actuadores (electrobombas, electroválvulas, luces led, etc.) Téngase en cuenta que, al contacto de una salida, también se le puede representar como Q y q, dependiendo si es abierto o cerrado, respectivamente (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 19-20).
- **Relés auxiliares o marcas.** En el software de simulación Zelio Soft2, las marcas se simbolizan mediante la letra M y representan a bobinas internas del PLC, debido a que estas no se conectan en forma física a un actuador (Chong y Ferreyra, 2023, p. 21; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 16).



**Figura 17.** Interfaz de usuario del Zelio Soft2.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 17.

### 1.3. Definición de términos básicos

#### 1.3.1. Variables en la alternancia de cuatro electrobombas

Estas se refieren específicamente, a las que representan a la situación de las entradas y salidas físicas del PLC, las cuales se relacionan con el tiempo de funcionamiento de las electrobombas 1, 2, 3 y 4.

- **Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1 e I2.** Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20). En este caso, I1 es un pulsador de paro (físicamente es un contacto NC) e I2 es un pulsador de inicio (físicamente es un contacto NA).
- **Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I3, I4 e I5.** Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 3, 4 y 5 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20). Los pulsadores I3, I4 e I5, se utilizan para generar un fallo en las electrobombas 1, 2 y 3, respectivamente. Por ejemplo, al presionar el pulsador I3, automáticamente la electrobomba 1 debe apagarse e inmediatamente debe prenderse la electrobomba 4 (electrobomba auxiliar), tomando el lugar de la electrobomba 1. De la misma forma, si fallaría cualquiera de las electrobombas: 2 o 3, automáticamente entraría en funcionamiento la electrobomba 4.
- **Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores i6, i7 e i8.** Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 6, 7 y 8 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20). Los pulsadores i6, i7 e i8, se utilizan para activar a las electrobombas 1, 2 y 3, respectivamente, haciendo que entren nuevamente en funcionamiento. Por ejemplo, al estar apagada la electrobomba 2, al presionar el pulsador i7, automáticamente la electrobomba 4 debe apagarse e inmediatamente debe prenderse la electrobomba 2, entrando nuevamente en funcionamiento. De la misma forma, si cualquiera de las electrobombas: 1 o 3, no están funcionando, se podría presionar los pulsadores i6 e i8, respectivamente para que automáticamente

entren nuevamente en funcionamiento.

- **Situación de las marcas M1, M2, M3 y M4 del PLC.** Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de las bobinas internas M1, M2, M3 y M4 del PLC, las cuales tienen la función de energizar a todos los demás elementos que forman parte del circuito lógico (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350). Al prenderse M1, se energizan automáticamente la salida física del PLC que se conecta a la electrobomba 1 y el temporizador TT1, de esta manera se inicia el ciclo de funcionamiento para las electrobombas 1, 2 y 3. También, las bobinas internas M2, M3 y M4, tienen por función prender a la electrobomba 4, en caso de que fallen cualquiera de las electrobombas 1, 2 y 3, respectivamente.
- **Situación de los temporizadores TT1, TT2 y TT3 del PLC.** Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de los temporizadores TT1, TT2 y TT3 del PLC, los mismos que tienen la función de controlar el tiempo de funcionamiento de las electrobombas 1, 2, 3 y 4, (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).
- **Situación de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC.** Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC, las cuales se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3 y 4, respectivamente (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 33).

### 1.3.2. Variables en el temporizado de una electrobomba

Estas se refieren específicamente, a las que representan a la situación de las entradas y salidas físicas del PLC, las cuales se relacionan con el tiempo de funcionamiento de la electrobomba 5.

- **Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores i9 e IA.** Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 9 y 10 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20). En este caso, i9 es un pulsador de paro (físicamente es un contacto NA); sin

embargo, en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC. IA es un pulsador de inicio y físicamente es un contacto NA.

- **Situación de la marca M5.** Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de la bobina interna M5 del PLC, la misma que tiene la función de energizar a la salida física Q5 del PLC y al temporizador TT5 (Estrella y Panduro, 2023, p. 20).
- **Situación del temporizador TT4 del PLC.** Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) del temporizador TT4, el mismo que tiene la función de controlar el tiempo de funcionamiento de la electrobomba 5 (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).
- **Situación de la salida física Q5 del PLC.** Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de la salida física Q5 del PLC, la cual se conecta físicamente a la electrobomba 5 (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 33).

### 1.3.3. Circuito lógico

El circuito lógico, es el algoritmo mediante el cual se realiza el control automático de los siguientes procesos: alternancia de cuatro electrobombas y temporizado de una electrobomba. Dicho circuito lógico tiene la forma de un diagrama ladder, el cual se elabora haciendo uso del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2.

### 1.3.4. Enclavamiento o retención

Es un procedimiento que consiste en activar o prender a una bobina interna (M) o una salida física (Q) del PLC, para lo cual se debe generar una señal mediante un pulsador de inicio, el mismo que físicamente es un contacto NA y se simboliza de la misma forma en el software de simulación del PLC (Estrella y Panduro, 2023, p. 18; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 15). En cualquier momento que se desee, se puede apagar a la bobina interna o a la salida física, para eso es suficiente presionar un pulsador de paro, el cual físicamente es un contacto NC, pero se programa en el software de simulación del PLC como un contacto NA.



## CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

#### a. Hipótesis general

El sistema que mejore el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023, debe estar implementado con una interfaz de comunicación entre el PLC y una PC, la cual debe permitir realizar el prendido, apagado y monitoreo en tiempo real de todo el sistema desde una PC.

#### b. Hipótesis específicas

- El circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, debe ser un diagrama tipo ladder.
- Existe relación entre la situación de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.
- Las entradas y salidas físicas que deben utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, deben ser: diez entradas y cinco salidas físicas.

### 2.2. Variables y su operacionalización

- **En la alternancia de cuatro electrobombas**

**Variables independientes:** situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2, I3, I4, I5, i6, i7 e i8.

**Variables intervinientes:** situación de las marcas M1, M2, M3 y M4 y situación de los temporizadores TT1, TT2 y TT3.

**Variables dependientes:** situación de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC, las cuales se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.

- **En el temporizado de una electrobomba**

**Variables independientes:** situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I9 e IA.

**Variables intervinientes:** situación de la marca M5 y situación del temporizador TT4.

**Variable dependiente:** situación de la salida física Q5 del PLC, la cual se conecta físicamente a la electrobomba 5.

**Tabla 1.** Operacionalización de las variables en la alternancia de cuatro electrobombas.

Variables	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independientes						
Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2, I3, I4, I5, i6, i7 e i8.	I1, I2, I3, I4, I5, i6, i7 e i8.	Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20).	Cuantitativa discreta	Abierto: 0 Cerrado: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Intervinientes						
Situación de las marcas M1, M2, M3 y M4 del PLC.	M1, M2, M3 y M4.	Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de las bobinas internas M1, M2, M3, y M4 del PLC (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Situación de los temporizadores TT1, TT2 y TT3 del PLC.	TT1, TT2 y TT3.	Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de los temporizadores TT1, TT2 y TT3 del PLC (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V 5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Dependientes						
Situación de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC física Q1.	Q1, Q2, Q3 y Q4.	Se refieren a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC, las cuales se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3 y 4, respectivamente (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 33).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V 5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Operacionalización de las variables en el temporizado de una electrobomba.

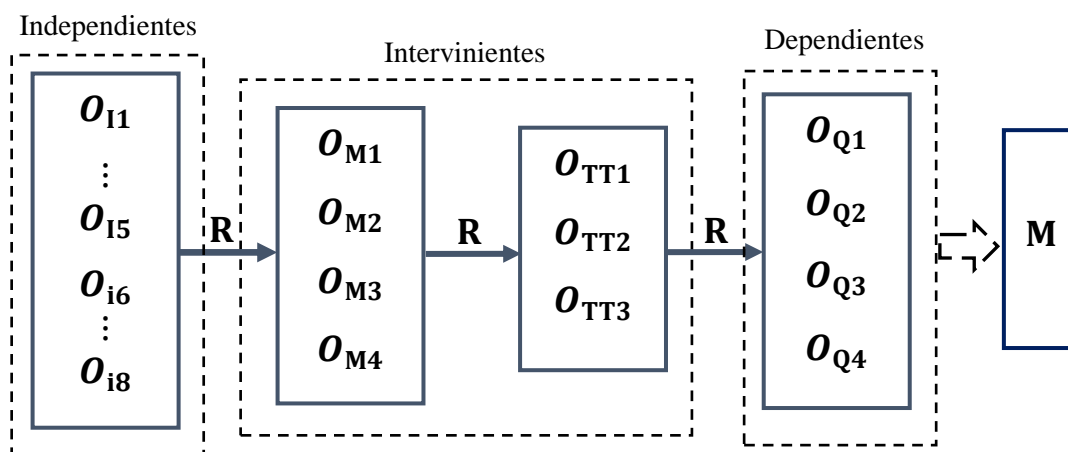
Variables	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independientes						
Situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores i9 e IA.	i9 e IA.	Son los valores lógicos (0 o 1), los cuales indican el estado (abierto o cerrado) de las entradas 9 y 10 del PLC, respectivamente (Estrella y Panduro, 2023, p. 20).	Cuantitativa discreta	Abierto: 0 Cerrado: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Intervinientes						
Situación de la marca M5.	M5	Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de la bobina interna M5 del PLC (Estrella y Panduro, 2023, p. 20).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Situación del temporizador TT4 del PLC.	TT4	Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) del temporizador TT4, el mismo que tiene la función de controlar el tiempo de funcionamiento de la electrobomba 5 (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 350).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V 5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>
Dependiente						
Situación de la salida física Q5 del PLC.	Q5	Se refiere a los valores lógicos (0 o 1) que indican el estado (prendido o apagado) de la salida física Q5 del PLC, la cual se conecta físicamente a la electrobomba 5 (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 33).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V 5.4.2.</li> <li>• Archivo en Microsoft Excel 2023.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño

En el presente trabajo de tesis, primeramente, se investigó sobre el entorno y el lenguaje de programación del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2. Posteriormente, se realizó el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, mediante el diseño y montaje de un sistema de automatización. Los dos equipos fueron: “**prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas**” y “**equipo para determinar la relación entre la altura dinámica y el caudal en electrobombas periféricas**”. Por último, dicho sistema se instaló en los mencionados equipos de laboratorio, en los cuales se realizaron correspondientemente y en forma simultánea las siguientes operaciones: “**alternancia de cuatro electrobombas**” y “**temporizado de una electrobomba**”. Para cada operación, se determinó la relación entre las entradas con cada una de las salidas físicas del PLC. Por lo tanto, se puede decir que la presente investigación es del tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional. Los esquemas del diseño de investigación para la alternancia de cuatro electrobombas y para el temporizado de una electrobomba, se indican en las figuras 18 y 19, respectivamente.



**Figura 18.** Esquema del diseño de investigación para la alternancia de cuatro electrobombas.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$O_{I1}, \dots, O_{I5}, O_{i6}, \dots, O_{i8}, O_{M1}, O_{M2}, O_{M3}, O_{M4}, O_{TT1}, O_{TT2}, O_{TT3}, O_{Q1}, O_{Q2}, O_{Q3}$  y  $O_{Q4}$ , son las observaciones obtenidas en cada una de las diecinueve variables ( $I1, \dots, I5, i6, \dots, i8, M1, M2, M3, M4, TT1, TT2, TT3, Q1, Q2, Q3$  y  $Q4$ ), respectivamente.

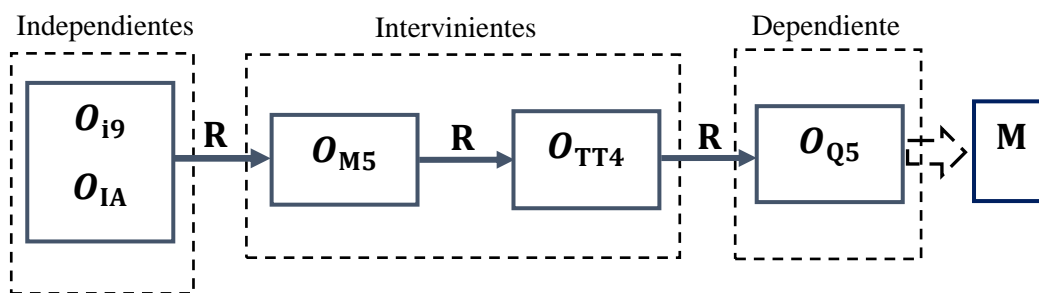
$I1, \dots, I5, i6, \dots, i8$  : situación de las entradas del PLC (variables independientes).

$M1, M2, M3$  y  $M4$  : situación de las bobinas internas,  $M1, M2, M3$  y  $M4$  del PLC (variables intervinientes).

$Q1, Q2, Q3$  y  $Q4$  : situación de las salidas físicas del PLC, las cuales se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3 y 4, respectivamente (variables dependientes).

M : muestra.

R : relación entre las variables.



**Figura 19.** Esquema del diseño de investigación para el temporizado de una electrobomba.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$O_{i9}, O_{IA}, O_{TT4}, O_{M5}$  y  $O_{Q5}$  son las observaciones obtenidas en cada una de las cinco variables ( $i9, IA, TT4, M5$  y  $Q5$ ), respectivamente.

$i9, IA$  : situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores  $i9$  e  $IA$ , respectivamente (variables independientes).

$M5$  : situación de la marca  $M5$  (variable interviniente).

$TT4$  : situación del temporizador  $TT4$  (variable interviniente).

$Q5$  : situación de la salida física del PLC que se conecta físicamente a la electrobomba 5 (variable dependiente).

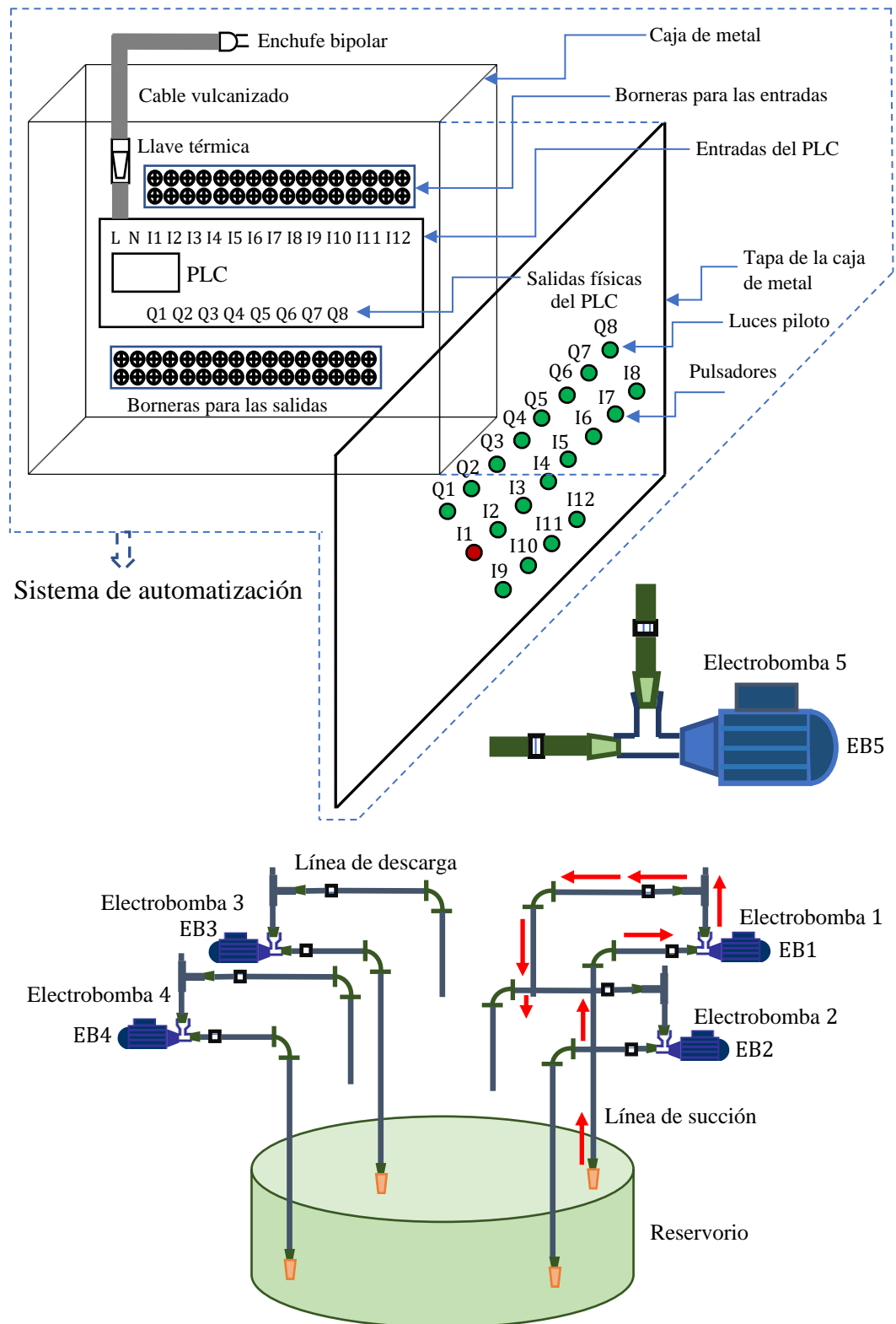
- M : muestra.  
R : relación entre las variables.

### **3.1.1. Esquema para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP**

En la figura 20, se muestra el esquema para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, los cuales son: **“prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas”** y **“equipo para determinar la relación entre la altura dinámica y el caudal en electrobombas periféricas”**. Las operaciones a llevarse a cabo en dichos equipos, son: **“alternancia de cuatro electrobombas”** y **“temporizado de una electrobomba”**, respectivamente.

El mejoramiento del control automático de los mencionados equipos, se realiza mediante el montaje e instalación de un sistema de automatización, el mismo que está conformado por los siguientes componentes: un controlador lógico programable (PLC), doce pulsadores (I1, I2, I3 ..., I12) que se conectan respectivamente a las doce entradas del PLC, ocho luces piloto (Q1, Q2, Q3 ..., Q8) que se conectan respectivamente a las salidas físicas del PLC, la llave térmica, el enchufe bipolar y la caja de metal. Adicionalmente, el sistema automatizado cuenta con una interfaz de comunicación, la cual tiene la función de transferir toda la información del circuito lógico desde una PC al PLC; para eso, la interfaz cuenta con los puertos de comunicación COM y USB (figura 21), los cuales se conectan físicamente al PLC y a la PC, respectivamente.

La generación de señal en cualquiera de las doce entradas del PLC, se puede realizar de dos formas: presionando un pulsador que esté conectado a la entrada correspondiente y haciendo clic en la PC (para esto será necesario que el PLC esté conectado a la PC mediante la interfaz de comunicación). También, al estar conectado el PLC con una PC, se podrá tener un control en tiempo real del prendido y apagado de las cinco electrobombas. Cabe mencionar que, el PLC a utilizarse es de la marca Schneider Electric, cuyo modelo es Zelio SR2 A201FU, el cual posee doce entradas y ocho salidas físicas (figura 13); sin embargo, en la presente tesis sólo se utilizan diez entradas y cinco salidas físicas, las cuales se conectan a las electrobombas 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente.



**Figura 20.** Esquema para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

Fuente: Elaboración propia; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 36; Espinoza y Pezo, 2023, p. 21.





**Figura 21.** Interfaz de comunicación entre una PC y el PLC.

Fuente: Modificado de Estrella y Panduro, 2023, p. 18.

### **3.1.2. Descripción de la alternancia de cuatro electrobombas**

La operación de alternancia de cuatro electrobombas, se lleva a cabo de la forma siguiente: al presionar el pulsador I2, se inicia el ciclo de funcionamiento semafórico para las electrobombas 1, 2 y 3, manteniéndose así, siempre y cuando no se presente ninguna falla en el funcionamiento de las mismas. Para simular una falla en el funcionamiento de cualquiera de las tres electrobombas mencionadas, se conectarán correspondientemente a las entradas del PLC los pulsadores I3, I4 e I5; es decir, si deseamos que la electrobomba 1 falle, bastará con presionar el pulsador I3, haciendo de esta manera que la electrobomba 1 se apague y la electrobomba 4 se prenda automáticamente; de este modo, la electrobomba 4 toma el lugar de la electrobomba 1, hasta que se decida poner en funcionamiento nuevamente a la electrobomba 1. De la misma forma que se genera la falla para la electrobomba 1, también se puede generar la falla para las electrobombas 2 y 3, pero para eso se tendría que presionar los pulsadores I4 e I5, respectivamente. Para el caso que se desee nuevamente poner en funcionamiento a cualquiera de las electrobombas (1, 2 y 3), se conectarán a las entradas del PLC los pulsadores i6, i7 e i8, respectivamente. Por ejemplo, si la electrobomba 2 se encuentra apagada por presentar algún fallo, bastará con presionar el pulsador i7 para prenderla nuevamente y apagar automáticamente a la electrobomba 4. Del mismo modo que se pone nuevamente en funcionamiento a la electrobomba 2, también se puede hacer lo mismo para las electrobombas 1 y 3, pero para eso se tendría que presionar los pulsadores i6 e i8, respectivamente. En cualquier momento que se desee parar la operación de alternancia de cuatro electrobombas, bastará con presionar el pulsador I1. Es preciso aclarar que, los

pulsadores i6, i7 e i8, físicamente son contactos NA; sin embargo, en el software de simulación del PLC se programan como contactos NC, estos son i6, i7 e i8.

### **3.1.3. Descripción del temporizado de una electrobomba**

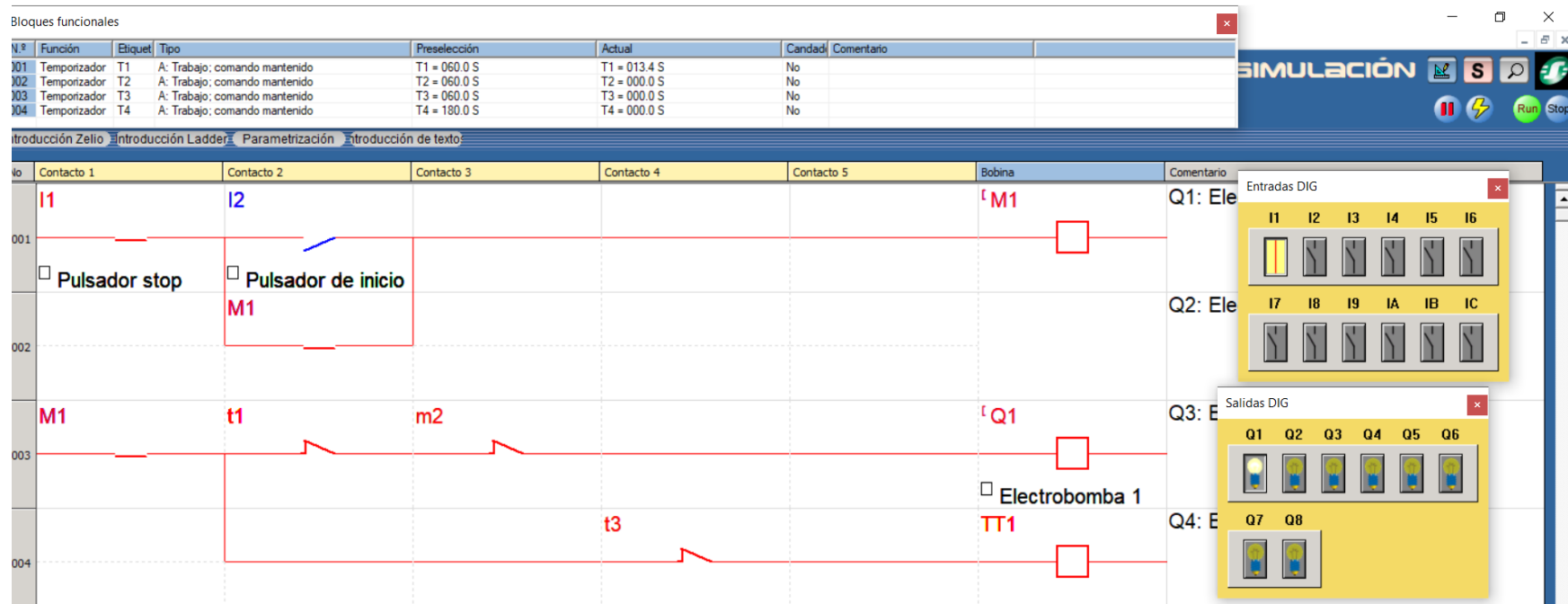
Para dar inicio a la operación de temporizado de una electrobomba, se debe presionar el pulsador IA, el cual debe estar conectado a la entrada 10 del PLC. En el mismo instante que se presiona el pulsador IA, automáticamente debe prenderse la salida física Q5 del PLC, la cual debe estar conectada físicamente a la electrobomba 5. En cualquier momento que se desee parar la operación de temporizado de la electrobomba 5, será suficiente presionar el pulsador i9, el cual se debe conectar físicamente a la entrada 9 del PLC. Cabe mencionar, que el pulsador i9, físicamente es un contacto NA; pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC, esto es i9.

### **3.1.4. Elaboración del circuito lógico para el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP**

Para la elaboración del circuito lógico que permite realizar la simulación y el control automático de dichos equipos de laboratorio, se tiene en cuenta lo descrito en las secciones 3.1.2 y 3.1.3, lo cual comprende los siguientes procedimientos que se mencionan a continuación:

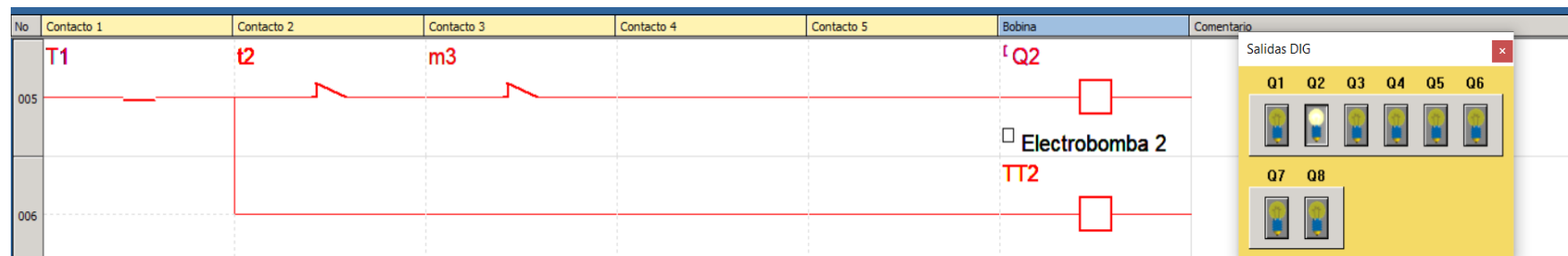
- Prendido de la marca M1, de la salida física Q1 y del temporizador TT1. Este procedimiento se inicia presionando el pulsador I2.
- Prendido de la salida física Q2 y del temporizador TT2. Al terminar el tiempo programado para la salida Q1, automáticamente se deben prender la salida física Q2 y el temporizador TT2.
- Prendido de la salida física Q3 y del temporizador TT3. Al terminar el tiempo programado para la salida Q2, automáticamente se deben prender la salida física Q3 y el temporizador TT3.
- Prendido de la salida física Q4 por falla de cualquiera de las salidas: Q1, Q2 o Q3. Al presentar una falla en cualquiera de las salidas físicas: Q1, Q2 o Q3, automáticamente se deben apagar y prenderse la salida física Q4, tomando el lugar de la salida física que falla.

- Apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q1.
- Apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q2.
- Apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q3.



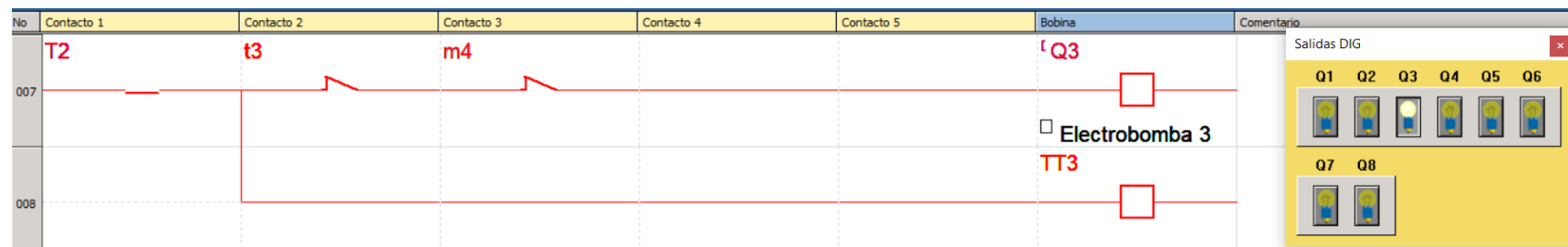
**Figura 22.** Diseño y simulación del prendido de la marca M1, de la salida física Q1 y del temporizador TT1.

Fuente: Elaboración propia.



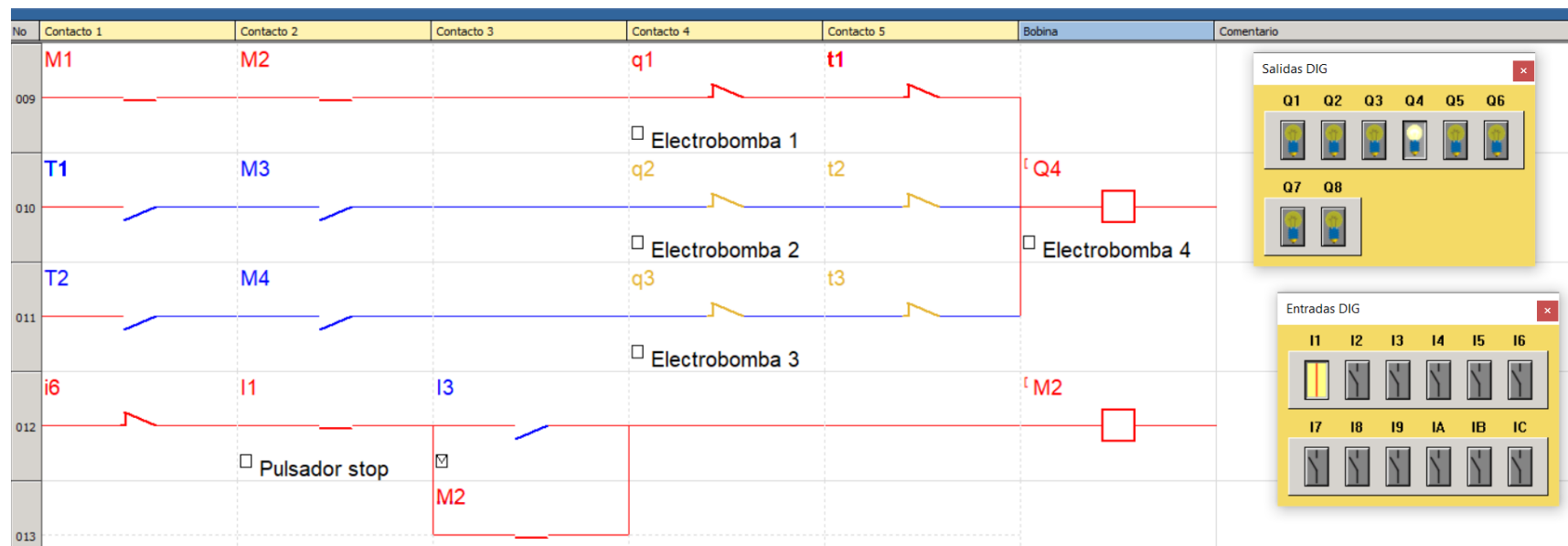
**Figura 23.** Diseño y simulación del prendido de la salida física Q2 y del temporizador TT2.

Fuente: Elaboración propia.



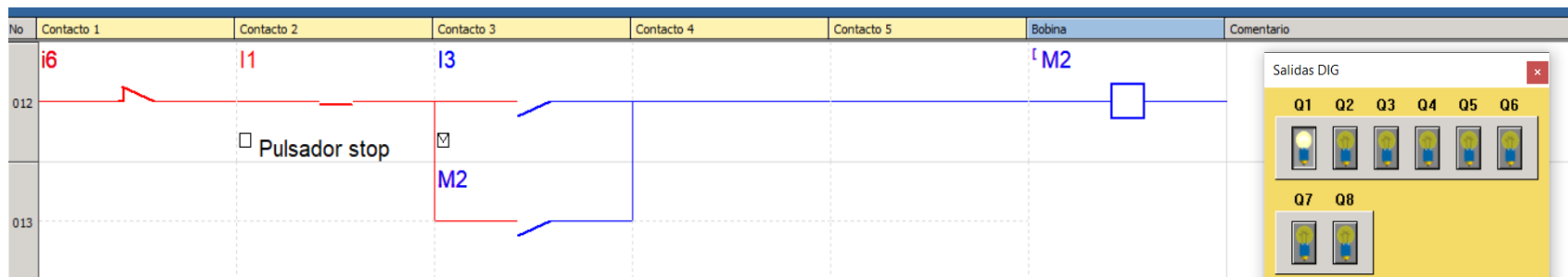
**Figura 24.** Diseño y simulación del prendido de la salida física Q3 y del temporizador TT3.

Fuente: Elaboración propia.



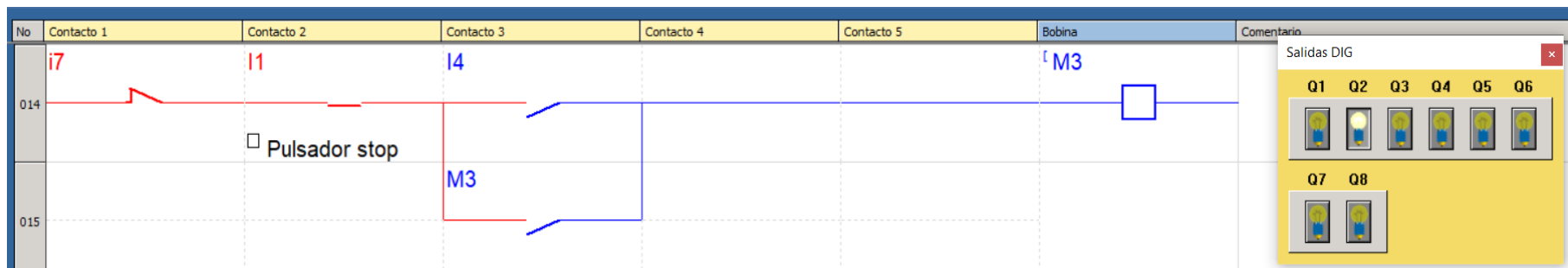
**Figura 25.** Diseño y simulación del prendido de la salida física Q4 por falla de cualquiera de las salidas físicas: Q1, Q2 o Q3.

Fuente: Elaboración propia.



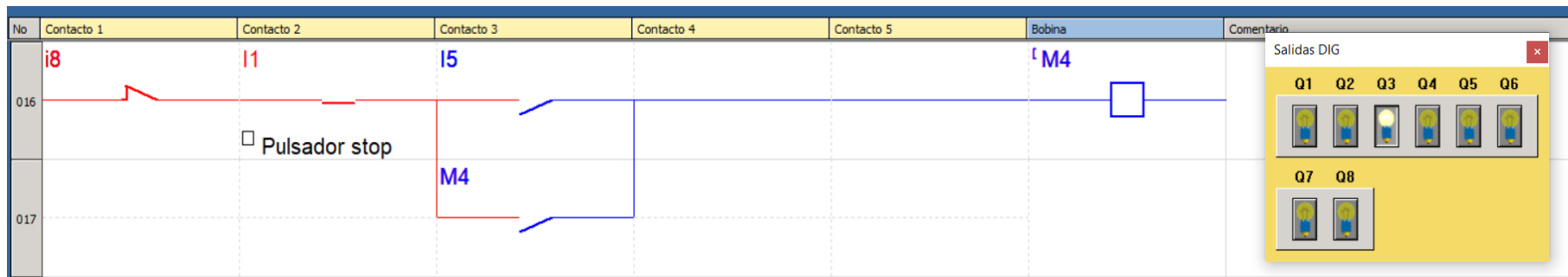
**Figura 26.** Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q1.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 27.** Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q2.

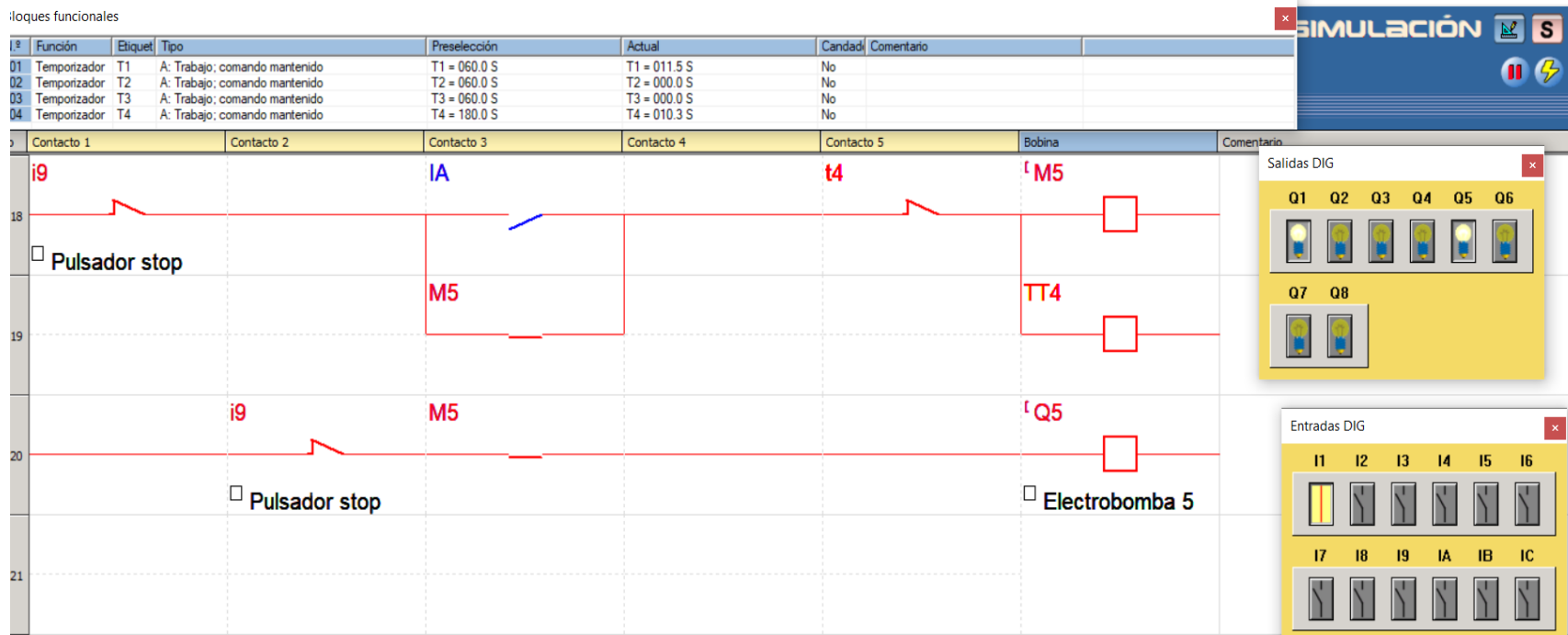
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 28.** Diseño y simulación del apagado de la salida física Q4 para prender nuevamente a la salida física Q3.

Fuente: Elaboración propia.

- Prendido de la marca M5, de la salida física Q5 y del temporizador TT4. Este procedimiento se inicia presionando el pulsador IA. En cualquier momento que uno desee parar la operación de temporizado de la electrobomba 5, es suficiente presionar el pulsador i9.



**Figura 29.** Diseño y simulación del prendido de la marca M5, de la salida física Q5 y del temporizador TT4.

Fuente: Elaboración propia.



### 3.1.5. Relación entre la situación de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC

La relación entre la situación de las entradas ( $I1, \dots, I5, i6, \dots, i8, i9$  e  $IA$ ) con la situación de cada una de las salidas físicas ( $Q1, Q2, Q3, Q4$  y  $Q5$ ) del PLC, también se puede representar por medio de un conjunto de ecuaciones lógicas, las cuales se obtienen del circuito lógico y que se muestran seguidamente:

$$I1 * (I2 + M1) = M1. \quad (2)$$

$$M1 * t1 * m2 = Q1. \quad (3)$$

$$M1 * t3 = TT1. \quad (4)$$

$$T1 * t2 * m3 = Q2. \quad (5)$$

$$T1 = TT2. \quad (6)$$

$$T2 * t3 * m4 = Q3. \quad (7)$$

$$T2 = TT3. \quad (8)$$

$$M1 * M2 * q1 * t1 + T1 * M3 * q2 * t2 + T2 * M4 * q3 * t3 = Q4. \quad (9)$$

$$i6 * I1 * (I3 + M2) = M2. \quad (10)$$

$$i7 * I1 * (I4 + M3) = M3. \quad (11)$$

$$i8 * I1 * (I5 + M4) = M4. \quad (12)$$

$$i9 * (IA + M5) * t4 = M5. \quad (13)$$

$$i9 * (IA + M5) = TT4. \quad (14)$$

$$i9 * M5 = Q5. \quad (15)$$

Mediante las ecuaciones (2), (3) y (10), se relacionan la situación de las entradas (I1, I2, I3 e i6), la situación de las marcas (M1 y M2), la situación del temporizador TT1 y la situación de la salida física Q1 del PLC.

Mediante las ecuaciones (2), (5) y (11), se relacionan la situación de las entradas (I1, I2, I4 e i7), la situación de las marcas (M1 y M3), la situación del temporizador TT2 y la situación de la salida física Q2 del PLC.

Mediante las ecuaciones (2), (7) y (12), se relacionan la situación de las entradas (I1, I2, I5 e i8), la situación de las marcas (M1 y M4), la situación del temporizador TT3 y la situación de la salida física Q3 del PLC.

Mediante las ecuaciones (2), (9), (10), (11) y (12), se relacionan la situación de las entradas (I1, ..., I5, i6, i7 e i8), la situación de las marcas (M1, M2, M3 y M4), la situación de los temporizadores (TT1, TT2 y TT3) y la situación de la salida física Q4 del PLC.

Mediante las ecuaciones (13), (14) y (15), se relacionan la situación de las entradas (i9 e IA), la situación de la marca M5, la situación del temporizador TT4 y la situación de la salida física Q5 del PLC.

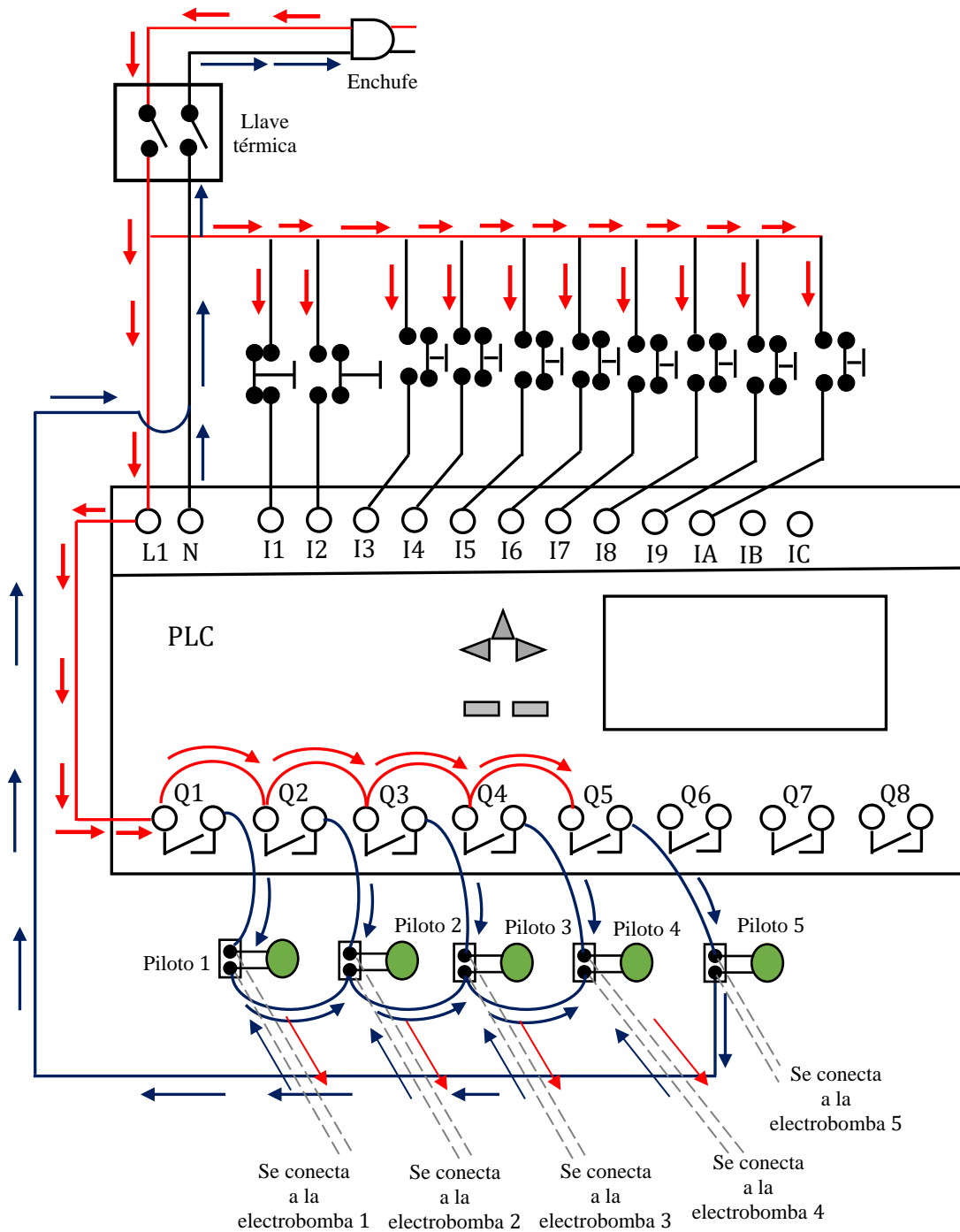
### **3.1.6. Determinación de la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC**

En relación a lo indicado en la sección 3.1.4, se ha determinado que la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC son: diez entradas (I1, ..., I5, i6, i7, i8, i9 e IA) y cinco salidas físicas (Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5). Además, es preciso mencionar, que el orden de conexiones tanto para las diez entradas y las cinco salidas físicas del PLC, debe ser como se indica a continuación:

- La entrada 1 del PLC se conecta al pulsador I1 (físicamente NC), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NA.

- La entrada 2 del PLC se conecta al pulsador I2, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 3 del PLC se conecta al pulsador I3, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 4 del PLC se conecta al pulsador I4, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 5 del PLC se conecta al pulsador I5, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 6 del PLC se conecta al pulsador i6 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 7 del PLC se conecta al pulsador i7 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 8 del PLC se conecta al pulsador i8 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 9 del PLC se conecta al pulsador i9 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 10 del PLC se conecta al pulsador IA, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La salida física Q1 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 1.
- La salida física Q2 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 2.
- La salida física Q3 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 3.
- La salida física Q4 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 4.
- La salida física Q5 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 5.

### 3.1.7. Diagrama de instalación eléctrica



**Figura 30.** Diagrama de instalación eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.8. Montaje e instalación del sistema de automatización

El montaje e instalación del sistema de automatización para el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, se realizó teniéndose en cuenta las figuras 20 y 30. Las vistas reales de dicho sistema de automatización, se puede observar en las figuras 31 y 32.

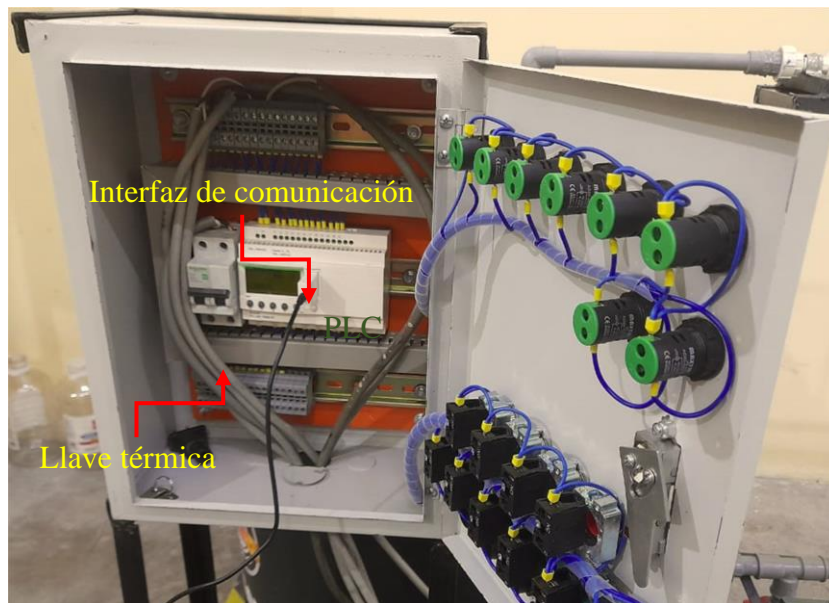
Sistema de automatización



**Figura 31.** Vista real del sistema de automatización, después de su instalación en los dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

Fuente: Elaboración propia.

El detalle del sistema de automatización, indicándose a cada de unos de sus componentes, se puede observar en la figura 32.



**Figura 32.** Detalle del sistema de automatización.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.9. Pruebas de funcionamiento del sistema de automatización en los dos equipos de laboratorio**

Al instalarse el sistema de automatización en los mencionados equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos de la FIQ-UNAP, se realizaron siete pruebas de funcionamiento, las cuales se especifican a continuación:

- **Prueba 1: funcionamiento semafórico de las electrobombas 1, 2 y 3, y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** La operación de funcionamiento semafórico de las electrobombas 1, 2 y 3, se inició presionando el pulsador I2 (NA) e instantáneamente las electrobombas 1, 2 y 3 se prendieron en forma semafórica por un tiempo de 60 s cada una. En todo el ciclo semafórico, la electrobomba 4 se mantuvo apagada. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.
- **Prueba 2: ciclo con fallo de la electrobomba 1 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** El ciclo con fallo de la electrobomba 1, se empezó presionando el pulsador I2 (NA) e instantáneamente se prendió la electrobomba 1; pero, a los 15 s se presionó el pulsador I3 creándose una falla en la electrobomba 1 y prendiéndose automáticamente la electrobomba 4 por un tiempo de 45 s; seguidamente, se prendieron de manera semafórica las electrobombas 2 y 3 por un tiempo de 60 s cada una, terminándose de este modo el ciclo. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.
- **Prueba 3: ciclo con fallo de la electrobomba 2 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** Esta operación se dio inicio presionando el pulsador I2 (NA) haciendo que al instante se prenda la electrobomba 1 por un tiempo de 60 s, al culminar este tiempo automáticamente se prendió la electrobomba 2, pero a los 15 s que se encontraba funcionando, se presionó el pulsador I4 simulando una falla en la electrobomba 2, lo cual hizo que dicha electrobomba se apague y la electrobomba 4 se prenda automáticamente por un tiempo de 45 s; seguidamente, se prendió la electrobomba 3 por un tiempo de 60 s, culminándose de esta manera el ciclo semafórico. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.
- **Prueba 4: ciclo con fallo de la electrobomba 3 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** Esta operación se dio inicio presionando el

pulsador I2 (NA), de esta manera se prendieron de forma semafórica las electrobombas 1 y 2 por un tiempo de 60 s cada una. Al culminar el tiempo de funcionamiento de la electrobomba 2, automáticamente se prendió la electrobomba 3, pero a los 15 s que se encontraba funcionando, se presionó el pulsador I5 simulando una falla en la electrobomba 3, lo cual hizo que dicha electrobomba se apague y la electrobomba 4 se prenda automáticamente por un tiempo de 45 s, culminándose de esta manera el ciclo semafórico. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.

- **Prueba 5: ciclo con reposición de la electrobomba 1 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** Al iniciar su funcionamiento la electrobomba 4 y estando ocupando el lugar de la electrobomba 1, a los 15 s se presionó el pulsador i6 haciéndose que en ese mismo instante se apague la electrobomba 4 y se prenda automáticamente la electrobomba 1 por un tiempo de 45 s; a continuación, se prendieron en forma semafórica las electrobombas 2 y 3 por un tiempo de 60 s cada una. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.
- **Prueba 6: ciclo con reposición de la electrobomba 2 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** Al iniciar su funcionamiento la electrobomba 4 y estando ocupando el lugar de la electrobomba 2, a los 15 s se presionó el pulsador i7 provocando que en ese mismo instante se apague la electrobomba 4 y se prenda automáticamente la electrobomba 2 por un tiempo de 45 s; a continuación, se prendieron en forma semafórica las electrobombas 3 y 1 por un tiempo de 60 s cada una. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.
- **Prueba 7: ciclo con reposición de la electrobomba 3 y simultáneamente el temporizado de la electrobomba 5.** Al iniciar su funcionamiento la electrobomba 4 y estando ocupando el lugar de la electrobomba 1, a los 15 s se



presionó el pulsador i8 ocasionando que en ese mismo instante se apague la electrobomba 4 y se prenda automáticamente la electrobomba 3 por un tiempo de 45 s; seguidamente, se prendieron en forma semafórica las electrobombas 1 y 2 por un tiempo de 60 s cada una. El temporizado de la electrobomba 5, se inició presionando el pulsador IA (NA) e instantáneamente se prendió por un tiempo de 180 s.

En cualquier momento que se quiso detener el funcionamiento de la electrobomba 5, fue suficiente presionar el pulsador i9.

### 3.2. Diseño muestral

En el presente trabajo de tesis, la población estuvo conformada por el número total de elementos del circuito lógico, es esto es:

$$\text{Población} = N_M + N_{SF} + N_T + N_C. \quad (16)$$

Donde:

$N_M$  : número de marcas.

$N_{SF}$  : número de salidas físicas.

$N_T$  : número de temporizadores.

$N_C$  : número de contactos.

Entonces, en concordancia a lo indicado en las secciones 3.1.4 y 3.1.5, se obtiene que:

$$N_M = 5, N_{SF} = 5, N_T = 4, N_C = 27 .$$

Téngase en cuenta que, el número de contactos estuvo conformada de la siguiente forma: 10 contactos de entradas, 8 contactos de marcas, 3 contactos de salida y 6 contactos de temporizadores. Entonces, de esta manera la suma correspondiente resultó igual a 27.

Al reemplazar las cantidades  $N_M$ ,  $N_{SF}$ ,  $N_T$  y  $N_C$ , en la ecuación (16), se obtuvo el tamaño de población:

$$\text{Población} = 5 + 5 + 4 + 27 = 41.$$

La muestra a criterio de los investigadores, teniéndose en cuenta los siguientes criterios:

**Criterio de inclusión:** se consideran como muestra, específicamente a las salidas físicas Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5 del PLC, ya que estas salidas se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3, 4 y 5, de las cuales se desea tener un control automático de su funcionamiento.

**Criterio de exclusión:** no se consideran como muestra, a los siguientes componentes del circuito lógico: las cinco marcas, los cuatro temporizadores y los veintisiete contactos, ya que estos elementos del circuito lógico no se conectan físicamente a las mencionadas electrobombas y además son componentes internos del PLC.

### 3.3. Procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos, se llevó a cabo mediante los siguientes procedimientos que se indican a continuación:

- Determinación de los componentes que conforman el sistema de automatización. Para realizar este procedimiento, se tuvo en cuenta lo descrito en la sección 3.1.1.
- Determinación de los elementos del circuito lógico. Este procedimiento se realizó con la finalidad de determinar el tamaño de población y muestra, lo cual se detalló en la sección 3.2.
- Determinación de la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron en el PLC. Este procedimiento se realizó en la sección 3.1.6, lo cual también permitió establecer el orden de conexiones para las entradas y salidas físicas del PLC.
- Monitorización del funcionamiento de las cinco salidas físicas utilizadas del PLC. Para realizar este procedimiento, fue necesario que el PLC esté conectado a una PC mediante la interfaz de comunicación. Este procedimiento se realizó con la finalidad de verificar el funcionamiento de las cinco salidas físicas utilizadas en el PLC, de acuerdo a lo programado en el circuito lógico.

### **3.4. Procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos, se realizaron los procedimientos que se indican a continuación:

- Simulación y monitorización del circuito lógico haciendo uso del software Zelio Soft2 V5.4.2.
- Representación de los resultados del tiempo de funcionamiento para las cinco salidas físicas utilizadas en el PLC, obtenidos en cada una de las siete pruebas. Este procedimiento consistió en elaborar tablas en cada una de las siete pruebas, mostrándose en cada una de estas, el valor experimental, el valor teórico y el residuo del tiempo de funcionamiento de cada una de las cinco salidas físicas utilizadas en el PLC, para lo cual se hizo uso de las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2023.
- Representación de los diagramas de estado para las cinco salidas físicas utilizadas en el PLC, haciendo uso de las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2023.

### **3.5. Aspectos éticos**

Como tesis y egresadas de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), manifestamos que, al realizar el presente trabajo de tesis, no estamos cometiendo plagio de ningún tipo de otro trabajo de tesis, proyecto de investigación o artículo científico, dejando constancia de todas las fuentes de información utilizadas. De la misma manera, nos comprometemos a respetar la autenticidad de los resultados que se han obtenido al realizar las siete (7) pruebas de funcionamiento del sistema de automatización al haberse instalado en los dos equipos mencionados.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

**Tabla 3.** Resultados de la prueba 1.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q1	60	60	0
Q2	60	60	0
Q3	60	60	0
Q4	0	0	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 4.** Resultados de la prueba 2.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q1	15	15	0
Q4	45	45	0
Q2	60	60	0
Q3	60	60	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** Resultados de la prueba 3.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q1	60	60	0
Q2	15	15	0
Q4	45	45	0
Q3	60	60	0

Q5	180	180	0
----	-----	-----	---

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 6.** Resultados de la prueba 4.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q1	60	60	0
Q2	60	60	0
Q3	15	15	0
Q4	45	45	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Resultados de la prueba 5.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q4	15	15	0
Q1	45	45	0
Q2	60	60	0
Q3	60	60	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 8.** Resultados de la prueba 6.

Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q4	15	15	0
Q2	45	45	0

Q3	60	60	0
Q1	60	60	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** Resultados de la prueba 7.

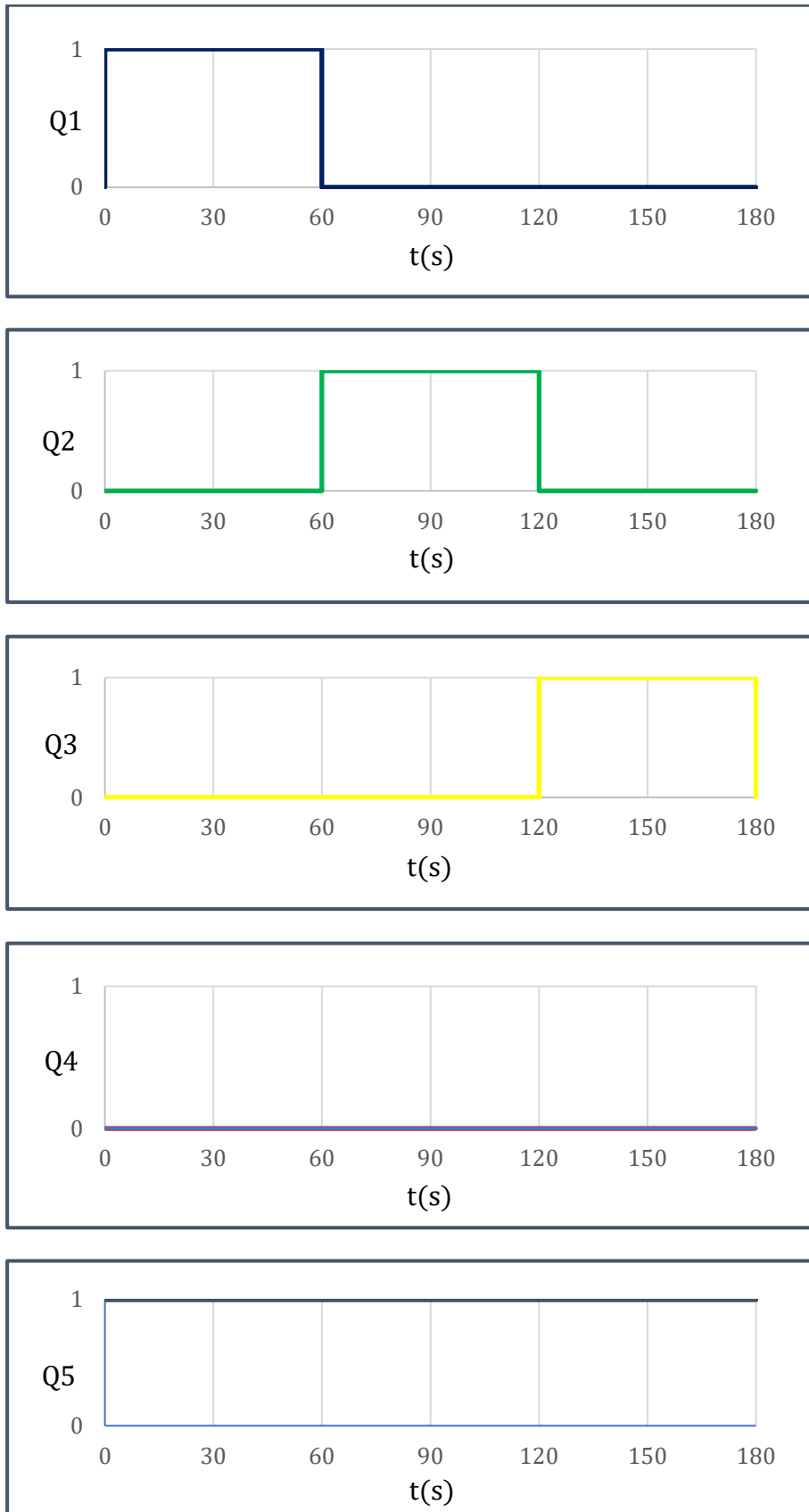
Salida del PCL	Tiempo de funcionamiento		Residuo VE – VT
	Valor experimental VE t(s)	Valor teórico VT t(s)	
Q4	15	15	0
Q3	45	45	0
Q1	60	60	0
Q2	60	60	0
Q5	180	180	0

Fuente: Elaboración propia.

En las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, se pueden observar los resultados obtenidos en cada prueba del sistema de automatización, los mismos que corresponden al valor experimental VE, al valor teórico VT y el residuo del tiempo de funcionamiento de cada una de las cinco salidas físicas utilizadas en el PLC, las cuales se conectaron físicamente a las electrobombas 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. Para obtener el residuo, simplemente se realizó la diferencia entre el valor experimental con el valor teórico, es decir:  $\text{Residuo} = \text{VE} - \text{VT}$ . Por ejemplo, en la tabla 7 para la salida física Q1 se tiene:  $\text{VE} = 60 \text{ s}$  y  $\text{VT} = 60 \text{ s}$ ; entonces el residuo resultó:  $\text{Residuo} = 60 - 60 = 0$ .

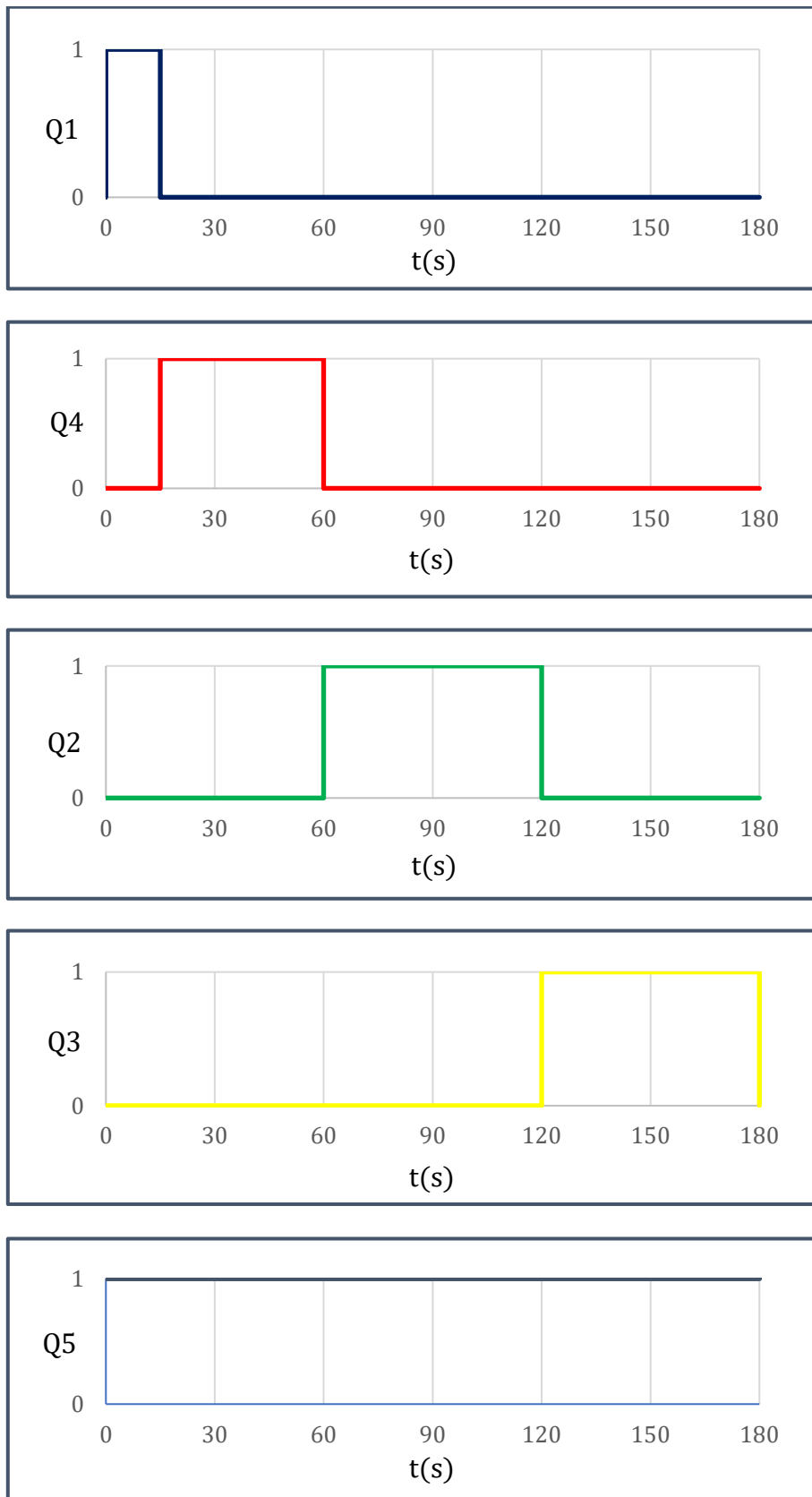
El valor teórico del tiempo de funcionamiento se programó en los temporizadores TT1, TT2, TT3 y TT4, de acuerdo a lo que se estableció en la sección 3.1.9.

También, los resultados obtenidos en cada una de las siete pruebas del sistema de automatización, se representaron mediante diagramas de estado de las salidas físicas Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5 del PLC, tal como se muestran en las figuras 33, 34, 35, 36, 37, 38 y 39, respectivamente.



**Figura 33.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 1.

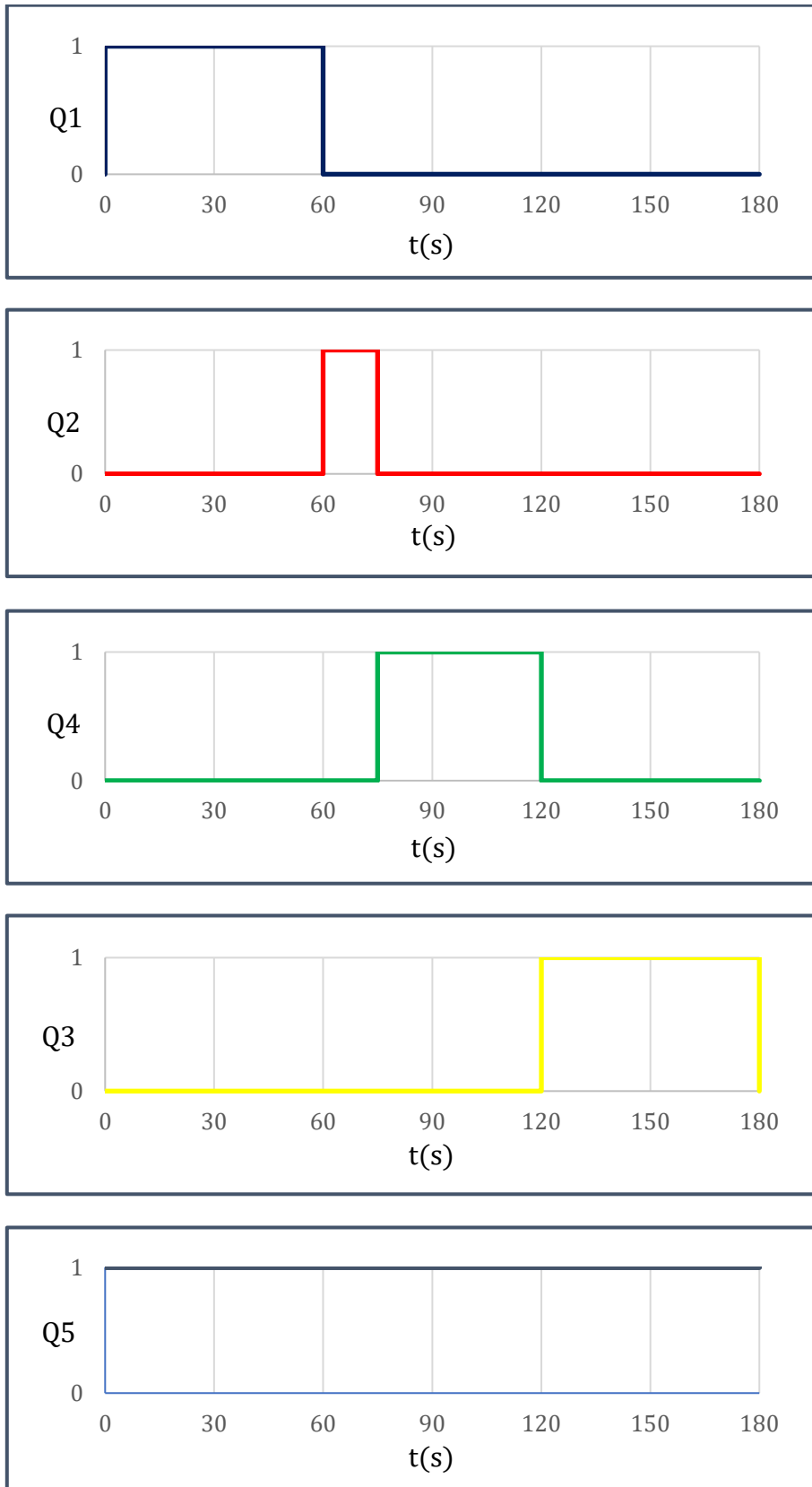
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 34.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 2.

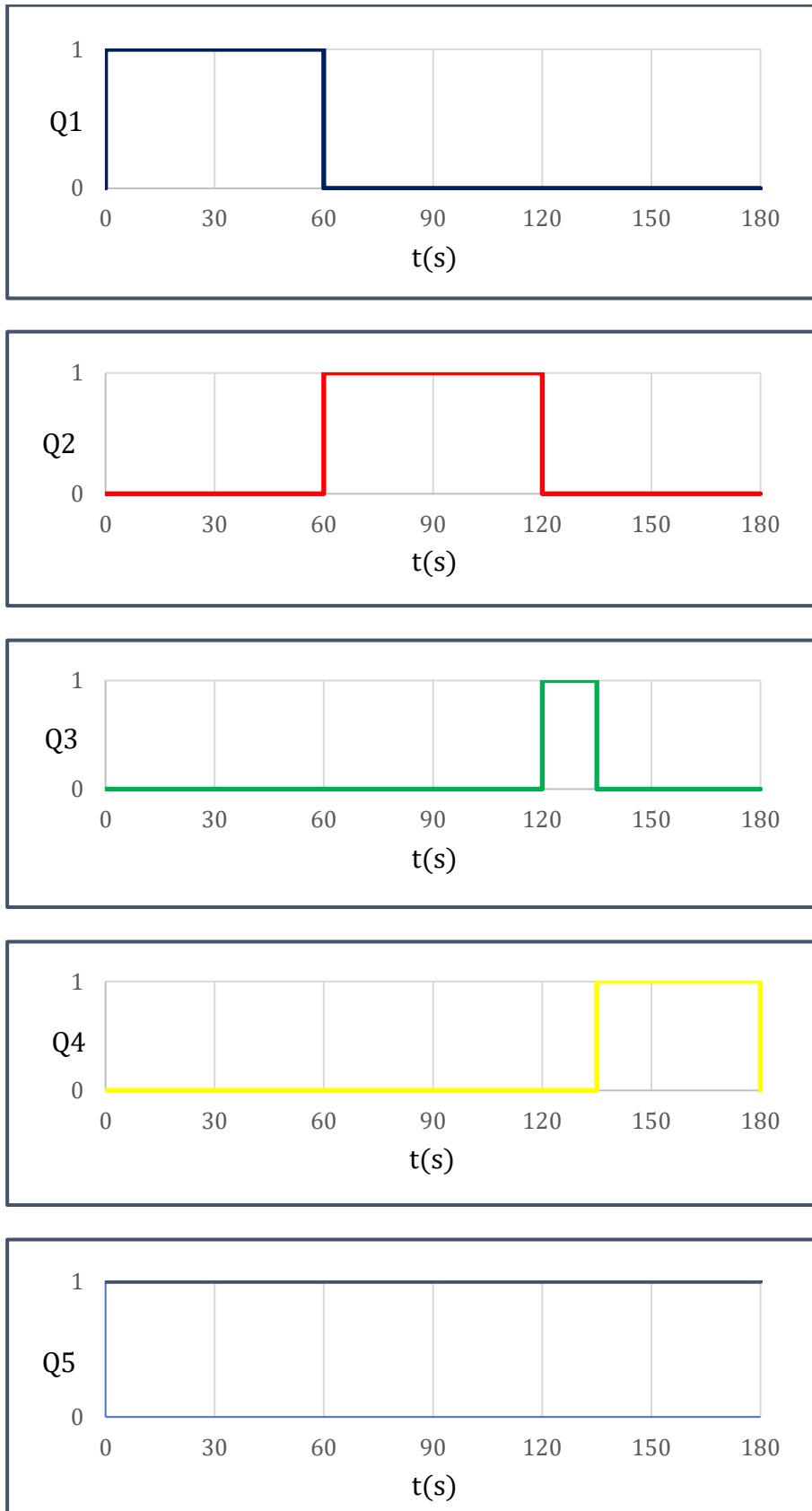
Fuente: Elaboración propia.





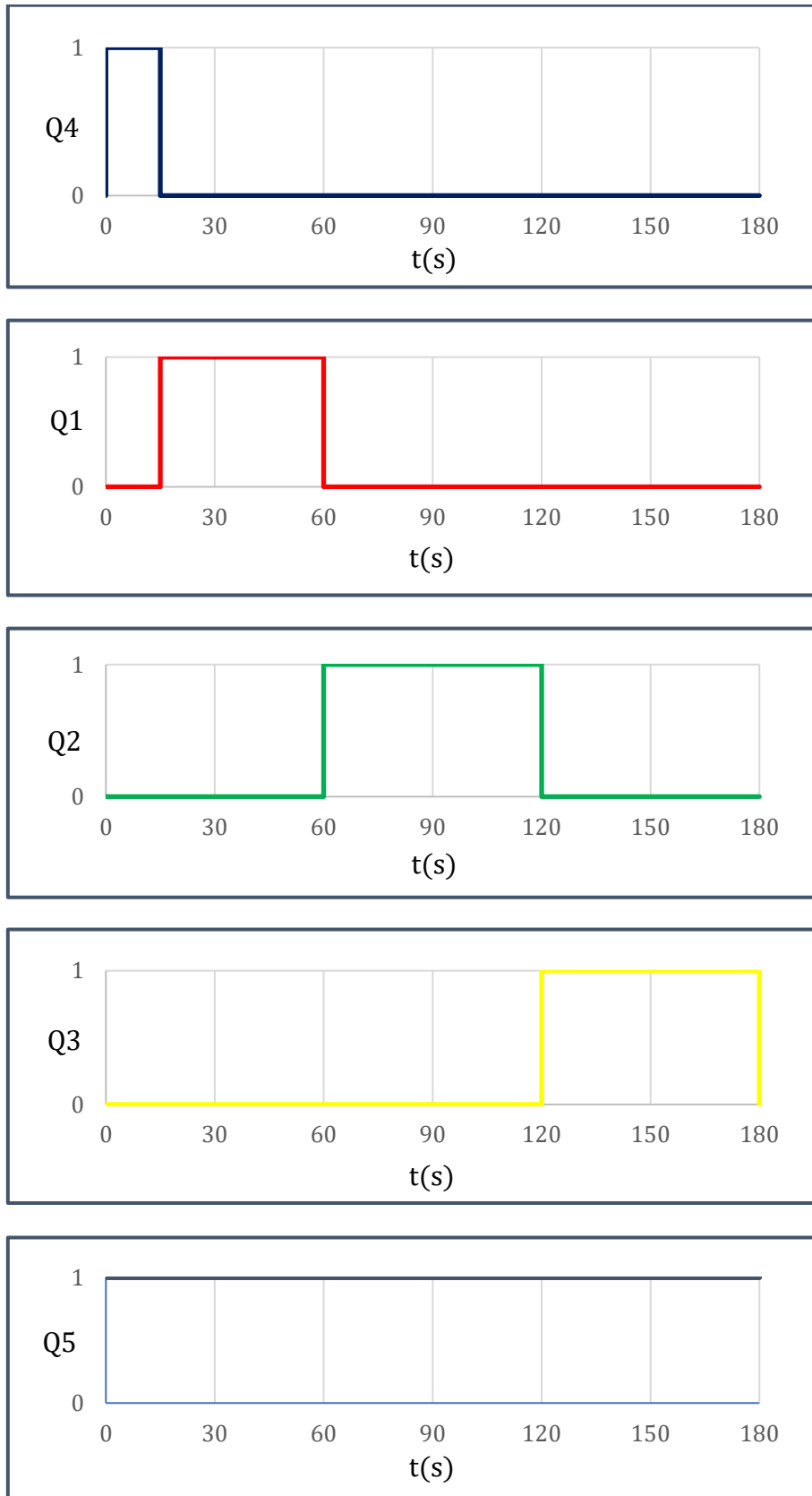
**Figura 35.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 3.

Fuente: Elaboración propia.



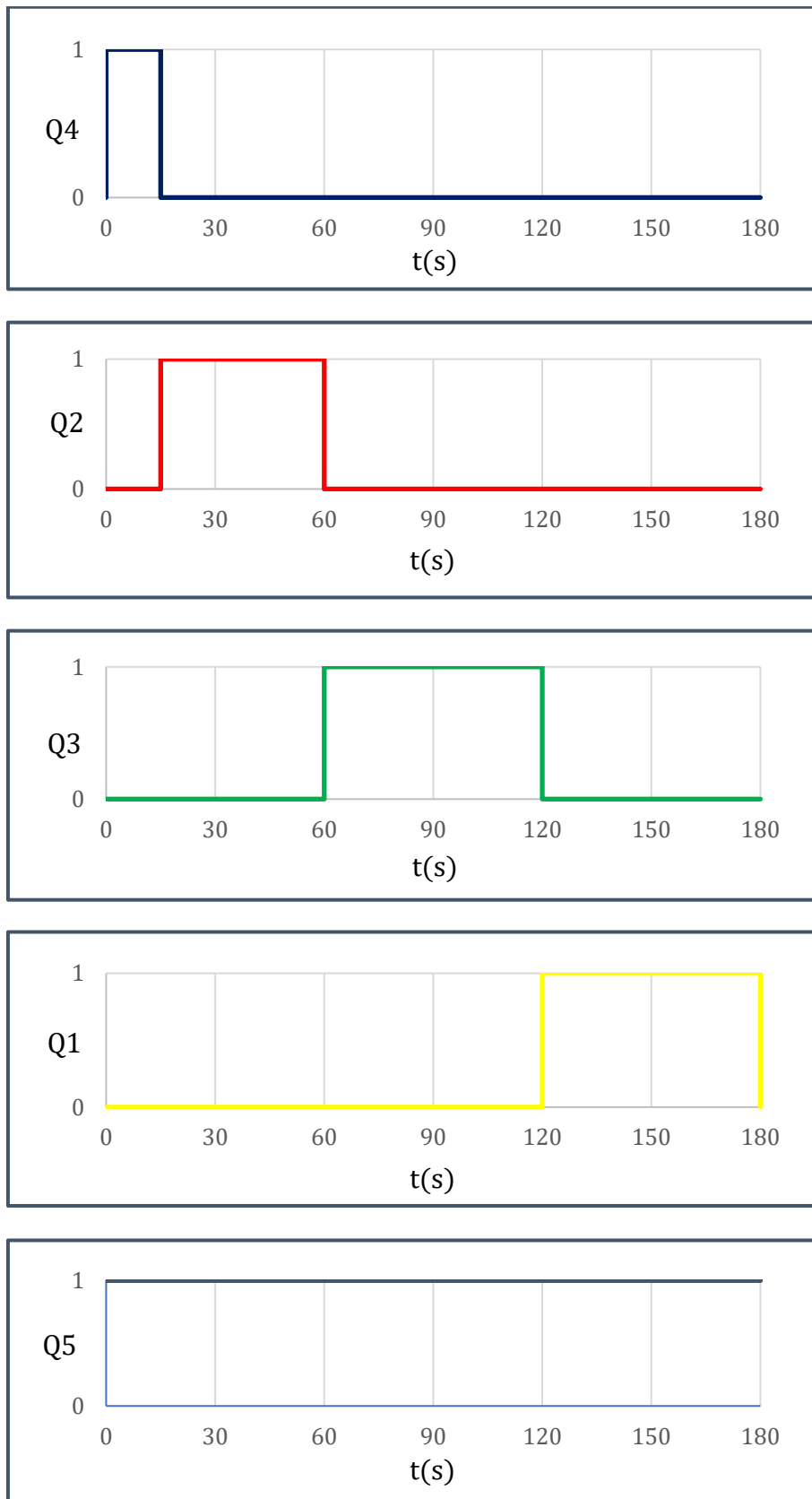
**Figura 36.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 4.

Fuente: Elaboración propia.



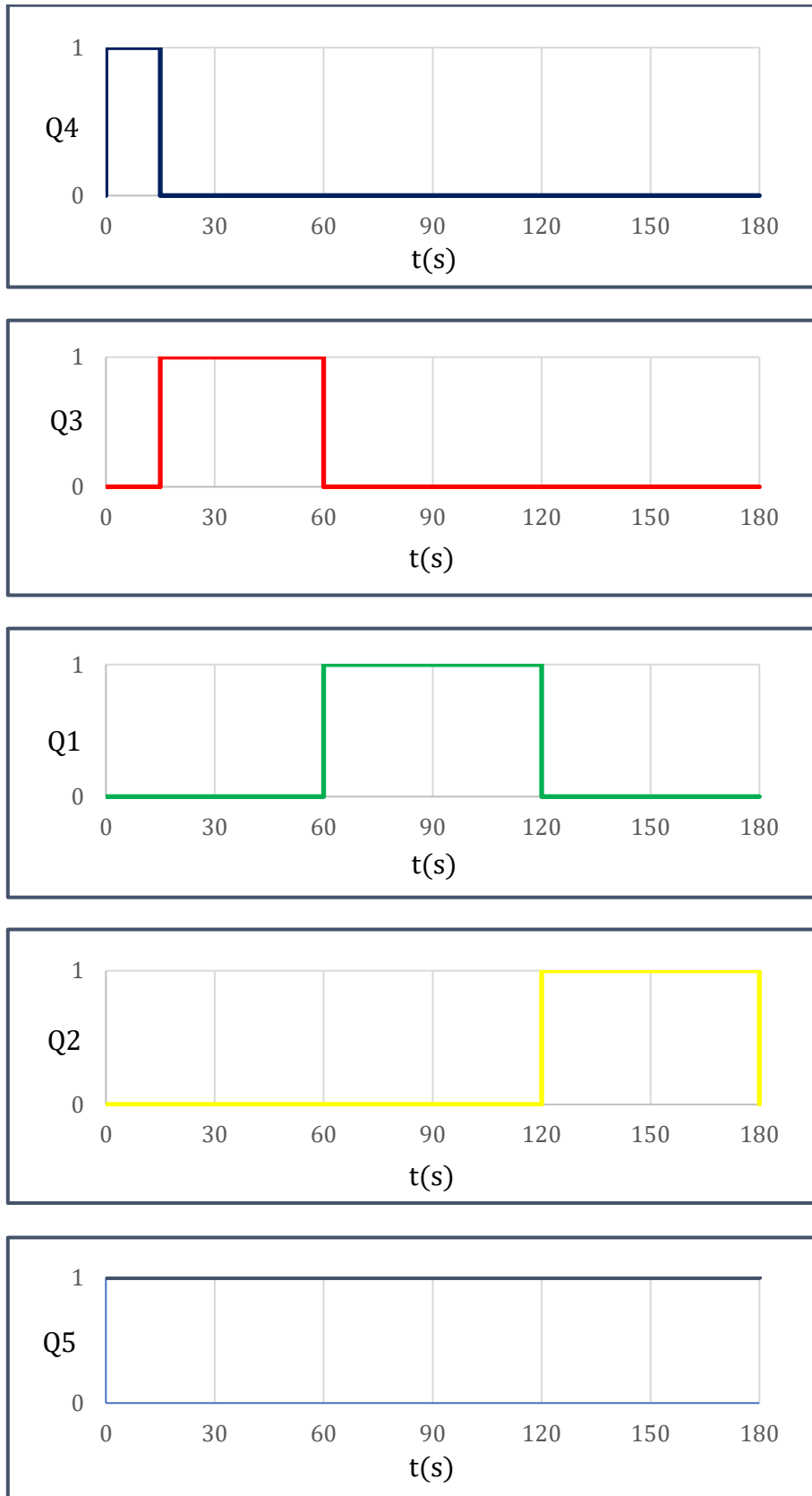
**Figura 37.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 5.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 38.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 6.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 39.** Diagramas de estado correspondientes a la prueba 7.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

En la columna 4 de las tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8 y 9, se puede observar el valor del residuo del tiempo de funcionamiento de las electrobombas 1, 2, 3, 4 y 5, lo cual resultó igual a cero en las siete pruebas de funcionamiento del sistema de automatización, demostrándose de esta manera que los temporizadores TT1, TT2, TT3 y TT4 del PLC, tienen una eficiencia del 100 %, pues dichas electrobombas no presentaron ningún retardo al prenderse y apagarse, cumpliéndose correctamente lo simulado mediante el circuito lógico.

En el trabajo de tesis que realizaron [Del Águila y Haquiwara \(2022, pp. xii, 1-80\)](#), utilizaron un PLC LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6, demostrando también que los temporizadores de este PLC tienen una eficiencia del 100 %; sin embargo, dicho PLC trabajó con una interfaz que sólo permitió transferir un programa desde una PC al PLC, más no pudieron realizar el control en tiempo real del funcionamiento de las cuatro electrobombas desde la misma PC; es decir, para iniciar el funcionamiento de las cuatro electrobombas, tenían que realizarlo presionando un pulsador (NA), el cual se encontraba conectado físicamente a una entrada del PLC. En el presente trabajo de tesis, se utilizó el PLC Zelio SR2 A201FU, el cual se programó mediante el software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2 y trabajó con una interfaz, la cual cuenta con los puertos de comunicación COM y USB, siendo estos conectados físicamente al PLC y a la PC, respectivamente; pudiéndose de esta manera, dar inicio y detener la operación de alternancia de cuatro electrobombas, tan sólo con hacer un clic en el panel de entradas del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2; además, de poder observar en tiempo real desde la PC, la situación (prendido o apagado) de las salidas físicas del PLC que se conectaron a las electrobombas 1, 2, 3 y 4.

En el trabajo de tesis que realizaron [Espinoza y Pezo \(2023, pp. xiv, 1-76\)](#), utilizaron una electrobomba, la cual era prendida de forma manual. Para este caso, se realizó la operación de temporizado de una electrobomba, la cual se representó en el circuito lógico por la electrobomba 5; haciéndose de esta manera, que el prendido y apagado de dicha electrobomba se realice desde una PC, simplemente con dar un clic en el panel de entradas del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2.

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- En la sección 3.1.4, se ha elaborado el circuito lógico que permitió realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, el mismo que tuvo la forma de un diagrama ladder. De esta forma se ha cumplido con el primer objetivo específico y a la vez se probó la primera hipótesis específica.
- En la sección 3.1.5, se ha determinado la relación entre la situación de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC. Mediante las ecuaciones (2), (3) y (10), se ha podido demostrar que existe relación entre la situación de las entradas (I1, I2, I3 e i6), con la situación de la salida física Q1 del PLC; Por ejemplo, para que la electrobomba 1 se encuentre prendida, necesariamente tiene que haberse presionado el pulsador I2; también, para generar un fallo en la electrobomba 1, necesariamente tiene que haberse presionado el pulsador I3 haciendo que esta electrobomba se apague y se prenda automáticamente la electrobomba 4; de igual manera, para poner nuevamente en funcionamiento a la electrobomba 1, necesariamente tiene que haberse presionado el i6 haciendo que la electrobomba 4 se apague y la electrobomba 1 se prenda automáticamente. Mediante las ecuaciones (2), (5) y (11), se ha podido demostrar que existe relación entre la situación de las entradas (I4 e i7), con la situación de la salida física Q2 del PLC; por ejemplo, para simular una falla en la electrobomba 2, necesariamente tiene que haberse presionado el pulsador I4 haciendo que esta electrobomba se apague y se prenda automáticamente la electrobomba 4, del mismo modo, para poner nuevamente en funcionamiento a la electrobomba 2, necesariamente tiene que haberse presionado el i7 haciendo que la electrobomba 4 se apague y la electrobomba 2 se prenda automáticamente. Mediante las ecuaciones (2), (7) y (12), se ha podido demostrar que existe relación entre la situación de las entradas (I5 e i8), con la situación de la salida física Q3 del PLC; por ejemplo, para simular una falla en la electrobomba 3, necesariamente tiene que haberse presionado el pulsador I5 haciendo que esta electrobomba se apague y se prenda automáticamente la electrobomba 4; de la misma forma, para poner nuevamente en funcionamiento a la electrobomba 3, necesariamente tiene que haberse presionado el i8 haciendo que la electrobomba 4 se apague y la

electrobomba 3 se prenda automáticamente. Mediante las ecuaciones (2), (9), (10), (11) y (12), se ha demostrado que existe relación entre la situación de entradas (I3, ..., I5, i6, i7 e i8), con la situación de la salida física Q4 del PLC; por ejemplo, para prender a la electrobomba 4 por fallo de las electrobombas 1, 2 y 3, necesariamente se tiene que haber presionado los pulsadores I3, I4 e I5, respectivamente, haciendo que dichas electrobombas se apaguen y la electrobomba 4 se prenda automáticamente; de la misma manera, para apagar a la electrobomba 4 para poner nuevamente en funcionamiento a las electrobombas 1, 2 y 3, necesariamente se tiene que haber presionado los pulsadores i6, i7 e i8, respectivamente, haciendo que dichas electrobombas se prendan y la electrobomba 4 se apague automáticamente. Mediante las ecuaciones (13), (14) y (15), se ha podido demostrar que existe relación entre la situación de las entradas (i9 e IA), con la situación de la salida física Q5 del PLC; es decir, para que la electrobomba 5 se encuentre prendida, necesariamente tiene que haberse presionado el pulsador IA; de la misma manera, en cualquier momento que se requirió detener la operación de temporizado de la electrobomba 5, fue suficiente presionar el pulsador i9. Por todo lo mencionado líneas arriba, se puede decir que se ha cumplido con el segundo objetivo específico y también se ha probado la segunda hipótesis específica.

- En la sección 3.1.6, se ha determinado que la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron del PLC fueron: diez entradas y cinco salidas físicas, cumpliendo de este modo con el tercer objetivo específico y probándose al mismo tiempo la tercera hipótesis específica.
- En conclusión, se puede decir que se ha realizado el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, cumpliéndose de esta manera con el objetivo general y al mismo tiempo probándose la hipótesis general.



## CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Es recomendable utilizar la vestimenta adecuada cuando se tenga que manipular los pulsadores del sistema de automatización, esto con el fin de prevenir accidentes.
- También con la finalidad de evitar descargas eléctricas, es recomendable no tocar con las manos mojadas los componentes metálicos del sistema de automatización
- Se recomienda tener en cuenta el diagrama de instalación eléctrica, en el caso de revisar periódicamente las conexiones entre las entradas y salidas físicas del PLC, esto con el fin de verificar que no exista ningún cable suelto o pelado que pueda alterar el correcto funcionamiento del PLC.
- Se recomienda realizar frecuentemente, el control del funcionamiento de las entradas y salidas del PLC haciendo uso del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2 y de la interfaz de comunicación, esto con el propósito de garantizar el adecuado funcionamiento de cada uno de los componentes que conforman el sistema de automatización.
- Se recomienda que al instalarse el mencionado sistema de automatización en el Laboratorio Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, debe estar muy cercano a un tomacorriente para que se conecte directamente con el enchufe bipolar que sale de la llave térmica.
- Por último, se recomienda animar a los egresados y docentes de la FIQ-UNAP, a realizar más proyectos de tesis que estén relacionados a la automatización de procesos químicos industriales, esto con la finalidad de poner operativos a los diferentes equipos con los que cuenta el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP e implementarlos con sistemas automatizados. De este modo, se estaría haciendo viable la realización de las prácticas de los diferentes cursos de ingeniería que se dictan en la FIQ-UNAP, mejorando de esta forma la formación académica y creando nuevas habilidades en los egresados en lo que se refiere al diseño, simulación y automatización de procesos industriales.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- CHONG, Pablo y FERREYRA, Juan. Construcción e instalación de un prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. pp. 12-21, 28-31.
- CUCAT, Yuan. Implementación de una plataforma de capacitación en control industrial para los alumnos de ingeniería electrónica - UNPRG. Tesis para optar el título profesional de ingeniero electrónico. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2020. pp. 9, 14.
- DEL ÁGUILA, Jesús y HAQUIWARA, Irma. Diseño, construcción e instalación de un prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2022. pp. xii, 1-80.
- ESPINOZA, Janeth y PEZO, Arlington. Construcción e instalación de un equipo para determinar la relación entre la altura dinámica y el caudal en electrobombas periféricas. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. pp. xiv, 1-76.
- ESTRELLA, Naomi y PANDURO, Jahel. Mejoramiento de un equipo para el drenaje de líquidos en tanques cónicos mediante la implementación de un sistema automatizado. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. pp. 18, 20.
- FLÓREZ, Héctor. Diseño Lógico. Fundamentos en electrónica digital. 1a. ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2010. pp. 46-47.

ISBN: 978-958-994-900-9.

- MAMANI, Gilber. Diseño e implementación de un prototipo para automatizar el proceso de embotellado de yogurt en la planta lechera Tacna. Tesis para optar el título profesional de ingeniero electrónico. Tacna, Perú: Universidad Privada de Tacna Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2021. pp. xvi, 15, 85-90.
- RODRÍGUEZ, Julián; CERDÁ, Luis y BEZOS, Roberto. Automatismos Industriales. 2a. ed. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 2022. pp. 310, 312, 322, 348-350.  
ISBN 13: 978-84-1366-161-2.
- TOVAR, Gabriel y PARALES, Yorman. Diseño e implementación de un banco didáctico de pruebas para la programación de PLC Schneider Electric. Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Electromecánico. Villavicencio, Colombia: Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica, 2020, pp. vi, 18, 31-41.

# ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál será el sistema que mejore el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP?</li> <li>• ¿Cuál es la relación entre la situación de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC?</li> <li>• ¿Cuántas son las entradas y salidas físicas que debe utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b> Realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar el circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.</li> <li>• Determinar la relación entre la situación de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.</li> <li>• Determinar cuántas son las entradas y salidas físicas que debe utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b> El sistema que mejore el control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP-2023, debe estar implementado con una interfaz de comunicación entre el PLC y una PC, la cual debe permitir realizar el prendido, apagado y monitoreo en tiempo real de todo el sistema desde una PC.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El circuito lógico más adecuado, que permita realizar la simulación y el control automático en tiempo real de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, debe ser un diagrama tipo ladder.</li> <li>• Existe relación entre la situación de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.</li> <li>• Las entradas y salidas físicas que deben utilizarse del PLC, para realizar el mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP, deben ser: diez entradas y cinco salidas físicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>En la alternancia de cuatro electrobombas</b> <b>Variables independientes:</b> situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7 e I8. <b>Variables intervinientes:</b> situación de las marcas M1, M2, M3 y M4 y situación de los temporizadores TT1, TT2 y TT3. <b>Variables dependientes:</b> situación de las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4 del PLC, las cuales se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3 y 4, respectivamente.</li> <li>• <b>En el temporizado de una electrobomba</b> <b>Variables independientes:</b> situación de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I9 e IA. <b>Variables intervinientes:</b> situación de la marca M5 y situación del temporizador TT4. <b>Variable dependiente:</b> situación de la salida física Q5 del PLC, la cual se conecta físicamente a la electrobomba 5.</li> </ul>	<p>Abierto: 0 Cerrado: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p> <p>Abierto: 0 Cerrado: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> La presente investigación, es del tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional.</p> <p><b>Población y muestra</b> La población estuvo conformada por el número total de elementos del circuito lógico, lo cual resultó igual a 41.</p> <p>Se consideraron como muestra, específicamente a las salidas físicas Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5 del PLC, ya que estas salidas se conectan físicamente a las electrobombas 1, 2, 3, 4 y 5; de esta forma el tamaño de muestra resultó igual a 5.</p>

**Anexo 2.** Especificaciones técnicas de los componentes principales del sistema de automatización.

**Llave térmica**

Marca: Schneider Electric.

Amperaje:  $2 \times 16$  A.

**Controlador lógico programable (PLC)**

Marca: Schneider Electric.

Modelo: Zelio SR2 A201FU.

Alimentación: 100 – 240 VAC.

Entradas digitales = 12 (I1, ..., I12).

Salidas digitales = 8 (Q1, ..., Q8/relé de 8 A por cada salida).

**Anexo 3.** Vista real del sistema automatizado, al ser instalado en los dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.



**Anexo 4.** Instructivo para el funcionamiento del sistema de automatización.

### **Descripción de la alternancia de cuatro electrobombas**

La operación de alternancia de cuatro electrobombas, se lleva a cabo de la forma siguiente: al presionar el pulsador I2, se inicia el ciclo de funcionamiento semafórico para las electrobombas 1, 2 y 3, manteniéndose así, siempre y cuando no se presente ninguna falla en el funcionamiento de las mismas. Para simular una falla en el funcionamiento de cualquiera de las tres electrobombas mencionadas, se conectan correspondientemente a las entradas del PLC los pulsadores I3, I4 e I5; es decir, si deseamos que la electrobomba 1 falle, bastará con presionar el pulsador I3, haciendo de esta manera que la electrobomba 1 se apague y la electrobomba 4 se prenda automáticamente; de este modo, la electrobomba 4 toma el lugar de la electrobomba 1, hasta que se decida poner en funcionamiento nuevamente a la electrobomba 1. De la misma forma que se genera la falla para la electrobomba 1, también se puede generar la falla para las electrobombas 2 y 3, pero para eso se tendría que presionar los pulsadores I4 e I5, respectivamente. Para el caso que se desee nuevamente poner en funcionamiento a cualquiera de las electrobombas (1, 2 y 3), se conectan a las entradas del PLC los pulsadores i6, i7 e i8, respectivamente. Por ejemplo, si la electrobomba 2 se encuentra apagada por presentar algún fallo, bastará con presionar el pulsador i7 para prenderla nuevamente y apagar automáticamente a la electrobomba 4. Del mismo modo que se pone nuevamente en funcionamiento a la electrobomba 2, también se puede hacer lo mismo para las electrobombas 1 y 3, pero para eso se tendría que presionar los pulsadores i6 e i8, respectivamente. En cualquier momento que se desee parar la operación de alternancia de cuatro electrobombas, bastará con presionar el pulsador I1. Es preciso aclarar que los pulsadores i6, i7 e i8, físicamente son contactos NA; sin embargo, en el software de simulación del PLC se programan como contactos NC, estos son i6, i7 e i8.

### **Descripción del temporizado de una electrobomba**

Para dar inicio a la operación de temporizado de una electrobomba, se debe presionar el pulsador IA, el cual debe estar conectado a la entrada 10 del PLC. En el mismo instante que se presiona el pulsador IA, automáticamente debe prenderse la salida física Q5 del PLC, la cual debe estar conectada físicamente a la electrobomba 5. En cualquier momento que se desee parar la operación de temporizado de la electrobomba



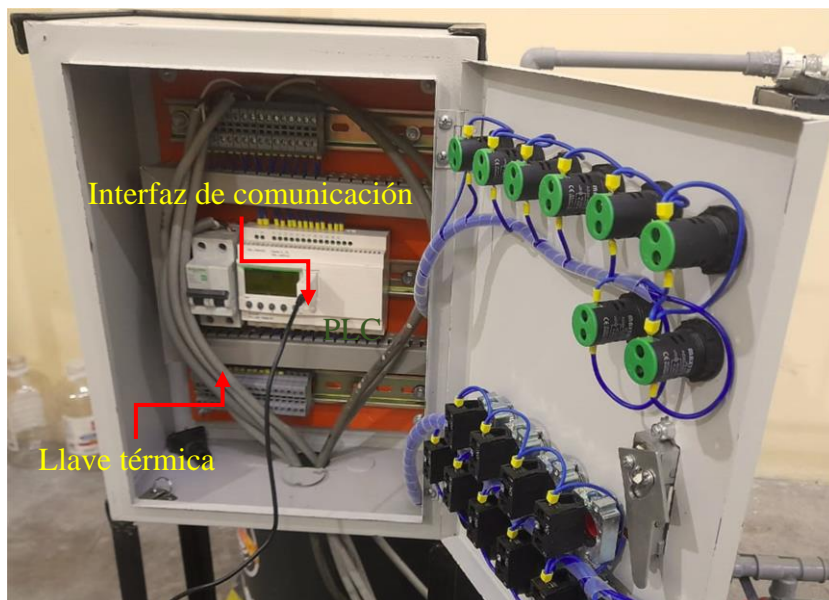
5, será suficiente presionar el pulsador i9, el cual se debe conectar físicamente a la entrada 9 del PLC. Cabe mencionar, que el pulsador i9, físicamente es un contacto NA; pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC, esto es i9.

#### Sistema de automatización



**Figura A1.** Vista real del sistema de automatización, después de su instalación en los dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP.

El detalle del sistema de automatización, se muestra en la figura A2.



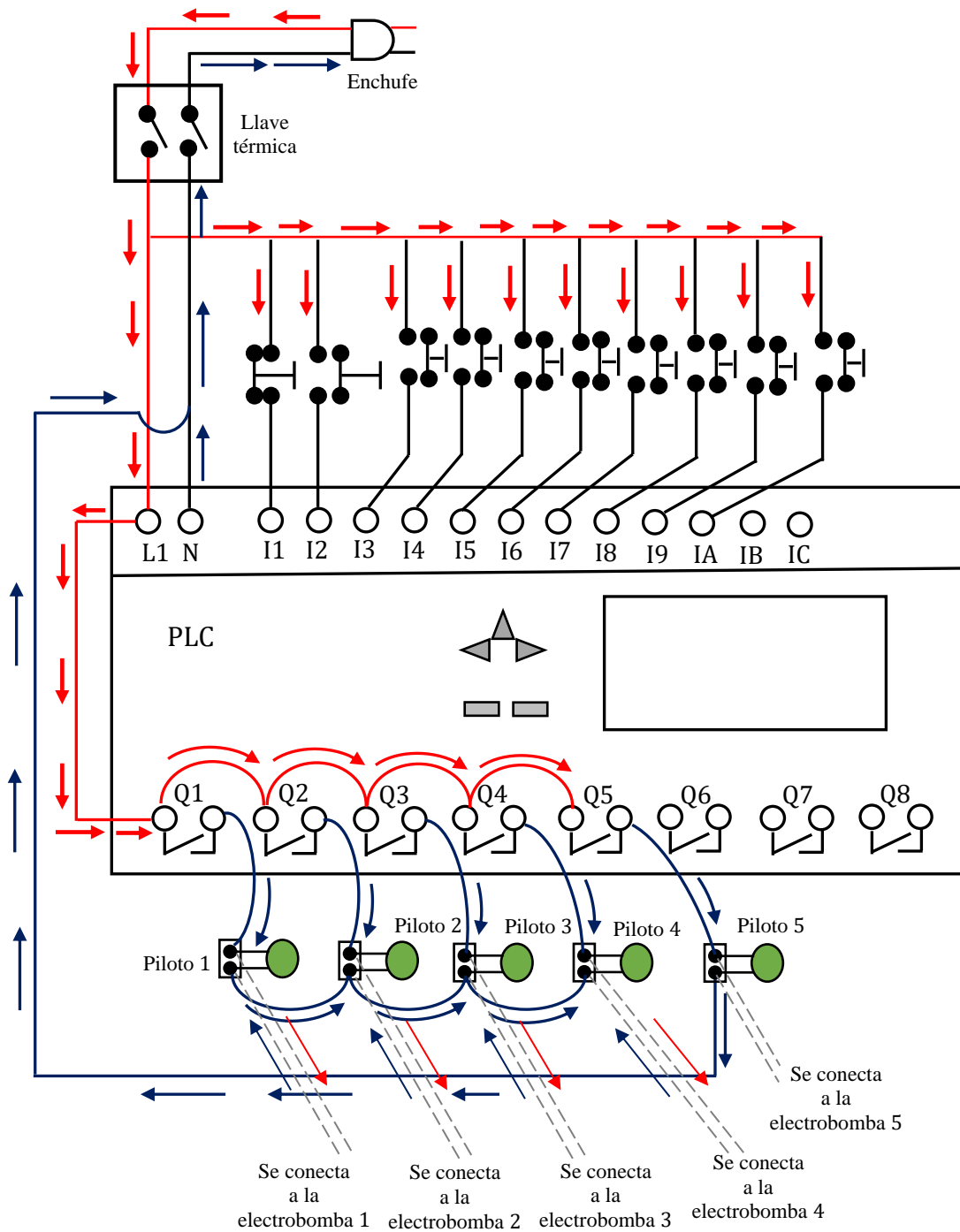
**Figura A2.** Detalle del sistema de automatización.

### **Cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC**

La cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC son: diez entradas (I1, ..., I5, i6, i7, i8, i9 e IA) y cinco salidas físicas (Q1, Q2, Q3, Q4 y Q5). Además, es preciso mencionar, que el orden de conexiones tanto para las diez entradas y las cinco salidas físicas del PLC, debe ser como se indica a continuación:

- La entrada 1 del PLC se conecta al pulsador I1 (físicamente NC), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NA.
- La entrada 2 del PLC se conecta al pulsador I2, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 3 del PLC se conecta al pulsador I3, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 4 del PLC se conecta al pulsador I4, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 5 del PLC se conecta al pulsador I5, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La entrada 6 del PLC se conecta al pulsador i6 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 7 del PLC se conecta al pulsador i7 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 8 del PLC se conecta al pulsador i8 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 9 del PLC se conecta al pulsador i9 (físicamente NA), pero en el software de simulación del PLC se programa como un contacto NC.
- La entrada 10 del PLC se conecta al pulsador IA, el cual es un contacto NA, tanto físicamente como en el software de simulación del PLC.
- La salida física Q1 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 1.
- La salida física Q2 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 2.
- La salida física Q3 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 3.
- La salida física Q4 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 4.
- La salida física Q5 del PLC se conecta a una luz piloto verde y a la electrobomba 5.

Entonces, de acuerdo al orden de conexiones, se tiene el siguiente diagrama de instalación eléctrica (figura A3).



**Figura A3.** Diagrama de instalación eléctrica.