



**UNAP**



**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**TESIS**

**CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA  
LLENADO DE BOTELLONES CON AGUA Y SU  
IMPLEMENTACIÓN CON UN CONTROLADOR  
LÓGICO PROGRAMABLE**

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

**PRESENTADO POR:**

**PABLO CÉSAR CHONG HIDALGO  
JUAN SEBASTIÁN FERREYRA TENAZOA**

**ASESORES:**

**Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Mtro.  
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2023**



**UNAP**

**Facultad de Ingeniería Química  
Unidad de Investigación**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 007 -CGT-FIQ-UNAP-2023**

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 28 días del mes de Junio de 2023, a horas 11:30, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LLENADO DE BOTELLONES CON AGUA Y SU IMPLEMENTACIÓN CON UN CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE"**, aprobado con Resolución Decanal N° 148-2023-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Pablo César Chong Hidalgo y Juan Sebastián Ferreyra Tenazoa**, 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° 124-2023-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ DE ARAUJO, Dra.	Miembro
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.	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 12:20 se dio por terminado el acto de sustentación.

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

Ing. MARITZA ECHEVARRIA ORDOÑEZ DE ARAUJO, Dra.  
Miembro

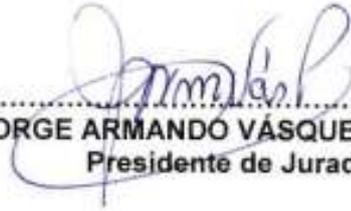
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.  
Miembro

Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Mtro.  
Asesor

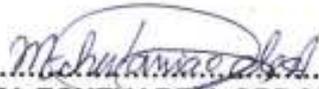
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.  
Asesor



**JURADO Y ASESORES**



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



.....  
**Ing. MARITZA ECHEVARRÍA ORDOÑEZ DE ARAUJO, Dra.**  
**Miembro**



.....  
**Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.**  
**Miembro**



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



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

## RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

NOMBRE DEL TRABAJO

FIQ\_TESIS\_CHONG HIDALGO\_FERREYRA  
TENAZOA.pdf

AUTOR

CHONG HIDALGO / FERREYRA TENAZOA

RECUENTO DE PALABRAS

**14243 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**68685 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**75 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**1.4MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 10, 2023 10:23 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 10, 2023 10:24 AM GMT-5**

### ● 21% de similitud general

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

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

### ● Excluir del Reporte de Similitud

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

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi familia por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, que pusieron todo el empeño y el esfuerzo en apoyarme en mis estudios, por confiar plenamente en mí y sobre todo brindarme todo lo necesario para poder desarrollarme como estudiante competente y llegar a ser un profesional de éxito y calidad.

**Pablo César Chong Hidalgo**

Dedico con todo mi corazón mi tesis a mi madre, pues sin ella no lo había logrado, por formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores. Gracias por todo mamá, te amo.

A mi familia que siempre me apoyo en los momentos buenos y malos.

También lo dedico a mi hija porque ella es mi motivación para seguir esforzándome y ser un ejemplo de padre.

A mi padre, por los consejos y por motivarme a seguir adelante y no rendirme jamás.

**Juan Sebastián Ferreyra Tenazoa**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios sobre todas las cosas por brindarnos la inteligencia y capacidad necesaria para poder desarrollar todas nuestras actividades, entender, aprender y comprender todas las enseñanzas dadas por nuestros docentes adquiridos en las aulas.

A nuestros queridos padres, por el apoyo incondicional y a cada uno de nuestros asesores los ingenieros: Víctor García Pérez y Fernando Javier Salas Barrera, por guiarnos y darnos la confianza, la paciencia y los conocimientos necesarios para concluir con éxito el presente trabajo.

**Pablo César Chong Hidalgo**

**Juan Sebastián Ferreyra Tenazoa**

## 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. ¿Qué es un PLC?	5
1.2.2. Estructura básica de un PLC	6
1.2.3. Fundamentos del control lógico	7
1.2.4. Compuertas lógicas	7
1.2.5. Lenguajes utilizados en la programación de un PLC	11
1.2.6. PLC Zelio Logic (Schneider Electric)	13
1.2.7. Programación del PLC Zelio Logic	15
1.2.8. La simulación de un programa mediante Zelio Soft2	25
1.2.9. La transferencia de un programa	26
1.2.10. Modo de monitorización	27
1.3. Definición de términos básicos	28
1.3.1. Contacto normalmente abierto (NA)	28
1.3.2. Contacto normalmente cerrado (NC)	28
1.3.3. Combinaciones entre los contactos NA y NC	29
1.3.4. Enclavamiento o retención	31
1.3.5. Variables de control automático	32
1.3.6. Variables y parámetros de la operación de llenado	33
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	35
2.1. Formulación de la hipótesis	35
2.2. Variables y su operacionalización	35

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1. Tipo y diseño	38
3.1.1. Descripción del esquema del prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable	39
3.1.2. Descripción de la operación de llenado de botellones con agua	42
3.1.3. Diseño y simulación del diagrama ladder para el llenado de botellones con agua	43
3.1.4. Cálculo de la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable	52
3.1.5. Relación del estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable	52
3.1.6. Construcción e instalación del prototipo para llenado de botellones con agua	54
3.2. Diseño muestral	57
3.3. Procedimientos de recolección de datos	57
3.4. Procesamiento y análisis de datos	59
3.5. Aspectos éticos	64
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	65
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	71
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	72
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	73
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	74
ANEXOS	76
Anexo 1. Matriz de consistencia	77
Anexo 2. Vistas de las pruebas de funcionamiento del prototipo para llenado de botellones con agua	78
Anexo 3. Especificaciones técnicas de los componentes principales del prototipo para llenado de botellones con agua	79
Anexo 4. Manual de instrucciones del prototipo para llenado de botellones con agua	80

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Tabla de verdad de la compuerta IF	7
<b>Tabla 2.</b> Tabla de verdad de la compuerta NOT	8
<b>Tabla 3.</b> Tabla de verdad de la compuerta AND	9
<b>Tabla 4.</b> Tabla de verdad de la compuerta OR	10
<b>Tabla 5.</b> Elementos básicos empleados en la programación de un PLC	12
<b>Tabla 6.</b> Operacionalización de las variables en el control automático	36
<b>Tabla 7.</b> Operacionalización de las variables en la operación de llenado	37
<b>Tabla 8.</b> Datos necesarios para la evaluación del caudal producido por la electrobomba de llenado	58
<b>Tabla 9.</b> Masa de agua en cada uno de los diez botellones utilizados	65
<b>Tabla 10.</b> Tiempo requerido para llenar cada uno de los diez botellones utilizados	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura básica de un PLC	6
<b>Figura 2.</b> Simbolización de la compuerta IF	8
<b>Figura 3.</b> Simbolización de la compuerta NOT	8
<b>Figura 4.</b> Simbolización de la compuerta AND	9
<b>Figura 5.</b> Simbolización de la compuerta OR	11
<b>Figura 6.</b> Conjunto de ecuaciones lógicas representado mediante el diagrama ladder	13
<b>Figura 7.</b> PLC modelo Zelio SR3 B101FU	13
<b>Figura 8.</b> Pantalla de inicio del Zelio Soft2	15
<b>Figura 9.</b> Pantalla de selección del módulo	16
<b>Figura 10.</b> Pantalla de selección del lenguaje de programación	16
<b>Figura 11.</b> Interfaz de usuario del Zelio Soft2	17
<b>Figura 12.</b> Barra de símbolos estándar	19
<b>Figura 13.</b> Herramientas de programación	19
<b>Figura 14.</b> Representación de las entradas digitales en el software Zelio	20
<b>Figura 15.</b> Representación de las salidas físicas en el software Zelio	20
<b>Figura 16.</b> Representación de los relés auxiliares o marcas en el software Zelio	21
<b>Figura 17.</b> Representación de los temporizadores en el software Zelio	22
<b>Figura 18.</b> Diagrama ladder en el software Zelio, para temporizar las salidas Q1 y Q2	23
<b>Figura 19.</b> Representación de los contadores en el software Zelio	24
<b>Figura 20.</b> Ejemplo del uso de un contador en el software Zelio	24
<b>Figura 21.</b> Modo simulación	25
<b>Figura 22.</b> Simulación de un programa mediante Zelio Soft2	25
<b>Figura 23.</b> Interfaz de comunicación entre una computadora y el PLC	26
<b>Figura 24.</b> Transferencia de datos de una PC al PLC Zelio	26
<b>Figura 25.</b> Selección del módulo o modelos del PLC	27
<b>Figura 26.</b> Representaciones de un contacto NA en el software Zelio	28
<b>Figura 27.</b> Representaciones de un contacto NC en el software Zelio	28
<b>Figura 28.</b> Combinaciones entre los contactos NA y NC (del caso 1 al caso 3)	29
<b>Figura 29.</b> Combinaciones entre los contactos NA y NC (del caso 4 al caso 6)	30
<b>Figura 30.</b> Enclavamiento de la marca M1 en diferentes estados	31
<b>Figura 31.</b> Representación gráfica del estado de los elementos de un enclavamiento	32
<b>Figura 32.</b> Esquema del diseño de investigación para el control automático	38
<b>Figura 33.</b> Esquema del diseño de investigación para la operación de llenado	39

<b>Figura 34.</b> Esquema del prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable	41
<b>Figura 35.</b> Detalle del sistema de control automático	42
<b>Figura 36.</b> Diseño del prendido de la salida física Q1 del PLC	44
<b>Figura 37.</b> Simulación del prendido de la salida física Q1 del PLC	45
<b>Figura 38.</b> Diseño del prendido de la salida física Q2 del PLC y de la activación del temporizador TT1	46
<b>Figura 39.</b> Simulación del prendido de la salida física Q2 del PLC y de la activación del temporizador TT1	47
<b>Figura 40.</b> Diseño del prendido de la salida física Q3 del PLC, de la activación del temporizador TT2 y del conteo del contador CC1	48
<b>Figura 41.</b> Simulación del prendido de la salida física Q3 del PLC, de la activación del temporizador TT2 y del conteo del contador CC1	49
<b>Figura 42.</b> Diseño de la culminación de la operación de llenado, mediante la abertura del contacto c1	50
<b>Figura 43.</b> Diseño del reseteo del contador CC1	50
<b>Figura 44.</b> Simulación de la culminación de la operación de llenado, mediante la abertura del contacto c1	51
<b>Figura 45.</b> Simulación del reseteo del contador CC1	51
<b>Figura 46.</b> Imagen real del prototipo para llenado de botellones con agua	54
<b>Figura 47.</b> Diagrama de conexiones eléctricas para el PLC	55
<b>Figura 48.</b> Imágenes reales del sistema de control automático	56
<b>Figura 49.</b> Configuración de la comunicación para la transferencia de datos entre la PC y el PLC	60
<b>Figura 50.</b> Verificación del puerto COM	60
<b>Figura 51.</b> Monitorización del prendido de la salida física Q1	61
<b>Figura 52.</b> Monitorización del prendido de la salida física Q2	62
<b>Figura 53.</b> Monitorización del prendido de la salida física Q3	63
<b>Figura 54.</b> Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de cinco botellones con un volumen nominal de 3.800 L	68
<b>Figura 55.</b> Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de dos botellones con un volumen nominal de 4.500 L	69
<b>Figura 55.</b> Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de tres botellones con un volumen nominal de 20.000 L	70

## RESUMEN

El objetivo general de la presente tesis fue: construir, instalar e implementar con un controlador lógico programable (PLC), a un prototipo para llenado de botellones con agua, realizándose para esto una revisión detallada sobre los lenguajes más utilizados (ladder y BDF) en la programación de un PLC. Seguidamente, se realizó el diagrama ladder y se efectuó la simulación del llenado de botellones con agua; esto a su vez permitió determinar que la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron en el PLC son: tres entradas (I1, I2, e I3) y tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3). Finalmente, se realizaron las pruebas de funcionamiento de dicho prototipo, en las cuales se utilizó tres (3) conjuntos de botellones, con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L; resultando en cada caso los siguientes tiempos de llenado: 8.1 s, 9.5 s y 42.4 s, respectivamente. Para los diez botellones utilizados, se ha determinado que la diferencia mínima y máxima entre el volumen nominal y el volumen observado son: 0.342 % y 2.000 %, respectivamente, lo cual no excedió del 2 % con respecto al volumen nominal, comprobándose de esta manera que el mencionado prototipo funciona de forma eficiente. Entonces, se puede decir que la presente investigación es del tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño correlacional. De esta forma se concluye el presente trabajo de tesis, cumpliéndose con cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general.

**Palabras claves:** controlador lógico programable, diagrama ladder, volumen nominal, tiempo de llenado.

## **ABSTRACT SUMMARY**

The target the general of the present thesis was: constructing, installing and implementing with a programmable logical control (PLC), to a prototype for filling of large bottles with water. Coming true ad hoc a revision detailed on the languages more used (ladder and FDB) in the programming of a PLC. Straightaway, came true the diagram ladder and the simulation of the filling of large bottles with water took effect, this in turn allowed determining that the quantity of physical receipts and expenditures that were used in the PLC are: three entrances (I1, I2, and I3) and three physical exits (Q1, Q2 and Q3). At last, came true the performance testings of said prototype, the ones that it was used in three (3) sets of large bottles, with the following nominal volumes: five of 3.8 L, two of 4.5 L and three of 20 L; findings of fact in each case the following times filling: 8.1 s, 9.5 s and 42.4 s, respectively. For the ten used large bottles, it has been determined that the difference trough and peak between the nominal volume and the observed volume are: 0.342 % and 2.000 %, respectively, which did not exceed of the 2 % regarding the nominal volume, being proved this way that the mentioned prototype works of efficient way. Then, it can be said that the present investigation is somewhat diligent, with quantitative focus and i design correlational. In this way the present work of thesis is concluded, coming true with every one of the realistic brand-name drugs and the general objective lens.

**Keywords:** programmable logical control, diagram ladder, nominal volume, filling time.

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la automatización aplicada a los procesos industriales ha experimentado una gran evolución, gracias al empleo de los controladores lógicos programables (PLC), los cuales permiten realizar una inspección detallada del comportamiento de las variables que se encuentran involucradas en un proceso industrial. En la actualidad, para que los ingenieros de procesos puedan automatizar un proceso industrial, necesitan tener un amplio conocimiento de los lenguajes de programación (ladder y BDF) con los que trabajan los controladores lógicos programables (PLC); asimismo, deben tener una adecuada formación en los diferentes cursos de ingeniería como métodos numéricos, flujo de fluidos, termodinámica, transferencia de calor y de masa, electrónica digital, etc.

Un controlador lógico programable, se simboliza por las siglas en inglés PLC (Programmable Logic Controller) y es un dispositivo de alto rendimiento que permite programar un circuito lógico para controlar las variables de procesos y el funcionamiento de los diversos equipos industriales. Esto a su vez, hace que se optimice el tiempo durante la elaboración de proyectos, así como controlar de manera precisa y eficaz la maquinaria.

Existen diversos trabajos de tesis en la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP); sin embargo, en muy pocos de ellos se ha hecho uso de los controladores lógicos programables; actualmente, sólo existe un equipo de laboratorio que está implementado con un controlador lógico programable, el mismo que no abastece para que todos los alumnos que llevan el curso de Automatización de Procesos Químicos realicen las prácticas respectivas; por tanto, el egresado de la FIQ-UNAP carece de habilidades y destrezas con respecto al mencionado curso y no está al nivel académico para competir con egresados de otras universidades nacionales que si cuentan con laboratorios debidamente implementados con equipos automatizados.

De acuerdo a lo indicado en el párrafo precedente, es que, en el presente trabajo de tesis, se plantea el siguiente problema general: ¿cuál es el esquema de un prototipo para llenado de botellones con agua, que facilite realizar su construcción, instalación e implementación con un controlador lógico programable?

De esta manera, se formulan los siguientes problemas específicos:

### **Problemas específicos**

- ¿Cuál es el diagrama ladder que permite realizar la simulación del llenado de botellones con agua?
- ¿Cuántos son los elementos que tiene el diagrama ladder, que permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable?
- ¿Cuál es la relación entre el estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable?
- ¿Cuál es el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal?

Entonces, conforme al problema general y los problemas específicos, se generan respectivamente el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales son:

### **Objetivo general**

Construir, instalar e implementar con un controlador lógico programable, a un prototipo para llenado de botellones con agua.

### **Objetivos específicos**

- Elaborar el diagrama ladder que permita realizar la simulación del llenado de botellones con agua.
- Determinar cuántos son los elementos que tiene el diagrama ladder, que permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable.
- Determinar la relación entre el estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable.
- Determinar el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.

La presente investigación es importante, porque será un aporte a la implementación del Laboratorio de Automatización de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), el mismo que permitirá mejorar las condiciones de aprendizaje cuando se realice las prácticas del curso de Automatización de Procesos Químicos; desarrollándose de esta forma las siguientes habilidades, en los alumnos de la FIQ-UNAP:

- Diseñar circuitos lógicos en lenguaje ladder, que permitan realizar la simulación, el diseño y escalamiento de sistemas de llenado automatizados.
- Identificar el orden de conexiones para las entradas y salidas físicas del PLC, con los generadores de señal (sensores de proximidad, sensores de nivel, pulsadores NA y NC, etc.) y los actuadores (válvulas solenoides, electrobombas, contactores, etc.), cuando se lleve a cabo la automatización de sistemas de llenado.

En la operación de control automático, la población en el presente trabajo de tesis, lo constituyen la cantidad total de elementos del diagrama ladder, lo cual resulta ser igual a diecinueve (19). El tipo de muestreo es el no probabilístico a criterio o conveniencia de los investigadores, considerando para este caso que la muestra está conformada por la cantidad de salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) que se utilizan en el PLC; de esta manera, el tamaño de muestra es igual a tres (3). Para la operación de llenado propiamente dicha, se considera como muestra a tres (3) conjuntos de botellones, con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L; por tanto, para este caso el tamaño de muestra es igual a diez (10).

Finalmente, cabe mencionar que el presente informe final, está conformado por ocho (8) capítulos, los cuales se mencionan a continuación:

- 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), para optar el título profesional de ingeniero químico realizaron 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”. En esta investigación, primeramente, realizaron una revisión de los lenguajes de programación (ladder y BDF) orientados a un controlador lógico programable (PLC) y luego diseñaron un esquema del prototipo automatizado de cuatro electrobombas, donde describieron a cada uno de sus componentes principales; seguidamente, realizaron el diseño y simulación del circuito eléctrico (diagrama ladder) en el PLC de marca Siemens y modelo LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6, con el fin de verificar la activación y desactivación de las salidas físicas del PLC de acuerdo a lo programado; esto a su vez les permitió determinar la cantidad de entradas y salidas físicas que utilizaron en el PLC, para lo cual hicieron uso del software LOGO! Soft Comfort V6.1; a continuación, 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. Por último, realizaron siete (7) pruebas de funcionamiento del prototipo automatizado, donde el residuo del tiempo de funcionamiento de las cuatro electrobombas resultó igual a cero (0), lo cual indicó que las cuatro electrobombas no tienen ningún retardo al prenderse o apagarse, de acuerdo al tiempo programado en los temporizadores T001, T002 y T003, comprobándose de esta forma que el PLC funciona con una eficiencia del 100 %.
- Jara y Ramos (2018, pp. xi, 99-101), realizaron el trabajo de tesis titulado: “Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica”. En este trabajo de tesis, consideraron el problema de la deficiente aplicación de sistemas fotovoltaicos en sistemas de riego automatizado en las zonas alto andinas. Para el estudio consideraron el centro poblado de Ichu, donde plantearon hacer el prototipo automatizado con paneles fotovoltaicos y realizar el diseño adecuado

con la metodología de cálculo de la evapotranspiración potencial del cultivo de cebolla de 4.56 mm/día con un área de cultivo de 200 m<sup>2</sup> y un sistema de riego localizado con eficiencia del 90 % y un caudal de 0.46 L/s, tiempo de riego de 1.14 h/día, con tubería principal de 29.4 mm de diámetro y 12 laterales de 17.4 mm. El cálculo de paneles lo realizaron con datos de heliógrafo mensuales de 5.76 h – pico/día, con un régimen de bombeo de 3.23 L/min y paneles cristalinos Siemens de 12 V y 4.83 A y según el cálculo requirieron cuatro (4) paneles de 231.84 W. El sistema automatizado funcionó con el micro controlador Arduino UNO, con una programación lógica C/C<sup>++</sup>. Los costos del sistema de riego fotovoltaico y del sistema convencional a electricidad fueron de S/ 5787.7 y S/ 11247.16, respectivamente. De esta forma consideraron que el costo del sistema de riego fotovoltaico es mucho menor, concluyendo que el proyecto es viable a nivel de costos y energía limpia.

- López y Mendieta (2014, pp. 2, 99-101), para la obtención del título profesional de ingeniero en industrias alimentarias realizaron el trabajo final de carrera titulado: “Diseño, instalación y puesta en marcha de un equipo con PLC para la automatización de la operación de llenado de botellones en la planta de agua FIA-UNAP”. En este trabajo desarrollaron un esquema específico de la estructura, aplicaciones y lenguaje de programación (ladder) de un PLC marca Schneider Electric modelo Zelio SR2 B121 FU, el cual trabaja con un software de simulación conocido como Zelio Soft2 y mediante este realizaron la programación en una PC de la operación de llenado en botellones de agua de 18 L. Después de simular dicha operación y verificar que todo funcione de acuerdo a lo programado hicieron la transferencia del programa de la PC al PLC, mediante la interfaz o cable de transferencia. Para este caso las entradas del PLC lo representaron: un pulsador normalmente cerrado (NC), dos pulsadores normalmente abiertos (NA) y dos sensores de nivel, estando representadas las salidas por dos válvulas solenoides y la electrobomba de llenado.

## **1.2. Bases teóricas**

### **1.2.1. ¿Qué es un PLC?**

La sigla PLC viene de las palabras en inglés Programmable Logic Controller.

Esto traducido al español se entiende como “Controlador Lógico Programable”. El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar secuencialmente procesos industriales en tiempo real (Mery, 2012, p. 6; citato por Del Águila y Haquiwara, 2022, pp.5-6). Todo PLC tiene su propio software de programación, que permite realizar adecuadamente la simulación, el diseño, la automatización y el control de los diversos procesos industriales que se desea desarrollar (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 6).

### 1.2.2. Estructura básica de un PLC

Todo PLC posee en su estructura básica, los siguientes elementos: una fuente de alimentación, un CPU (Unidad Central de Procesamiento) y una cantidad determinada de entradas y salidas físicas (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 6; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 313). Por ejemplo, en la figura 1, se puede ver claramente un PLC cuya fuente de alimentación trabaja con un rango de voltaje de 115 – 240 VAC, posee ocho (8) entradas (I1, I2, ..., I8) y cuatro (4) salidas físicas (Q1, Q2, ..., Q4). Las entradas y salidas físicas de un PLC, se conectan a los generadores de señal (pulsadores, interruptores, sensores, botones, etc.) y a los actuadores (motores eléctricos, válvulas solenoides, electrobombas, lamparás, luces piloto, etc.), respectivamente (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 313).



**Figura 1.** Estructura básica de un PLC.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 310.

### 1.2.3. Fundamentos del control lógico

El control lógico se aplica principalmente para el diseño de los sistemas digitales y se basa en las leyes del álgebra de Boole (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 6). Un sistema digital se puede representar por un contacto y su estado por una variable booleana que solo puede tomar dos valores lógicos: 0 y 1; los cuales indican si un contacto se encuentra abierto o cerrado, respectivamente (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 291). En el control lógico se utilizan las compuertas lógicas, que al combinarse dan lugar a circuitos lógicos complejos, a continuación, se indican las más importantes.

### 1.2.4. Compuertas lógicas

Las compuertas lógicas son dispositivos de la electrónica digital que hacen posible ejecutar operaciones matemáticas de acuerdo a una función de tipo booleano (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 7). En la actualidad, el circuito de control de un PLC, se simboliza por un conjunto de compuertas lógicas, el cual se puede diseñar y simular haciendo uso de los siguientes lenguajes de programación: diagrama ladder (escalera) o diagrama de bloques funcionales (BDF).

#### Compuerta IF

La puerta lógica IF, llamada SI en castellano, es la función que corresponde a dar en su salida el mismo valor lógico que tiene en la entrada, es por eso que también se conoce como la compuerta lógica de la igualdad (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 295). La tabla de verdad de la compuerta IF es:

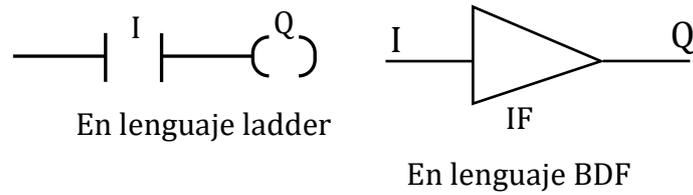
**Tabla 1.** Tabla de verdad de la compuerta IF.

Entrada I	Salida Q
0	0
1	1

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 295; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 8.

En la figura 2, se puede observar un circuito lógico que representa a la compuerta IF, mediante los lenguajes de programación ladder y BDF. La tabla 1 y la figura 2, indican que, la salida Q, se prenderá sólo si el contacto I está cerrado; es decir, si el valor lógico

del contacto I es igual a 1.



**Figura 2.** Simbolización de la compuerta IF.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 295; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 8.

Entonces, la ecuación para la compuerta IF, es:

$$Q = I. \quad (1)$$

### Compuerta NOT

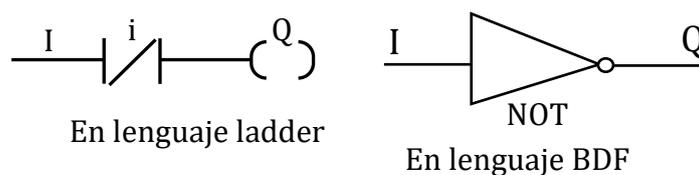
Esta compuerta se conoce como negador o inversor, ya que su salida siempre es el valor lógico contrario de la entrada (Flórez, 2010, p. 45; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 292). La tabla de verdad de la operación NOT es:

**Tabla 2.** Tabla de verdad de la compuerta NOT.

Entrada I	Salida Q
0	1
1	0

Fuente: Flórez, 2010, p. 45; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 293.

Los símbolos de la compuerta NOT, de acuerdo a los lenguajes de programación ladder y BDF, se muestran en la siguiente figura 3. El símbolo *i* representa la negación de I .



**Figura 3.** Simbolización de la compuerta NOT.

Fuente: Flórez, 2010, p. 46; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 293.

Entonces, de acuerdo a lo que se observa en la tabla 2 y la figura 3, se puede decir que la salida Q, se prenderá siempre y cuando el contacto I esté abierto, es decir  $I = 0$ .

La ecuación lógica para esta compuerta es:

$$Q = \text{NOT}(I) = i. \quad (2)$$

### Compuerta AND o Y

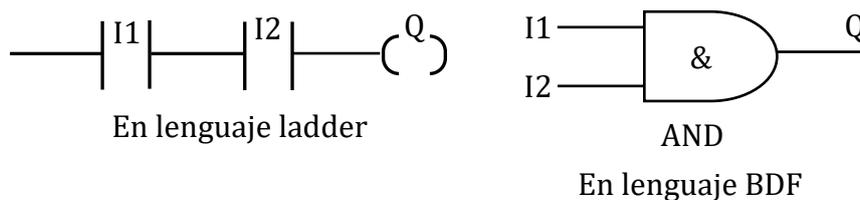
La compuerta AND o Y, está asociada a la operación booleana de la multiplicación, pues permite realizar el producto lógico de las entradas; es decir, su salida tendrá el valor lógico 1, siempre y cuando todas sus entradas tengan como valor lógico 1 (Flórez, 2010, p. 47; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 292; Kahn y Pinchi, 2013, p. 11). Esta compuerta puede tener como mínimo dos entradas; en consecuencia, la salida es el resultado de multiplicar todos los valores binarios de las entradas (Kahn y Pinchi, 2013, p. 11; citado por Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 9).

La tabla de verdad y la simbolización de la compuerta AND, se muestran correspondientemente en la tabla 3 y la figura 4.

**Tabla 3.** Tabla de verdad de la compuerta AND.

Entrada I1	Entrada I2	Salida Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fuente: Flórez, 2010, p. 47, 68-69; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 292.



**Figura 4.** Simbolización de la compuerta AND.

Fuente: Flórez, 2010, p. 47, 68-69; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 292.

La ecuación lógica para la compuerta AND es:

$$Q = I1 * I2. \quad (3)$$

Algunas de las propiedades de la compuerta AND, se indican a continuación:

$$I * I = I. \quad (4)$$

$$I * 0 = 0. \quad (5)$$

$$I * 1 = I. \quad (6)$$

$$I * i = 0. \quad (7)$$

### Compuerta OR u O

La compuerta OR u o, está asociada a la operación booleana de la suma; es decir, la salida tendrá el valor lógico 1, por lo menos si una de las entradas tiene como valor lógico 1 (Flórez, 2010, p. 49; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 291). La compuerta OR, debe tener como mínimo dos entradas.

La tabla de verdad y la simbolización de la compuerta OR, se muestran en la tabla 4 y la figura 5, respectivamente.

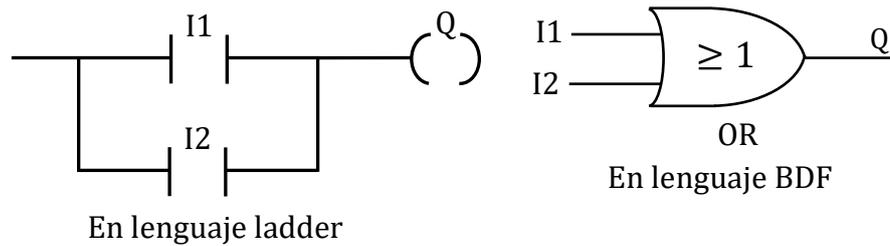
**Tabla 4.** Tabla de verdad de la compuerta OR.

Entrada I1	Entrada I2	Salida Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fuente: Morris, 2003, p. 28; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 291.

La ecuación lógica para la compuerta OR, se representa por la siguiente ecuación:

$$Q = I1 + I2. \quad (8)$$



**Figura 5.** Simbolización de la compuerta OR.

Fuente: Morris, 2003, p. 29; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 291.

Algunas de las propiedades más importantes de la compuerta OR, se muestran en las siguientes ecuaciones:

$$I + 1 = 1. \tag{9}$$

$$I + 0 = I. \tag{10}$$

$$I + I = I. \tag{11}$$

$$I + i = 1. \tag{12}$$

### 1.2.5. Lenguajes utilizados en la programación de un PLC

Los lenguajes de programación utilizados en la programación de un PLC, se han ido igualando a partir de la publicación de la norma IEC 1131-3. Esta norma ha permitido facilitar el aprendizaje de los lenguajes de programación, debido a la unificación de criterios para programar de la misma forma a cualquier PLC (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 321).

Rodríguez, Cerdá y Bezos (2014, p. 322), mencionan que existen cuatro lenguajes utilizados en la programación de un PLC, siendo dos de ellos de tipo gráfico y los otros dos de tipo texto.

#### Tipo gráfico

- Diagrama ladder o lógica de contactos.
- Diagrama de bloques funcionales (BDF).

### Tipo texto

- Lista de instrucciones (Instruction List).
- Texto estructurado (Structured Text).

Los principales elementos que se utilizan en la programación de cualquier PLC son: contactos y bobinas. Los contactos pueden ser representados por: entradas digitales, salidas digitales, temporizadores, contadores o marcas. Lo que se conoce como bobinas, normalmente representan a las salidas físicas del PLC y son la consecuencia del estado en el que se encuentran los contactos (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 12)

**Tabla 5.** Elementos básicos empleados en la programación de un PLC.

Símbolo	Concepto
I	Entrada digital
A	Entrada analógica
Q	Salida digital
AQ	Salida analógica
M	Marca o bobina interna
T	Temporizador
Contador	C
Instrucción Set	S
Instrucción Reset	R

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 12.

En el presente trabajo de tesis, la programación del PLC, se realizará específicamente mediante el diagrama ladder.

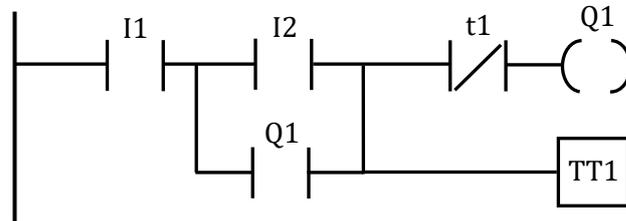
### Diagrama ladder o lógica de contactos

La programación de un PLC mediante diagrama ladder, es muy similar a un circuito eléctrico de lógica cableada, el cual está conformado por una serie de contactos que actúan sobre una salida o bobina (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 327; Arrieta y González, 2003, p. 56). Por ejemplo, si se tiene las siguientes ecuaciones lógicas:

$$I1 * (I2 + Q1) * t1 = Q1. \quad (13)$$

$$I1 * (I2 + Q1) * t1 = TT1. \quad (14)$$

La representación de este conjunto de ecuaciones mediante el diagrama ladder, se muestra en la siguiente figura:

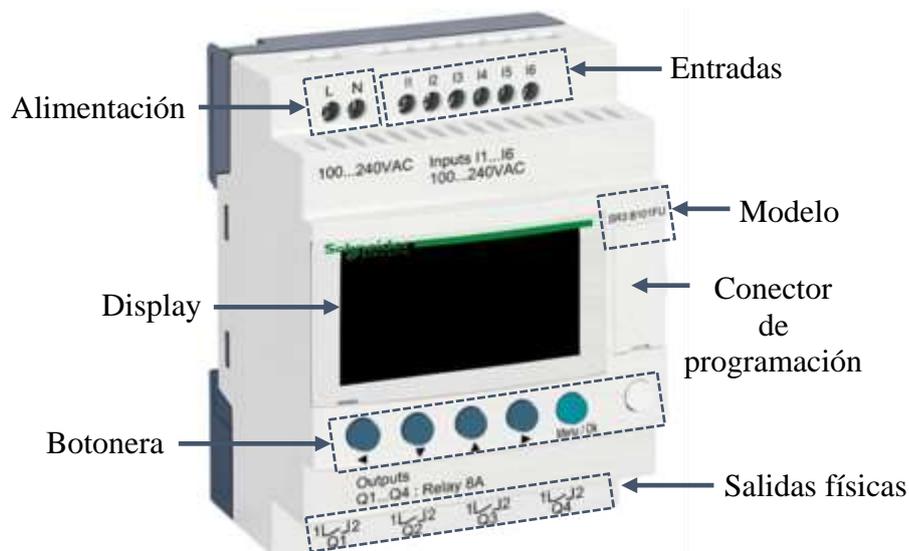


**Figura 6.** Conjunto de ecuaciones lógicas representado mediante el diagrama ladder.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.6. PLC Zelio Logic (Schneider Electric)

Rodríguez, Cerdá y Bezos (2014, p. 345), indican que el PLC Zelio de la marca Schneider Electric, se puede programar en lenguaje ladder o como diagrama de bloques funcionales (BDF), siendo dividido en dos grupos: SR2 (modelos de tipo compactos) y SR3 (modelos de tipo modular). El rango de voltaje característico es: 12 VCC, 24 VCA/VCC y 100 – 240 VCA. El número de entradas y salidas físicas pueden ser de 6, 8 y 12 y de 4 a 8, respectivamente, lo cual varía de acuerdo al modelo. En la figura 7, se muestra el PLC Zelio, cuyo modelo es: SR3 B101FU.



**Figura 7.** PLC modelo Zelio SR3 B101FU.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 345.

Como se puede observar en la figura 7, el PLC Zelio consta de las siguientes partes:

### **Alimentación**

Consta de dos bornes, los cuales se representan por las letras L y N (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346).

### **Entradas**

Estas están ubicadas en la parte superior del PLC. Dependiendo del modelo de PLC, pueden ser analógicas o digitales, las cuales se representan por la letra I (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346; Maya, 2011, p. 64).

### **Salidas físicas**

Las salidas físicas del PLC Zelio, se sitúan en la parte inferior. La cantidad de salidas físicas depende del modelo y se representan por la letra Q (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346; Maya, 2011, p. 64).

### **Botonera**

Está compuesta por cuatro teclas direccionales, más dos teclas de función, las cuales permiten configurar, programar, controlar y supervisar el desarrollo de un programa (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346).

### **Display o pantalla LCD**

Mediante este componente, se puede visualizar mensajes y la programación realizada, así como también la gestión de menús de programación (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346).

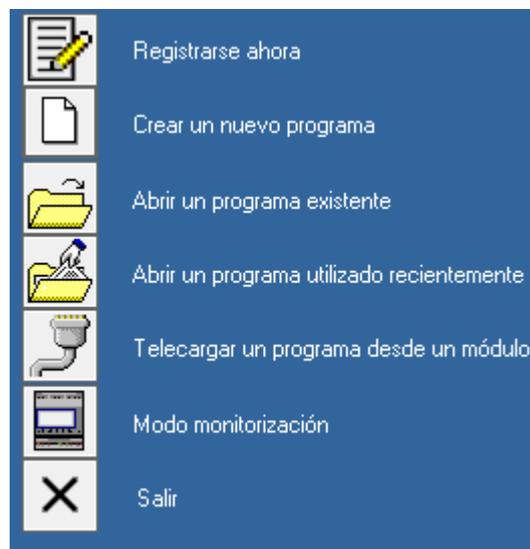
### **Conector de programación**

Este componente es un puerto de comunicación tipo COM, el cual hace posible la conexión física entre el PLC y una computadora, permitiendo de este modo que se puedan traspasar y monitorizar los programas desde una computadora (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 346).

### 1.2.7. Programación del PLC Zelio Logic

La programación del PLC Zelio, se puede realizar desde la botonera que está debajo del display, pero resulta más cómodo realizarlo desde una computadora y luego transferir el programa al PLC (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 347).

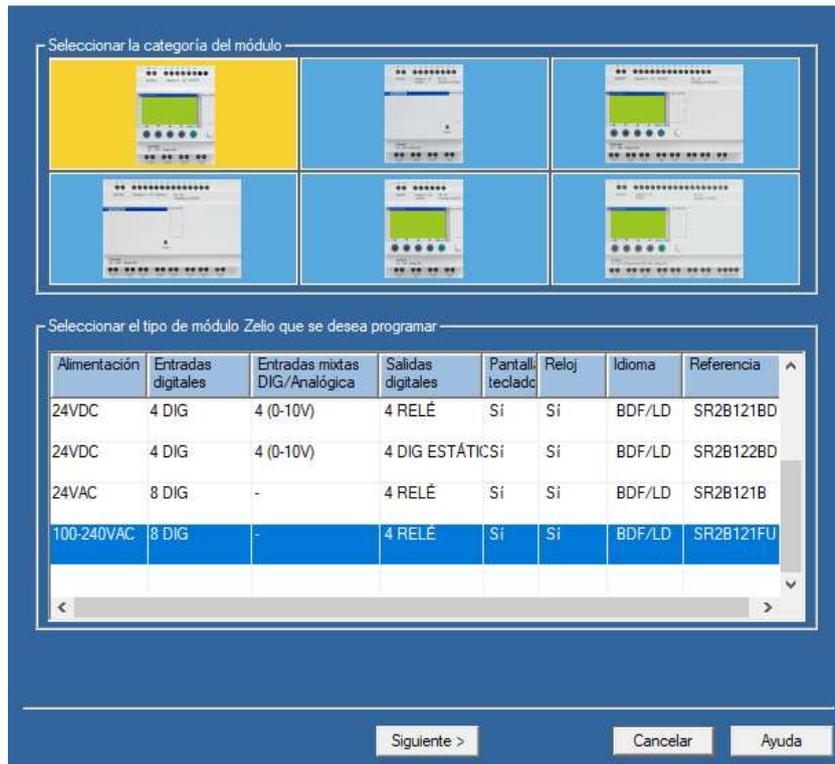
La marca Schneider Electric cuenta con el software de simulación Zelio Soft2, el cual ha sido desarrollado específicamente para el PLC Zelio. A continuación, se da a conocer el entorno de simulación del software Zelio Soft2.



**Figura 8.** Pantalla de inicio del Zelio Soft2.

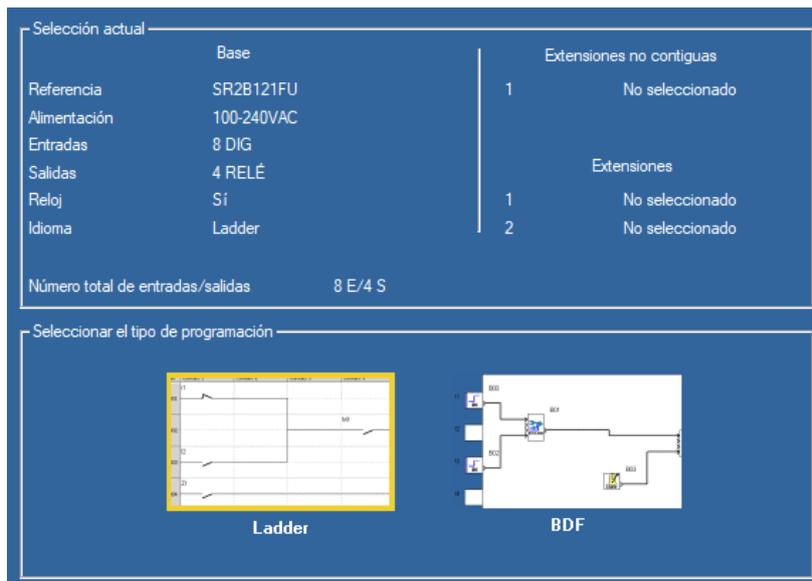
Fuente: Modificado de Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 347.

Para crear un programa mediante el Zelio Soft2, primeramente, se debe acceder a la pantalla de inicio (figura 8) y luego seleccionar el módulo. En la figura 9, se puede observar los diferentes módulos conjuntamente con sus respectivos modelos y características. El lenguaje de programación del PLC Zelio, depende específicamente del modelo empleado; por ejemplo, hay modelos que admiten tanto la programación en lenguaje ladder como en diagrama de bloques funcionales. Al elegir el modelo del PLC Zelio y la versión del software, debe aparecer una ventana donde se indican los lenguajes de programación con los que trabaja el PLC Zelio, además el tipo de alimentación y la cantidad de entradas y salidas físicas (véase la figura 10).



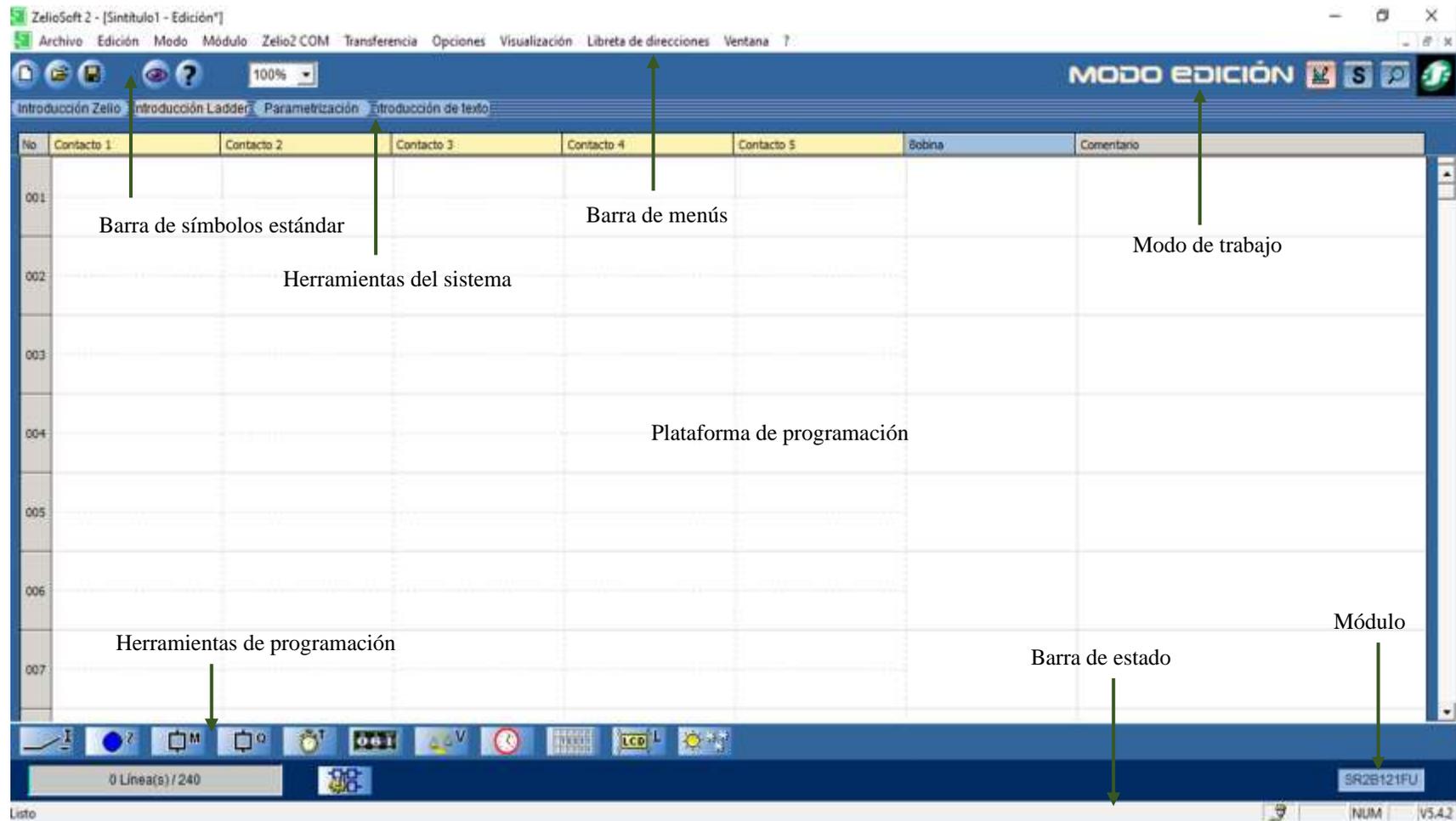
**Figura 9.** Pantalla de selección del módulo.

Fuente: Modificado de Cucat, 2020, p. 95.



**Figura 10.** Pantalla de selección del lenguaje de programación.

Fuente: Modificado de Cucat, 2020, p. 96.



**Figura 11.** Interfaz de usuario del Zelio Soft2.

Fuente: Modificado de Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 348.

Rodríguez, Cerdá y Bezos (2014, p. 348), mencionan que la interfaz de usuario (figura 11) del Zelio Soft2, está conformada por las siguientes partes:

### **Barra de menú**

Está ubicada en la parte superior de la pantalla de programación y en ella se encuentran los comandos para la elaboración, configuración y transferencia de los programas (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 348).

### **Herramientas del sistema**

La figura 11, muestra las herramientas del sistema, mediante las cuales se puede ver el modo de introducción del programa (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349).

### **Modos de trabajo**

El Zelio Zoft2, cuenta con tres formas de trabajo, los cuales son: edición, simulación y monitorización (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349).

### **Plataforma de programación**

Es la superficie donde se desarrolla el programa y está dividida en filas y en columnas (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349).

### **Barra de estado**

Esta barra proporciona información adicional como: porcentaje de zoom, la situación de un programa o la actividad (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349).

### **Barra de símbolos estándar**

Se muestra en la figura 12 y contiene los botones de comandos de uso general, los cuales son: nuevo, abrir y guardar (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 349).

### **Herramientas de programación**

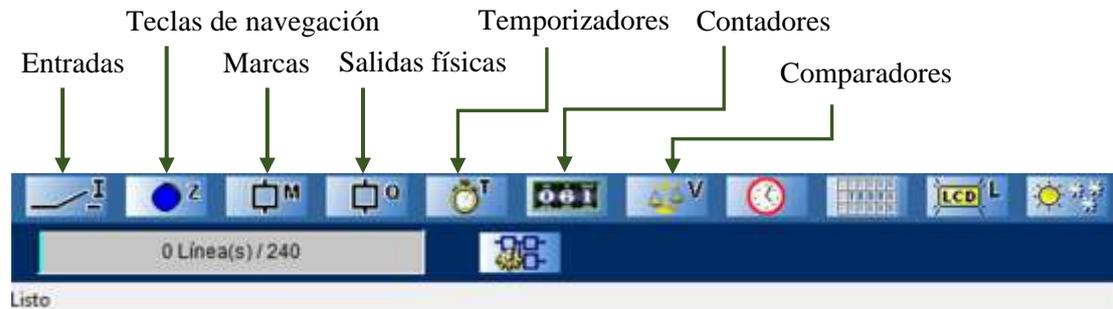
Contiene los elementos, mediante los cuales se realiza la programación, estos son: entradas, salidas físicas, marcas, temporizadores, contadores, etc. (Rodríguez, Cerdá y

Bezós, 2014, p. 349) (véase la figura 13).



**Figura 12.** Barra de símbolos estándar.

Fuente: Modificado de Rodríguez, Cerdá y Bezós, 2014, p. 349.



**Figura 13.** Herramientas de programación.

Fuente: Modificado de Rodríguez, Cerdá y Bezós, 2014, p. 349.

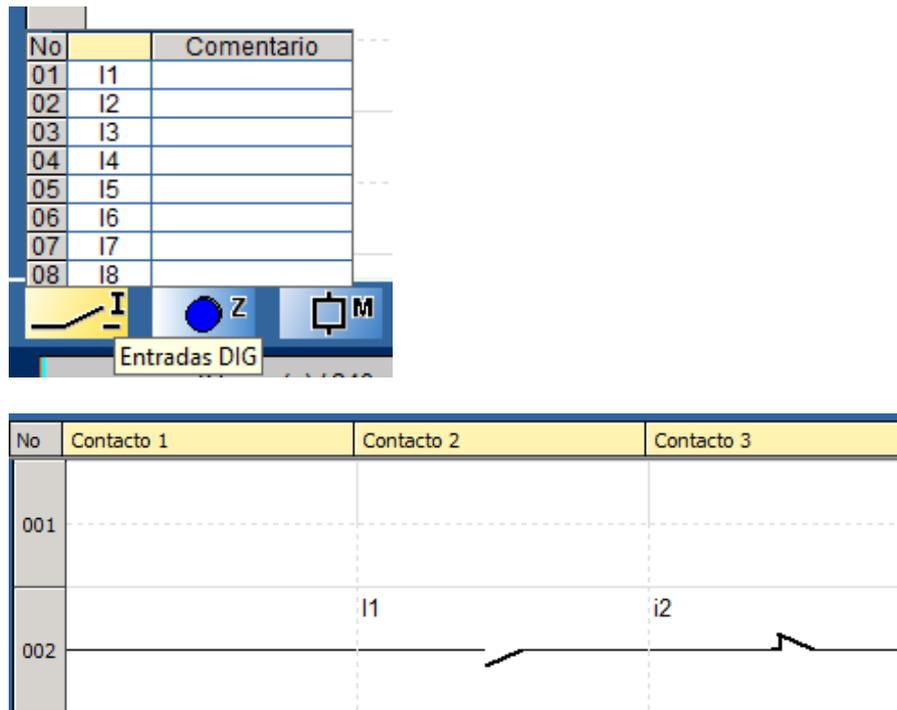
### Entradas

En el software Zelio, las entradas digitales se emplean exclusivamente como un contacto, el cual representa a un generador de señal (botón, pulsador, interruptor, sensor, etc.) (Rodríguez, Cerdá y Bezós, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64). El contacto puede ser abierto o cerrado y se simbolizan por I e i, respectivamente, seguido del orden numérico correspondiente (véase la figura 14).

### Salidas físicas

Las salidas físicas en el software Zelio, se denotan con la letra Q seguido del número de orden (Rodríguez, Cerdá y Bezós, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).

Estas salidas se conectan físicamente a los actuadores (electrobombas, electroválvulas, luces led, etc.) y se pueden utilizar en la parte de la bobina o en la parte de los contactos. En caso de utilizarse como contactos abiertos y cerrados, se denotan como Q y q (figura 15), respectivamente (Maya, 2011, p. 64).



**Figura 14.** Representación de las entradas digitales en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 15.** Representación de las salidas físicas en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

## Relés auxiliares o marcas

En el software Zelio, las marcas representan a bobinas internas del PLC, debido a que estas no se conectan a una salida física. Se denotan mediante la letra M (figura 16) y constan de dos partes: la bobina y el contacto (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 16).

No		[	]	S	R	Comentario	No		[	]	S	R	Comentario
01	M1	[	]	S	R		29	N1	[	]	S	R	
02	M2	[	]	S	R		30	N2	[	]	S	R	
03	M3	[	]	S	R		31	N3	[	]	S	R	
04	M4	[	]	S	R		32	N4	[	]	S	R	
05	M5	[	]	S	R		33	N5	[	]	S	R	
06	M6	[	]	S	R		34	N6	[	]	S	R	
07	M7	[	]	S	R		35	N7	[	]	S	R	
08	M8	[	]	S	R		36	N8	[	]	S	R	
09	M9	[	]	S	R		37	N9	[	]	S	R	
10	MA	[	]	S	R		38	NA	[	]	S	R	
11	MB	[	]	S	R		39	NB	[	]	S	R	
12	MC	[	]	S	R		40	NC	[	]	S	R	
13	MD	[	]	S	R		41	ND	[	]	S	R	
14	ME	[	]	S	R		42	NE	[	]	S	R	
15	MF	[	]	S	R		43	NF	[	]	S	R	
16	MG	[	]	S	R		44	NG	[	]	S	R	
17	MH	[	]	S	R		45	NH	[	]	S	R	
18	MJ	[	]	S	R		46	NJ	[	]	S	R	
19	MK	[	]	S	R		47	NK	[	]	S	R	
20	ML	[	]	S	R		48	NL	[	]	S	R	
21	MN	[	]	S	R		49	NN	[	]	S	R	
22	MP	[	]	S	R		50	NP	[	]	S	R	
23	MQ	[	]	S	R		51	NQ	[	]	S	R	
24	MR	[	]	S	R		52	NR	[	]	S	R	
25	MS	[	]	S	R		53	NS	[	]	S	R	
26	MT	[	]	S	R		54	NT	[	]	S	R	
27	MU	[	]	S	R		55	NU	[	]	S	R	
28	MV	[	]	S	R		56	NV	[	]	S	R	

**Figura 16.** Representación de los relés auxiliares o marcas en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

## Temporizadores

Los temporizadores son dispositivos internos de un PLC que realizan el trabajo de contar el tiempo, los cuales son usados en la programación del tiempo de funcionamiento de motores eléctricos (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 351; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 17). En el software Zelio se representan con la letra T (figura 17), seguido del número de orden (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 351; Maya, 2011, p. 65). Los temporizadores también cuentan con dos partes: la bobina y los contactos (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 351).

No			Comentario	No			Comentario
01	T1	T R		15	TF	T R	
02	T2	T R		16	TG	T R	
03	T3	T R		17	TH	T R	
04	T4	T R		18	TJ	T R	
05	T5	T R		19	TK	T R	
06	T6	T R		20	TL	T R	
07	T7	T R		21	TN	T R	
08	T8	T R		22	TP	T R	
09	T9	T R		23	TQ	T R	
10	TA	T R		24	TR	T R	
11	TB	T R		25	TS	T R	
12	TC	T R		26	TT	T R	
13	TD	T R		27	TU	T R	
14	TE	T R		28	TV	T R	

**Figura 17.** Representación de los temporizadores en el software Zelio.

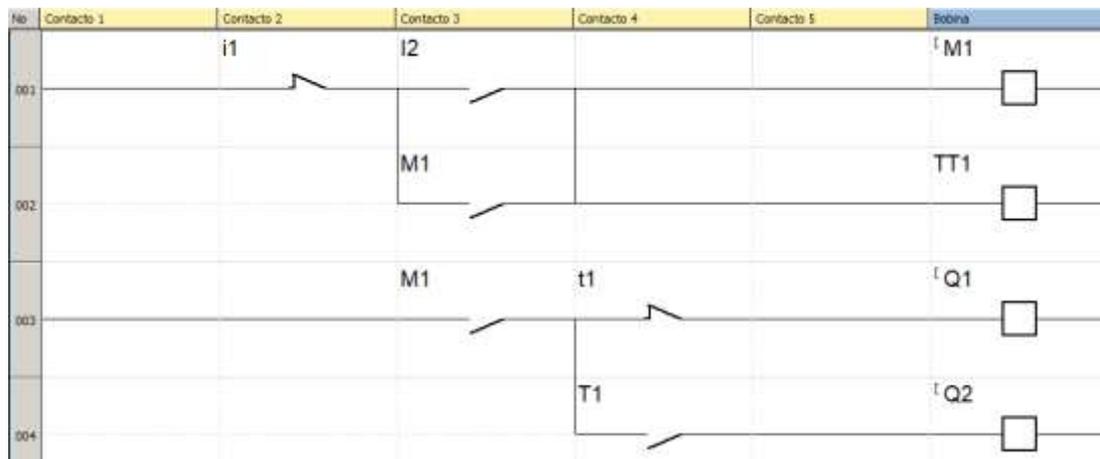
Fuente: Elaboración propia.

Maya (2011, p. 65), indica que en el software Zelio existen once tipos de temporizadores, los cuales se indican a continuación:

- Función A: trabajo, comando mantenido.
- Función a: Trabajo, salida/parada por impulsos.
- Función C: Reposo.
- Función B: Cambio; activación comando.
- Función W: Cambio, desactivación comando.
- Función D: Luz intermitente; comando mantenido, síncrono.
- Función PD: Luz intermitente; salida/ parada por impulsos.
- Función T: Totalizador trabajo.
- Función AC: A/C.
- Función L: Luz intermitente; comando mantenido, asíncrono.
- Función I: Luz intermitente; salida y parada por impulsos.

Cada uno de los once temporizadores tiene un modo propio de funcionamiento, conjuntamente con una serie de parámetros que se deben configurar. En el presente trabajo de tesis, se utiliza específicamente el primero de los once temporizadores (Función A: trabajo, comando mantenido); el cual al energizarse o activarse, sus contactos se mantienen cada uno en su estado normal y cambiarán de estado únicamente hasta que se

complete el tiempo programado de conexión. En la figura 18, se puede observar el diagrama ladder en el software Zelio, para temporizar las salidas Q1 y Q2. Al presionarse el contacto I2, instantáneamente se activa a la marca M1, energizando de este modo al temporizador TT1 y a la salida Q1. En el mismo instante que se energiza al temporizador TT1, este inicia el conteo del tiempo programado; entonces, en todo este tiempo el contacto t1 permanecerá cerrado haciendo que la salida Q1 se mantenga prendida. Cuando el temporizador TT1, termine de contar el tiempo programado, su contacto T1 se cerrará haciendo que la salida Q2 se prenda. Esto se quedará así, siempre y cuando no se presione el pulsador i1, caso contrario se desenergiza a M1 apagando a todas las bobinas.



**Figura 18.** Diagrama ladder en el software Zelio, para temporizar las salidas Q1 y Q2.

Fuente: Elaboración propia.

### Contadores

Los contadores son dispositivos internos de un PLC, que tienen como función contar los impulsos que le llegan a una de las entradas. En el software Zelio, los contadores se representan mediante la letra C (véase la figura 19), seguido del número de orden (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 353; Kahn y Pinchi, 2013, p. 48). En la figura 20, se muestra un ejemplo del uso de un contador. En este caso se ha configurado para que el contacto C1 se cierre y prenda a la salida Q1, cuando se mande tres impulsos (salida ON cuando el valor alcanza la preselección) al contador CC1. Para generar un impulso,

se debe presionar el contacto I1. Cada vez que se presione el contacto I2, se enviará un impulso a la bobina RC1, haciendo que el contador CC1 vuelva a su estado inicial.

No					Comentario	No				Comentario
01	C1	C	D	R		15	CF	C	D	R
02	C2	C	D	R		16	CG	C	D	R
03	C3	C	D	R		17	CH	C	D	R
04	C4	C	D	R		18	CJ	C	D	R
05	C5	C	D	R		19	CK	C	D	R
06	C6	C	D	R		20	CL	C	D	R
07	C7	C	D	R		21	CN	C	D	R
08	C8	C	D	R		22	CP	C	D	R
09	C9	C	D	R		23	CQ	C	D	R
10	CA	C	D	R		24	CR	C	D	R
11	CB	C	D	R		25	CS	C	D	R
12	CC	C	D	R		26	CT	C	D	R
13	CD	C	D	R		27	CU	C	D	R
14	CE	C	D	R		28	CV	C	D	R

Figura 19. Representación de los contadores en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

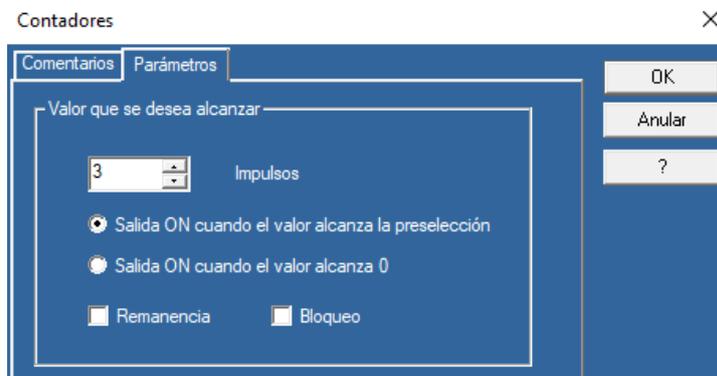
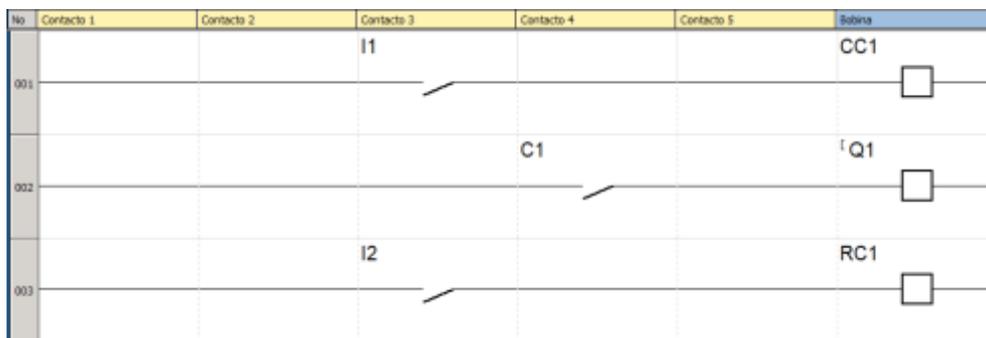


Figura 20. Ejemplo del uso de un contador en el software Zelio.

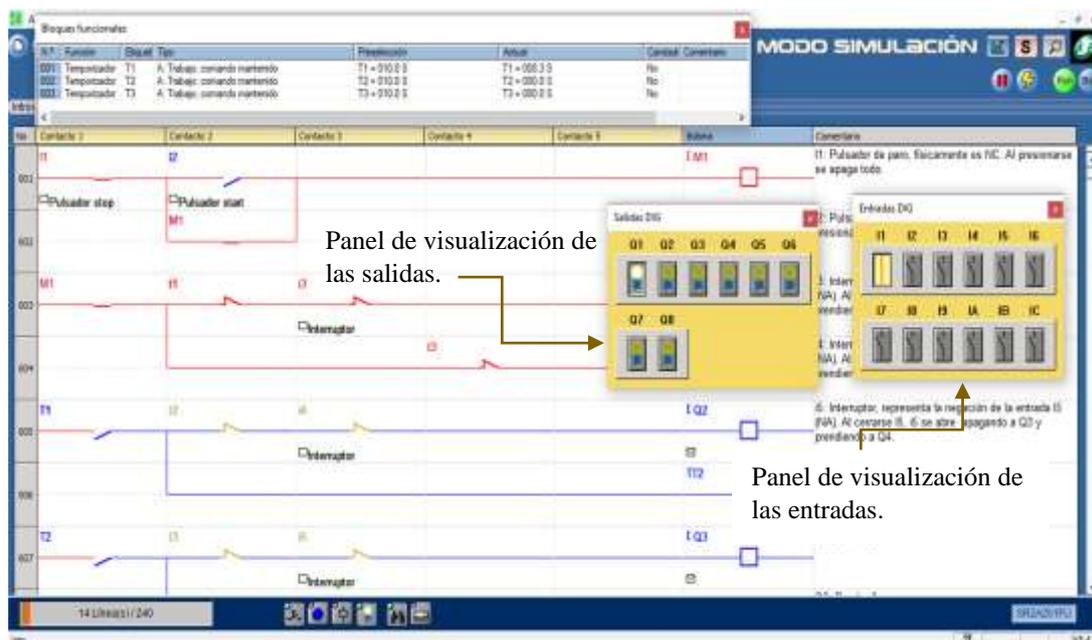
Fuente: Elaboración propia.

### 1.2.8. La simulación de un programa mediante Zelio Soft2

La simulación de un programa mediante Zelio Soft2, se realiza con el fin de verificar que todo funcione correctamente de acuerdo a las especificaciones dadas. Para acceder al modo de simulación, se debe hacer un clic en el botón **S** (figura 21). Como se puede observar en la figura 21, el modo simulación cuenta con cuatro operaciones (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 358): **Run** (inicio o partida), **Stop** (paro de la simulación), **Pausa** (realiza una pausa y luego se puede seguir con la simulación) y **Corte de alimentación** (se simula un corte de energía eléctrica).



**Figura 21.** Modo simulación.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 22.** Simulación de un programa mediante Zelio Soft2.  
Fuente: Elaboración propia.

Al iniciar la simulación de un programa mediante Zelio Soft2, se podrá observar en el panel de operación que cambia el color de aquellos contactos por donde hay flujo de carga eléctrica. Además, también se podrá observar los paneles de visualización de las entradas y salidas (véase la figura 22).

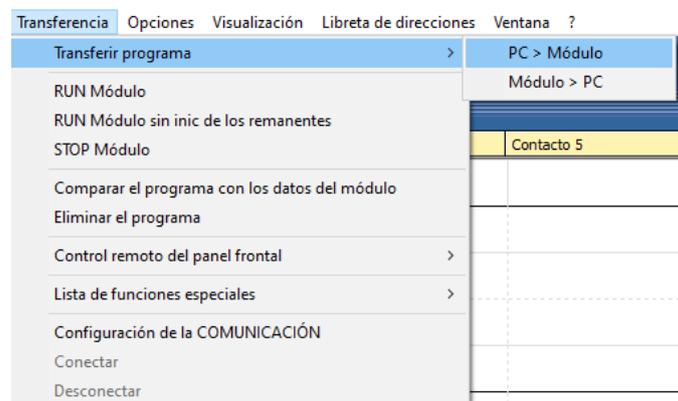
### 1.2.9. La transferencia de un programa

Después de realizar la simulación de un programa, se puede hacer la transferencia del mismo. Para esto, previamente se debe conectar la interfaz de comunicación o cable de transferencia de datos entre una PC (computadora personal) y el PLC Zelio. La interfaz de comunicación cuenta con dos puertos: COM y USB (figura 23), los cuales se conectan al PLC y a la PC, respectivamente (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 358).



**Figura 23.** Interfaz de comunicación entre una computadora y el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

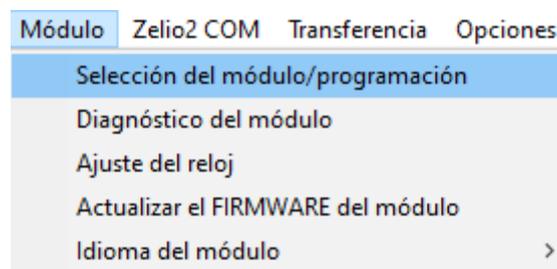


**Figura 24.** Transferencia de datos de una PC al PLC Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

La transferencia de datos de la PC al PLC Zelio, se inicia volviendo al modo edición y luego se elige el menú Transferencia. Seguidamente se accede a la opción Transferir programa (véase la figura 24).

En el caso de haber realizado un programa para un módulo y llegado el momento de transferir el programa, se verifica que el módulo (modelo del PLC) es otro; entonces; para este caso se debe seleccionar el módulo al cual se va a transferir el programa (véase la figura 25).



**Figura 25.** Selección del módulo o modelos del PLC.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante tener en cuenta para realizar la transferencia del programa de la computadora al PLC Zelio, fijarse en el tipo de puerto de la computadora.

#### **1.2.10. Modo de monitorización**

La monitorización hace posible la comunicación entre el PLC y una computadora, al momento que el PLC Zelio está ejecutando un programa. De esta forma se puede tener un control en tiempo real del proceso, manipulando las entradas desde la computadora (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 359).

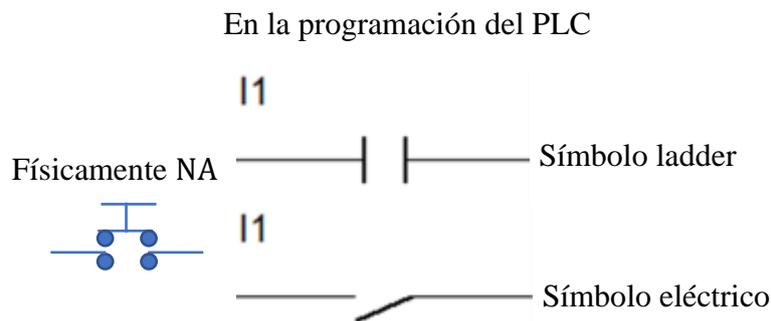
Para tener acceso al modo de monitorización, necesariamente el PLC Zelio debe estar conectado con la computadora mediante la interfaz de comunicación.

El modo de monitorización es similar al modo de simulación, pues al estar en comunicación el PLC Zelio con la computadora, también es posible acceder a las ventanas de visualización para poder ver desde la computadora el estado las entradas y salidas.

### 1.3. Definición de términos básicos

#### 1.3.1. Contacto normalmente abierto (NA)

Un contacto normalmente abierto (NA), se puede representar físicamente y en el software Zelio, de las formas que se muestran en la figura 26. Este contacto en su estado normal, no permite el flujo de carga (Kahn y Pinchi, 2013, p. 37; citado por Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 13).

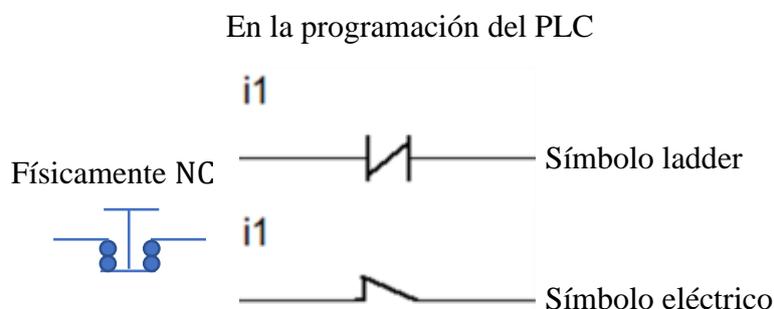


**Figura 26.** Representaciones de un contacto NA en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

#### 1.3.2. Contacto normalmente cerrado (NC)

Al igual que el contacto NA, el contacto normalmente cerrado (NC), se representa físicamente y en el software Zelio, de las formas que se muestran en la figura 27. Este contacto en su estado normal, si permite el flujo de carga (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 14; Kahn y Pinchi, 2013, p. 38).

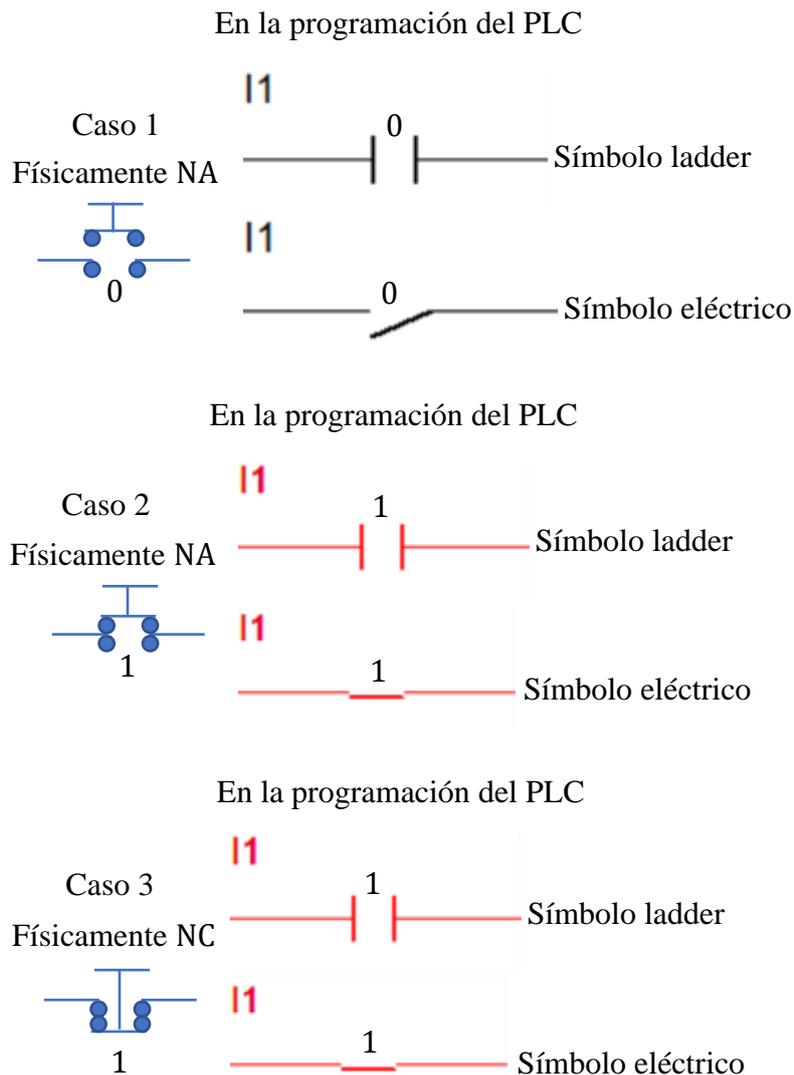


**Figura 27.** Representaciones de un contacto NC en el software Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.3.3. Combinaciones entre los contactos NA y NC

Entre los contactos NA y NC, se pueden realizar muchas configuraciones; es decir, físicamente se puede tener un contacto NC, pero en el software Zelio se puede utilizar un contacto NA. A continuación, se muestra en detalle algunas de las configuraciones básicas que se pueden realizar entre dichos contactos.



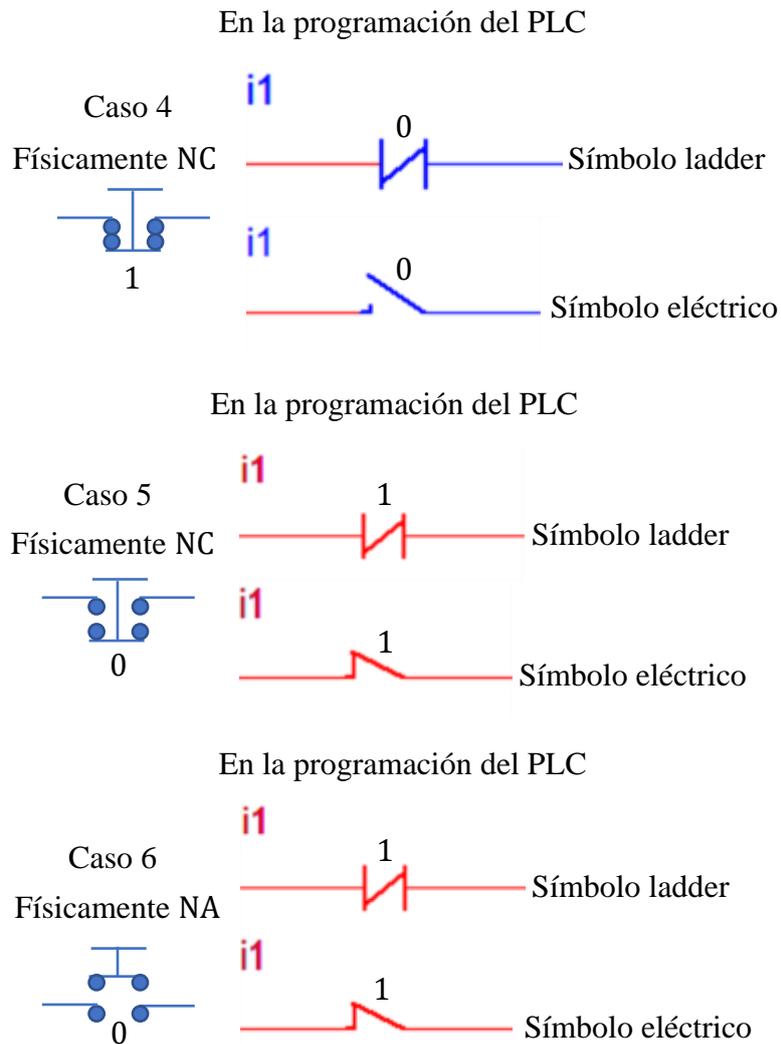
**Figura 28.** Combinaciones entre los contactos NA y NC (del caso 1 al caso 3).

Fuente: *Elaboración propia.*

El **caso 1** indica que, al tener sin presionar el pulsador I1 (físicamente NA), se podrá ver en el programa del PLC, que el contacto I1(NA) se encuentra abierto y su valor lógico es 0.

El **caso 2** indica que, al tener presionado el pulsador I1 (físicamente NA), se notará en el programa del PLC, que el contacto I1(NA) se encuentra cerrado y su valor lógico es 1.

El **caso 3** muestra que, al tener sin presionar el pulsador I1 (físicamente NC), se notará en el programa del PLC que el contacto I1(NA) se encuentra cerrado y su valor lógico es 1.



**Figura 29.** Combinaciones entre los contactos NA y NC (del caso 4 al caso 6).

Fuente: Elaboración propia.

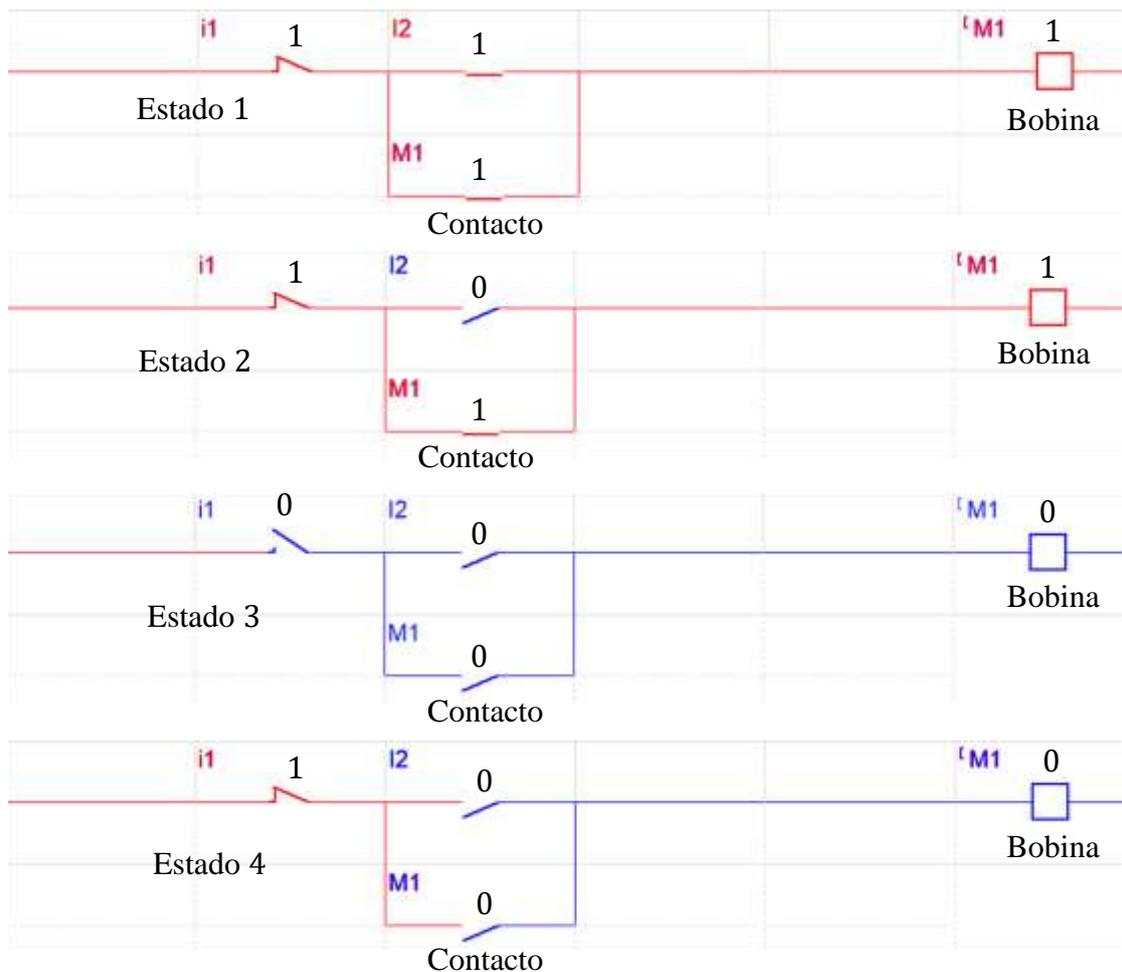
El **caso 4** indica que, al tener sin presionar el pulsador I1 (físicamente NC), se notará en el programa del PLC que el contacto I1(NC) se encuentra abierto o tiene el valor lógico 0.

El **caso 5** indica que, al tener presionado el pulsador I1 (físicamente NC), se notará en el programa del PLC que el contacto I1(NC) se encuentra cerrado o tiene el valor lógico 1.

El **caso 6** muestra que, al no tener presionado el pulsador I1 (físicamente NA), se notará en el programa del PLC que el contacto I1(NC) se encuentra cerrado o tiene el valor lógico 1.

### 1.3.4. Enclavamiento o retención

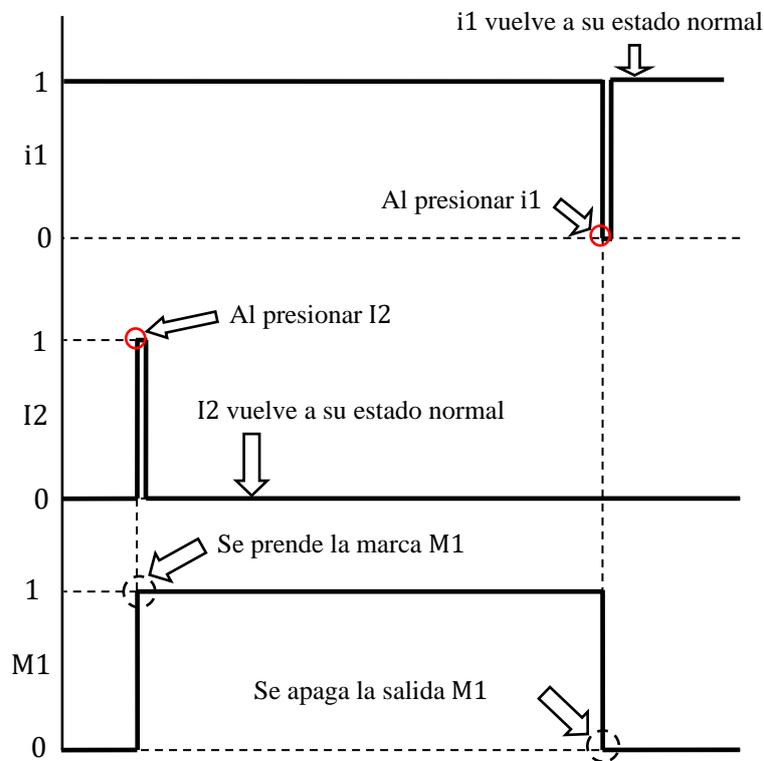
El enclavamiento o retención, es la acción que se realiza con el fin de prender o activar a una bobina del PLC, la cual puede ser marca M o salida física Q (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 15) (figura 30).



**Figura 30.** Enclavamiento de la marca M1 en diferentes estados.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 30, se puede observar el enclavamiento de la marca M1 en diferentes estados. En el estado 1, se cierra el contacto I2 (NA), haciendo que se energice la marca M1 (bobina) y a su vez el contacto M1 quede cerrado. En el estado 2, la bobina M1 se mantiene prendida, debido a que su contacto respectivo se encuentra cerrado. En el estado 3, se presiona el contacto I1 (NC), apagando de este modo a la bobina M1 y abriendo al contacto respectivo. En el estado 4, el pulsador I1 (NC) regresa a su estado normal; sin embargo, la bobina M1 sigue apagada debido a que su contacto también sigue abierto. En la figura 31, también se puede observar el estado de los elementos del enclavamiento de la bobina M1.



**Figura 31.** Representación gráfica del estado de los elementos de un enclavamiento.

Fuente: Modificado de Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 16.

### 1.3.5. Variables de control automático

Se refieren al estado de las entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC, las cuales se mencionan a continuación:

- Estado de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2 e I3.

Son los valores lógicos (0 o 1) que definen la situación (abierto o cerrado) de las entradas 1, 2 y 3 del PLC, respectivamente (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).

- **Estado de la salida física Q1.** Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide izquierda (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).
- **Estado de la salida física Q2.** Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la electrobomba de llenado (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).
- **Estado de la salida física Q3.** Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide derecha (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).

### 1.3.6. Variables y parámetros de la operación de llenado

Se refieren específicamente a las que intervienen en dicha operación, las cuales son:

- **Masa del botellón vacío.** Representa la cantidad en kg de un botellón vacío. Se denota como  $m_{BV}$  y su unidad de medida es el kilogramo (kg) (Mott, 2015, p. 11). Para medir  $m_{BV}$ , se utiliza una balanza digital.
- **Masa del botellón con agua.** Representa la cantidad en kg de un botellón lleno con agua. Se denota como  $m_{BCA}$  y su unidad de medida es el kilogramo (kg) (Mott, 2015, p. 11). Para medir  $m_{BCA}$ , se utiliza una balanza digital.
- **Masa del agua.** Representa la cantidad de agua en kg contenida en un botellón. Se denota como  $m_A$  y su unidad de medida es el kilogramo (kg) (Mott, 2015, p. 11). Para determinar  $m_A$ , se utiliza la siguiente ecuación:

$$m_A = m_{BCA} - m_{BV}. \quad (15)$$

- **Densidad del agua.** Es la relación entre la masa y el volumen del agua contenida en un botellón. Se denota como  $\rho_A$  y su unidad de medida es kg/L (Mott, 2015, p. 11).
- **Volumen nominal.** Es el valor teórico de la cantidad de agua que contiene un botellón. Se denota como  $V_N$  y su unidad de medida es el litro (L) (Mott, 2015, p. 11).
- **Volumen observado.** Es el valor experimental de la cantidad de agua que contiene un botellón. Se denota como  $V_O$  y su unidad de medida es el litro (L) (Mott, 2015, p. 11). El valor de  $V_O$ , se determina haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V_O = \frac{m_A}{\rho_A}. \quad (16)$$

- **Caudal producido por la electrobomba de llenado.** Se refiere al flujo volumétrico a través de las tuberías y accesorios que conforman el prototipo para llenado de botellones con agua. Dicho flujo volumétrico es producido por una electrobomba, se denota como  $Q_{PPE}$  y sus unidades de medida son: L/s, L/min, etc. (Mott, 2015, p. 118; Felder y Rousseau, 2004, p. 47).
- **Tiempo de llenado.** Representa el periodo que se requiere que una válvula solenoide esté prendida para llenar un botellón, de acuerdo al volumen nominal de agua. Este tiempo se programa en los temporizadores del PLC y se puede evaluar mediante la siguiente ecuación:

$$TT1 = TT2 = \frac{V_N}{Q_{PPE}}. \quad (17)$$

Donde:

TT1 = tiempo que se mantendrá prendida la válvula solenoide izquierda, s.

TT2 = tiempo que se mantendrá prendida la válvula solenoide derecha, s.

$Q_{PPE}$  = caudal producido por la electrobomba de llenado, L/s.

## CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

### 2.1. Formulación de la hipótesis

#### a. Hipótesis general

Hacer previamente un esquema del prototipo para llenado de botellones con agua, permite realizar eficazmente su construcción, instalación e implementación con un controlador lógico programable.

#### b. Hipótesis específicas

- El diagrama ladder permite realizar la simulación del llenado de botellones con agua.
- La determinación de los elementos que tiene el diagrama ladder, permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable.
- El estado de las entradas está en relación con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable.
- El tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, está en relación con el volumen nominal.

### 2.2. Variables y su operacionalización

- **En el control automático**

**Variables independientes:** estado de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2, e I3.

**Variables dependientes:** estado de las salidas físicas del PLC que se conectan a la válvula solenoide izquierda, a la electrobomba de llenado y a la válvula solenoide derecha.

- **En la operación de llenado**

**Variable independiente:** volumen nominal.

**Variable dependiente:** tiempo de llenado.

**Tabla 6.** Operacionalización de las variables en el control automático.

VARIABLES	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independientes						
Estado de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2 e I3.	I1 I2 I3	Son los valores lógicos (0 o 1) que definen la situación (abierto o cerrado) de las entradas 1, 2 y 3 del PLC, respectivamente (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).	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 2019.</li> </ul>
Dependientes						
Estado de la salida física Q1.	Q1	Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide izquierda (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).	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 2019.</li> </ul>
Estado de la salida física Q2.	Q2	Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la electrobomba de llenado (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).	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 2019.</li> </ul>
Estado de la salida física Q3.	Q3	Es el valor lógico (0 o 1) que define la situación (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide derecha (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 350; Maya, 2011, p. 64).	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 2019.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 7.** Operacionalización de las variables en la operación de llenado.

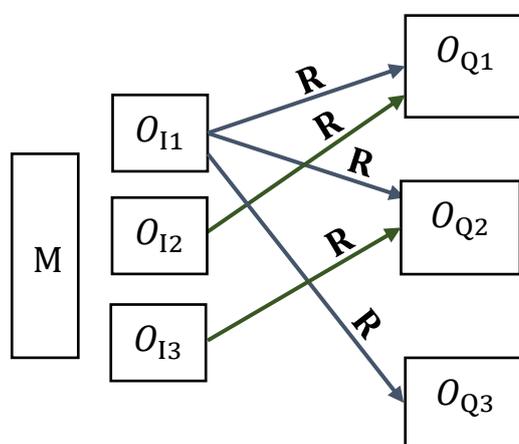
<b>VARIABLES</b>	<b>NOTACIÓN</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>TIPO POR SU NATURALEZA</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ESCALA DE MEDICIÓN</b>	<b>MEDIOS DE VERIFICACIÓN</b>
Independiente						
Volumen nominal	$V_N$	Es el valor teórico de la cantidad de agua que contiene un botellón. Se denota como $V_N$ y su unidad de medida es el litro (L) (Mott, 2015, p. 11).	Cuantitativa continua	L	Razón	Archivo en Microsoft Excel 2019.
Dependiente						
Tiempo de llenado	$TT1 = TT2$	Representa el periodo que se requiere que una válvula solenoide esté prendida para llenar un botellón, de acuerdo al volumen nominal de agua.	Cuantitativa continua	s	Razón	Archivo en Microsoft Excel 2019.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño

En la presente investigación, primeramente, se ha realizado una revisión detallada sobre los lenguajes más utilizados (ladder y BDF) en la programación de un PLC; seguidamente, se realizó el diagrama ladder, con el fin de efectuar la simulación del llenado de botellones con agua; esto a su vez permitió determinar la cantidad de entradas y salidas que se utilizaron en el PLC y la relación causa efecto entre el estado de las mismas. Posteriormente, se realizó la construcción e instalación del prototipo para llenado de botellones con agua, además de implementarse con un controlador lógico programable (PLC). Finalmente, se realizaron las pruebas de funcionamiento de dicho prototipo, en las cuales se utilizó tres (3) conjuntos de botellones, con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L; determinándose en cada caso, el tiempo de llenado. En consecuencia, se puede decir que la presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional. Los esquemas del diseño de investigación, se muestran en las figuras 32 y 33.



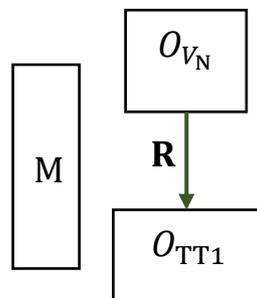
**Figura 32.** Esquema del diseño de investigación para el control automático.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$O_{I1}$ ,  $O_{I2}$ ,  $O_{I3}$ ,  $O_{Q1}$ ,  $O_{Q2}$  y  $O_{Q3}$  son las observaciones obtenidas en cada una de las seis variables (I1, I2, I3, Q1, Q2 y Q3, respectivamente), distintas de la muestra.

- I1, I2, I3 : estado de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2 e I3 (variables independientes).
- Q1 : estado de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide izquierda (variable dependiente).
- Q2 : estado de la salida física del PLC que se conecta a la electrobomba de llenado (variable dependiente).
- Q3 : estado de la salida física del PLC que se conecta a la válvula solenoide derecha (variable dependiente).
- M : muestra.
- R : relación entre las variables.



**Figura 33.** Esquema del diseño de investigación para la operación de llenado.

Fuente: *Elaboración propia.*

Donde:

$O_{V_N}$  y  $O_{TT1}$  son las observaciones obtenidas en cada una de las dos variables ( $V_N$  y  $TT1$ , respectivamente), distintas de la muestra.

$V_N$  : volumen nominal (variable independiente).

$TT1$  : tiempo de llenado (variable dependiente).

### 3.1.1. Descripción del esquema del prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable

En la figura 34, se puede observar el esquema del prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable. Dicho equipo está conformado por los siguientes componentes: el reservorio, la línea de succión, la electrobomba de llenado, la línea de descarga y un sistema de control automático.

### **Reservorio**

Este componente tiene las funciones de almacenar y proporcionar agua a la electrobomba de llenado.

### **Línea de succión**

Es el tramo de tubería, mediante el cual la electrobomba de llenado aspira el agua. La línea de succión está conformada por los siguientes componentes: un tramo de tubería recta de 1" de diámetro, una válvula check vertical de 1", dos adaptadores de 1", un codo de 90° de 1" y una unión universal de 1".

### **Electrobomba de llenado**

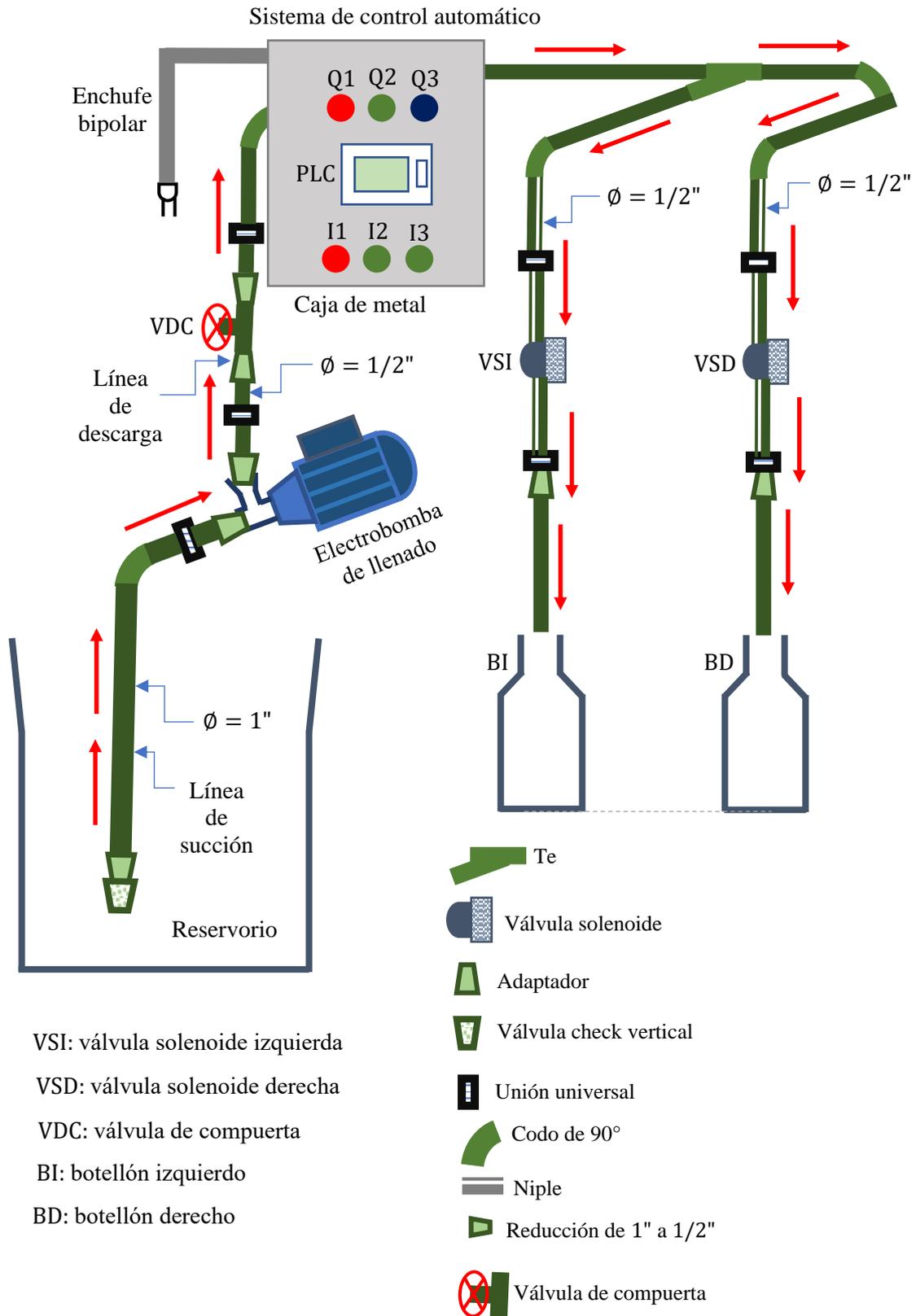
La función de este componente, es la de impulsar el agua desde el reservorio hasta los botellones izquierdo y derecho.

### **Línea de descarga**

Tiene como función, transportar el agua desde la descarga de la electrobomba de llenado, hasta cada uno de los mencionados botellones. Está conformada por varios tramos de tubería recta de 1/2" de diámetro y por varios accesorios los cuales se detallan a continuación: una reducción de 1" a 1/2", seis uniones universales de 1/2", una válvula de compuerta de 1/2", cuatro adaptadores de 1/2", cuatro codos de 90° de 1/2", una te de 1/2", seis niples de 1/2" y dos válvulas solenoides (izquierda y derecha).

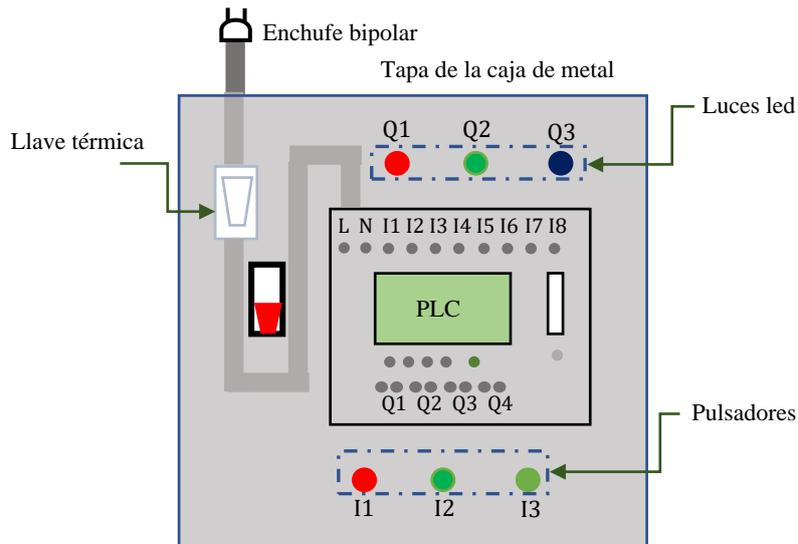
### **Sistema de control automático**

Está conformado por los siguientes componentes: una caja de metal, un controlador lógico programable (PLC), tres pulsadores (I1, I2 e I3) que se conectan respectivamente a las entradas 1, 2 y 3 del PLC, tres luces led (Q1, Q2 y Q3) que se conectan respectivamente a las salidas físicas 1, 2 y 3 del PLC, una llave térmica y un enchufe bipolar (véase la figura 35). El PLC representa el cerebro del sistema de control automático y tiene como función, controlar el tiempo que se requiere que estén prendidas cada una de las válvulas solenoides para llenar un botellón con agua de acuerdo a su respectivo volumen nominal.



**Figura 34.** Esquema del prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 35.** Detalle del sistema de control automático.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Descripción de la operación de llenado de botellones con agua

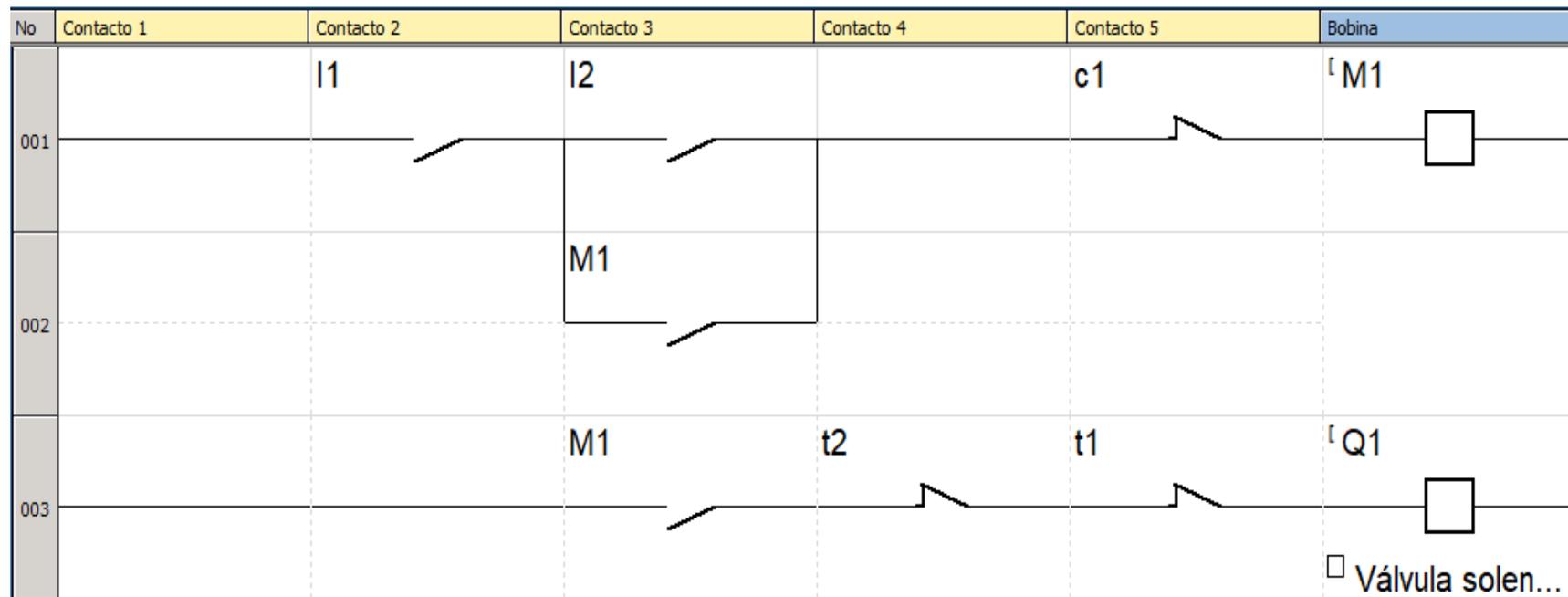
En referencia a la figura 34, la operación de llenado de botellones con agua, se realiza de la siguiente manera: al presionar el pulsador I2 (NA), automáticamente se prende la luz led roja, la cual está conectada a la salida física Q1 del PLC e indica que la válvula solenoide izquierda ha sido prendida. Entonces, inmediatamente se presiona el pulsador I3 (NA), haciendo que se prenda la luz led verde, la cual está conectada a la salida física Q2 del PLC e indica que la electrobomba de llenado ha sido prendida; de esta forma se inicia el llenado del botellón izquierdo. En el mismo instante que culmina el tiempo de llenado del botellón izquierdo, el PLC manda en forma paralela una señal para apagar la válvula solenoide izquierda y otra señal para prender la válvula solenoide derecha, las cuales se indican correspondientemente al apagarse la luz led roja y prenderse la luz led azul, de esta forma se inicia el llenado del botellón derecho. De igual manera, en el mismo instante que culmina el tiempo de llenado del botellón derecho, el PLC manda en forma paralela una señal para apagar la válvula solenoide derecha y otra señal para prender la válvula solenoide izquierda, las cuales se indican correspondientemente al apagarse la luz led de color azul y prenderse la luz led roja, iniciándose de esta forma otro ciclo de llenado. En cualquier momento que se desee parar la operación de llenado, se puede presionar el pulsador I1 (NC), apagando de esta forma a todas las bobinas del diagrama ladder.

### 3.1.3. Diseño y simulación del diagrama ladder para el llenado de botellones con agua

El diagrama ladder para el llenado de botellones con agua, comprende de las siguientes etapas:

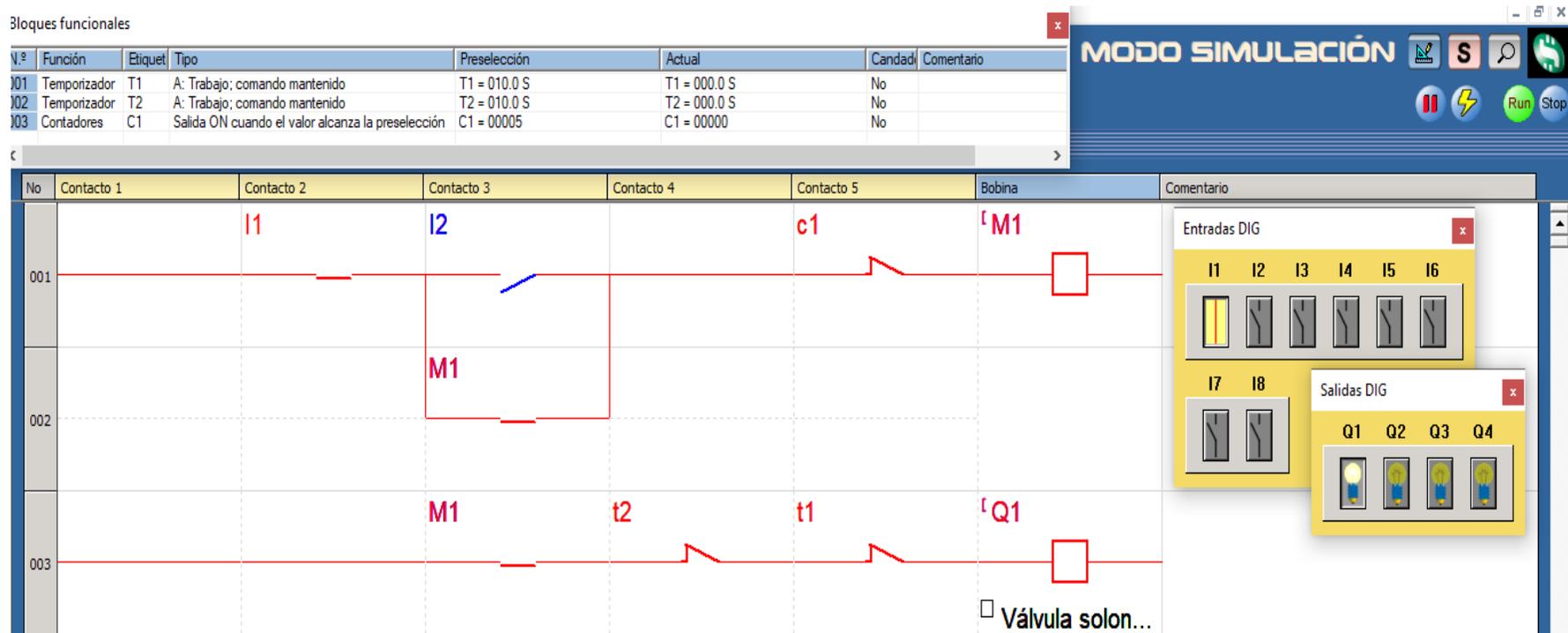
- **Prendido de la salida física Q1 del PLC.** Se realiza presionando el pulsador I2 (NA), de esta forma la marca M1 queda enclavada haciendo que su contacto respectivo se cierre y se prenda la salida física Q1 (véase las figuras 36 y 37).
- **Prendido de la salida física Q2 del PLC y activación del temporizador TT1.** Se realiza presionando el pulsador I3 (NA), de esta manera la marca M2 queda enclavada haciendo que su contacto respectivo se cierre, se prenda la salida física Q2 y se active el temporizador TT1 (véase las figuras 38 y 39).
- **Prendido de la salida física Q3 del PLC, activación del temporizador TT2 y conteo del contador CC1.** Se realiza en el mismo instante que el temporizador TT1, termina de contar el tiempo requerido para llenar el botellón izquierdo. De esta manera, el contacto cerrado t1 se abre apagando a Q1, el contacto abierto T1 se cierra prendiendo a Q3 y activando al temporizador TT2. Cada vez que se termina de llenar un botellón, el contador CC1 cuenta un impulso, el cual es enviado por los contactos T1, q1 y q3 (véase las figuras 40 y 41).
- **Culminación de la operación de llenado, mediante la abertura del contacto c1.** La cantidad de botellones que se desee llenar, se puede programar en el contador CC1. De esta manera, cuando el conteo llegue al valor preestablecido, el contacto cerrado c1 se abrirá quitando el flujo de energía a todas las bobinas del circuito ladder (véase las figuras 42 y 44).
- **Reseteo del contador CC1.** Este procedimiento se realiza con el fin de que el contador CC1, inicie nuevamente el conteo del valor preestablecido. Para esto, es suficiente presionar el pulsador I2 (NA) (véase las figuras 43 y 45).

En cualquier momento que se necesite detener la operación de llenado, se puede presionar el pulsador I1 (NC), para apagar a todas las bobinas del diagrama ladder.



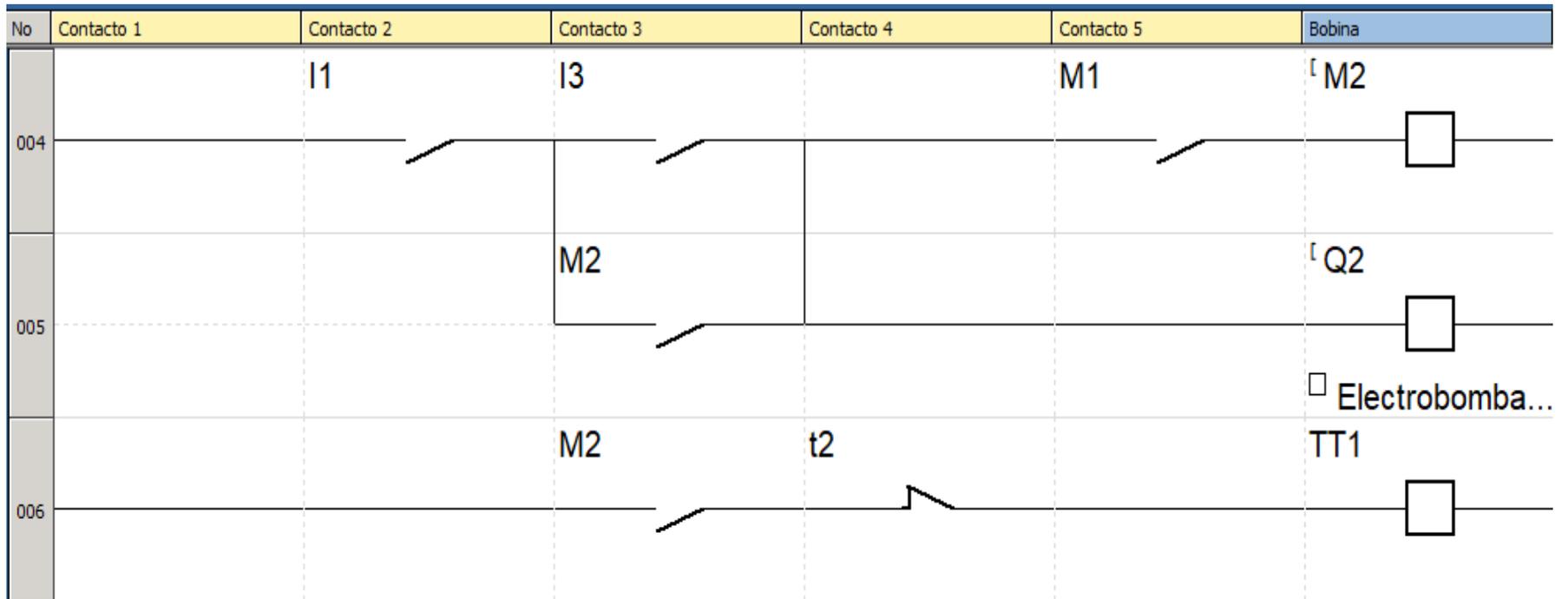
**Figura 36.** Diseño del prendido de la salida física Q1 del PLC.

Fuente: Elaboración propia.



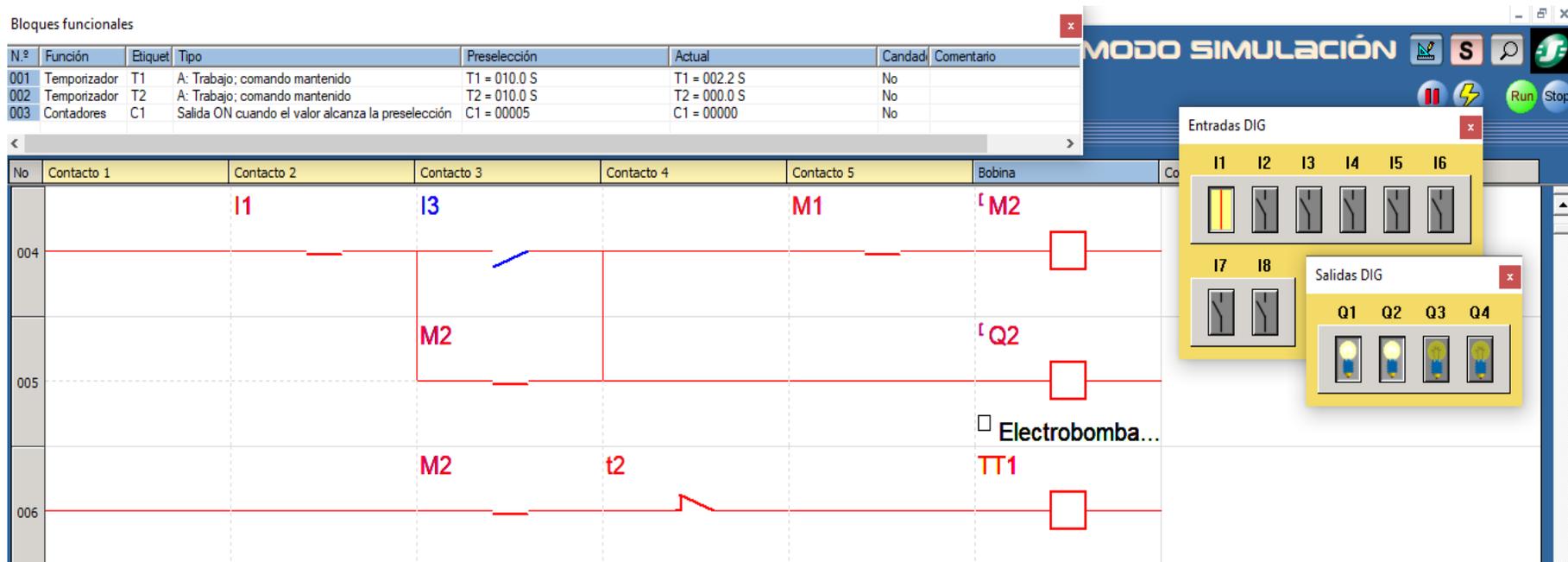
**Figura 37.** Simulación del prendido de la salida física Q1 del PLC.

Fuente: Elaboración propia.



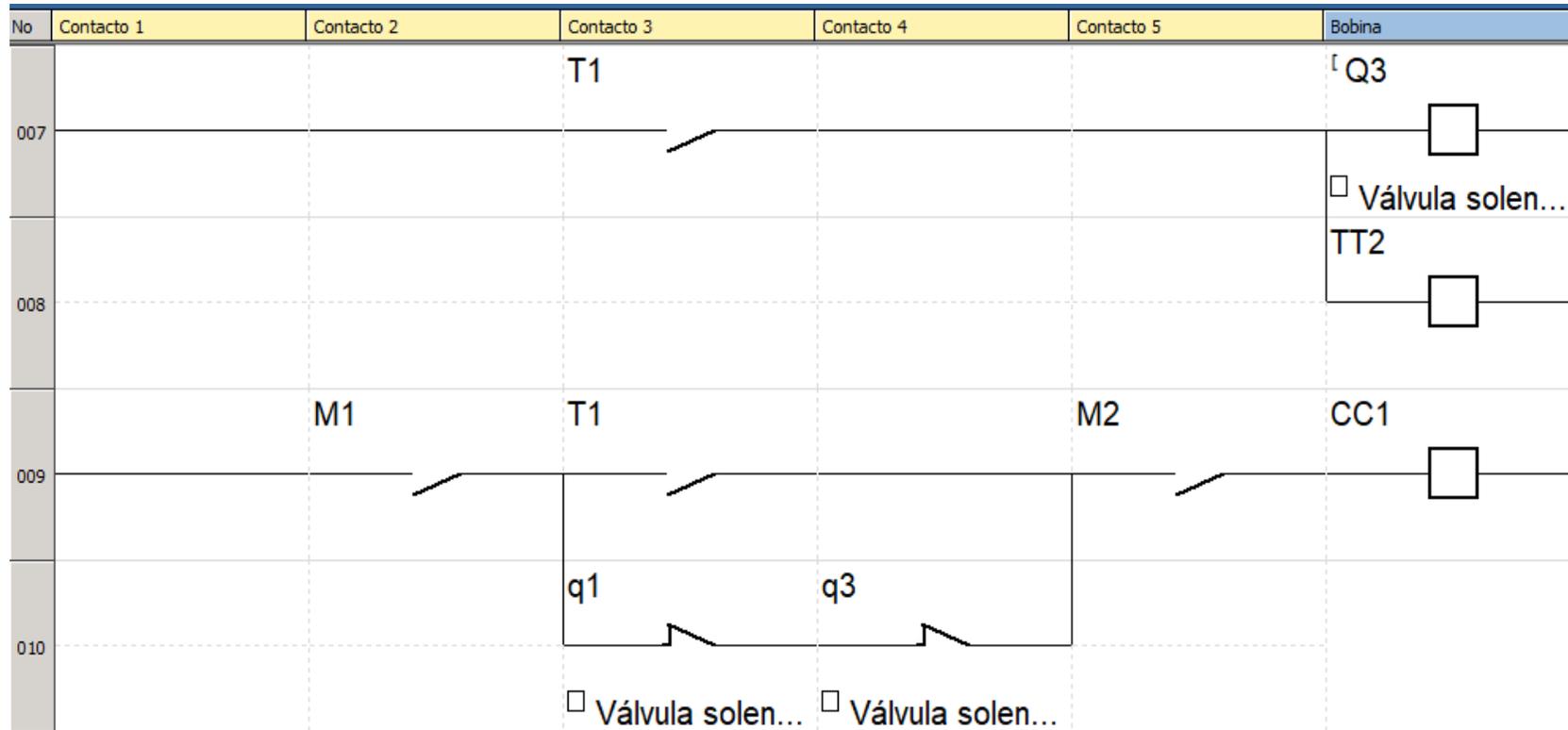
**Figura 38.** Diseño del prendido de la salida física Q2 del PLC y de la activación del temporizador TT1.

Fuente: Elaboración propia.



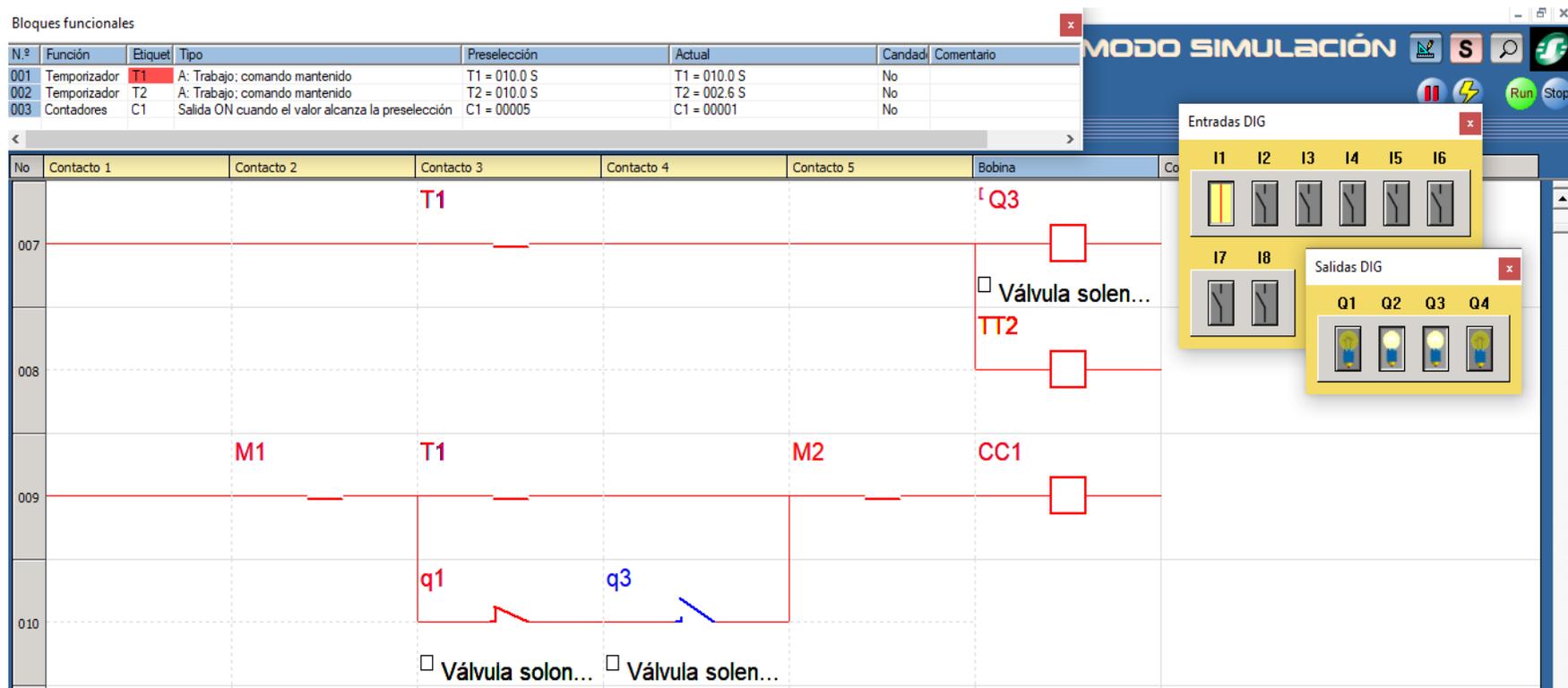
**Figura 39.** Simulación del prendido de la salida física Q2 del PLC y de la activación del temporizador TT1.

Fuente: Elaboración propia.



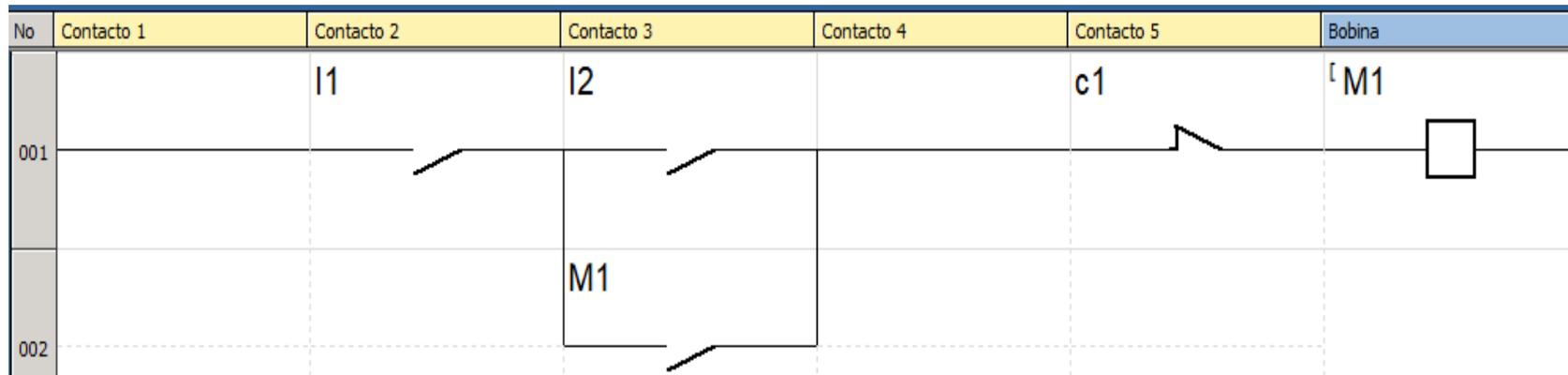
**Figura 40.** Diseño del prendido de la salida física Q3 del PLC, de la activación del temporizador TT2 y del conteo del contador CC1.

Fuente: Elaboración propia.



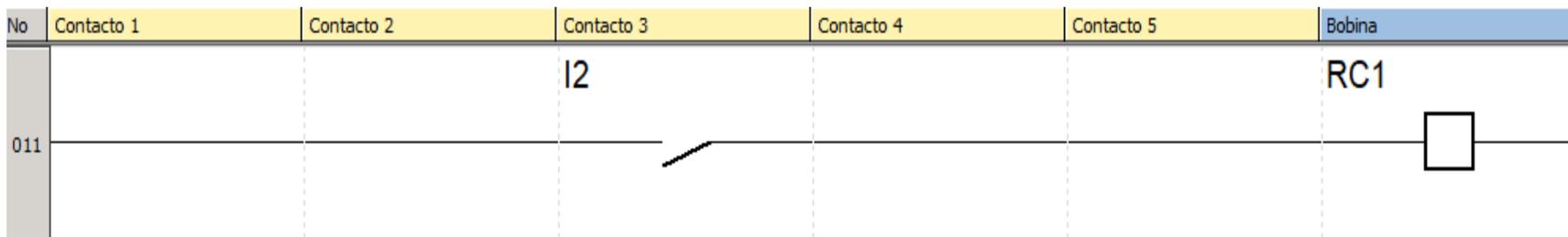
**Figura 41.** Simulación del prendido de la salida física Q3 del PLC, de la activación del temporizador TT2 y del conteo del contador CC1.

Fuente: Elaboración propia.



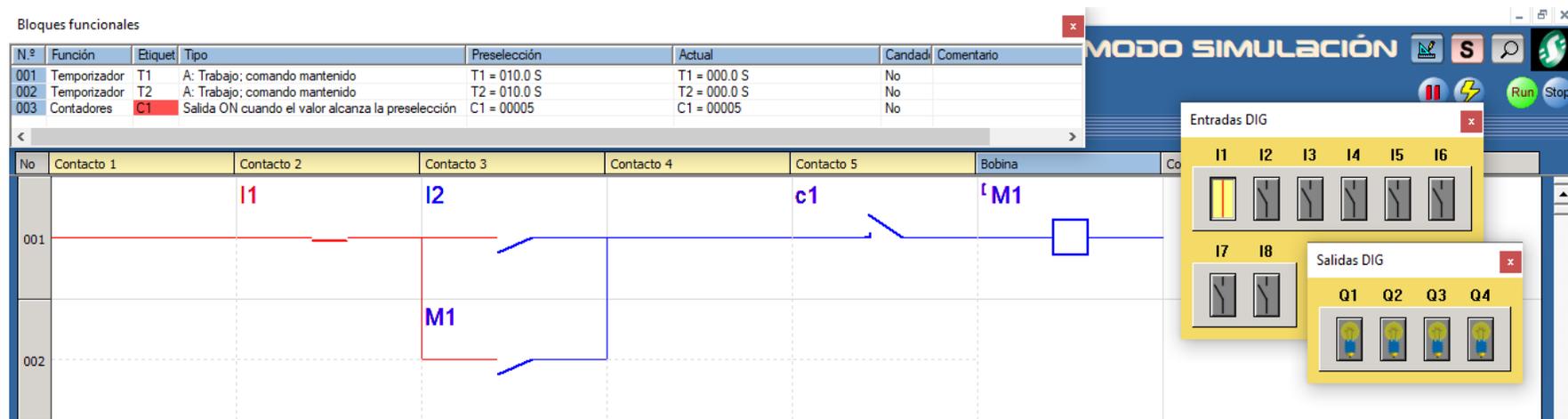
**Figura 42.** Diseño de la culminación de la operación de llenado, mediante la abertura del contacto c1.

Fuente: Elaboración propia.



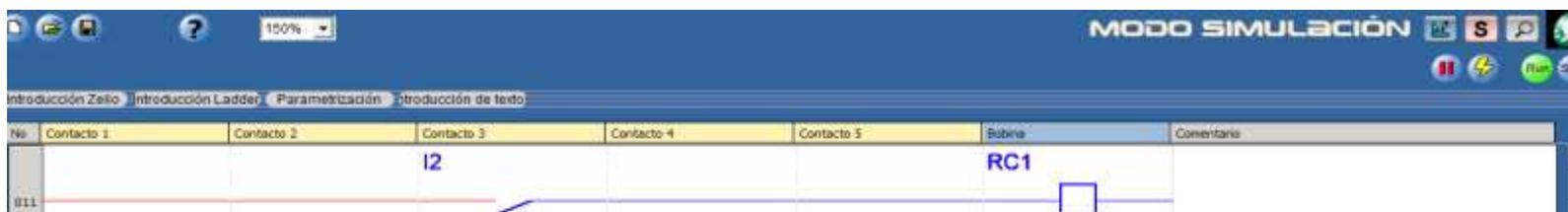
**Figura 43.** Diseño del reseteo del contador CC1.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 44.** Simulación de la culminación de la operación de llenado, mediante la apertura del contacto c1.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 45.** Simulación del reseteo del contador CC1.

Fuente: Elaboración propia.

### **3.1.4. Cálculo de la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable**

De acuerdo a lo mencionado en la sección 3.1.3, se ha calculado que la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC son: tres entradas (I1, I2, e I3) y tres salidas (Q1, Q2 y Q3). También cabe mencionar, que el orden respectivo de conexión debe ser el siguiente:

- La entrada 1 del PLC se conecta al pulsador I1 (físicamente NC).
- La entrada 2 del PLC se conecta al pulsador I2 (físicamente NA).
- La entrada 3 del PLC se conecta al pulsador I3 (físicamente NA).
- La salida física Q1 se conecta a la luz led roja y a la válvula solenoide izquierda.
- La salida física Q2 se conecta a la luz led verde y a la electrobomba de llenado.
- La salida física Q3 se conecta a la luz led azul y a la válvula solenoide derecha.

### **3.1.5. Relación del estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable**

La relación que existe entre el estado de las entradas (I1, I2, e I3) con el estado de cada una de las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC, se representa mediante un sistema de ecuaciones que se obtiene del diagrama ladder, las mismas que se dan a conocer:

$$I1 * (I2 + M1) * c1 = M1. \quad (18)$$

$$M1 * t2 * t1 = Q1. \quad (19)$$

$$I1 * (I3 + M2) * M1 = M2. \quad (20)$$

$$I1 * (I3 + M2) * M1 = Q2. \quad (21)$$

$$M2 * t2 = TT1. \quad (22)$$

$$T1 = Q3. \quad (23)$$

$$T1 = TT2. \quad (24)$$

$$M1 * (T1 + q1 * q3) * M2 = CC1. \quad (25)$$

$$I2 = RC1. \quad (26)$$

La ecuación **(18)**, muestra la relación entre el estado de las entradas (I1 e I2) con el estado de la marca M1. Es decir, para que M1 sea prendida, necesariamente se debe presionar el pulsador I2 (físicamente NA) y el pulsador I1 (físicamente NC) debe estar en su estado normal.

La ecuación **(19)**, muestra la relación entre el estado de la marca M1 con el estado de la salida física Q1. Es decir, para que Q1 esté prendida, necesariamente la marca M1 tiene que estar prendida. Entonces, de acuerdo a las ecuaciones **(18)** y **(19)**, para que Q1 esté prendida, necesariamente se debe presionar el pulsador I2 (físicamente NA) y el pulsador I1 (físicamente NC) debe estar en su estado normal.

Las ecuaciones **(20)** y **(21)**, relacionan el estado de las entradas (I1 e I3) con el estado de las marcas (M1 y M2) y el estado de la salida física Q2. Es decir, para que M2 y Q2 sean prendidas, previamente tiene que prenderse la marca M1, necesariamente se debe presionar el pulsador I3 (físicamente NA) y el pulsador I1 (físicamente NC) debe estar en su estado normal.

La ecuación **(22)**, muestra la relación entre el estado de la marca M2 con el estado del contacto t2 y el estado del temporizador TT1. Es decir, para que TT1 sea activado, necesariamente el contacto t2 debe estar en su posición normal y M2 tiene que estar prendida.

Las ecuaciones **(23)** y **(24)**, relacionan al estado del contacto T1 con el estado de la salida física Q3 y el estado del temporizador TT2. En consecuencia, la salida física Q3 se prenderá y el temporizador TT2 se activará cuando el contacto T1 se cierre.

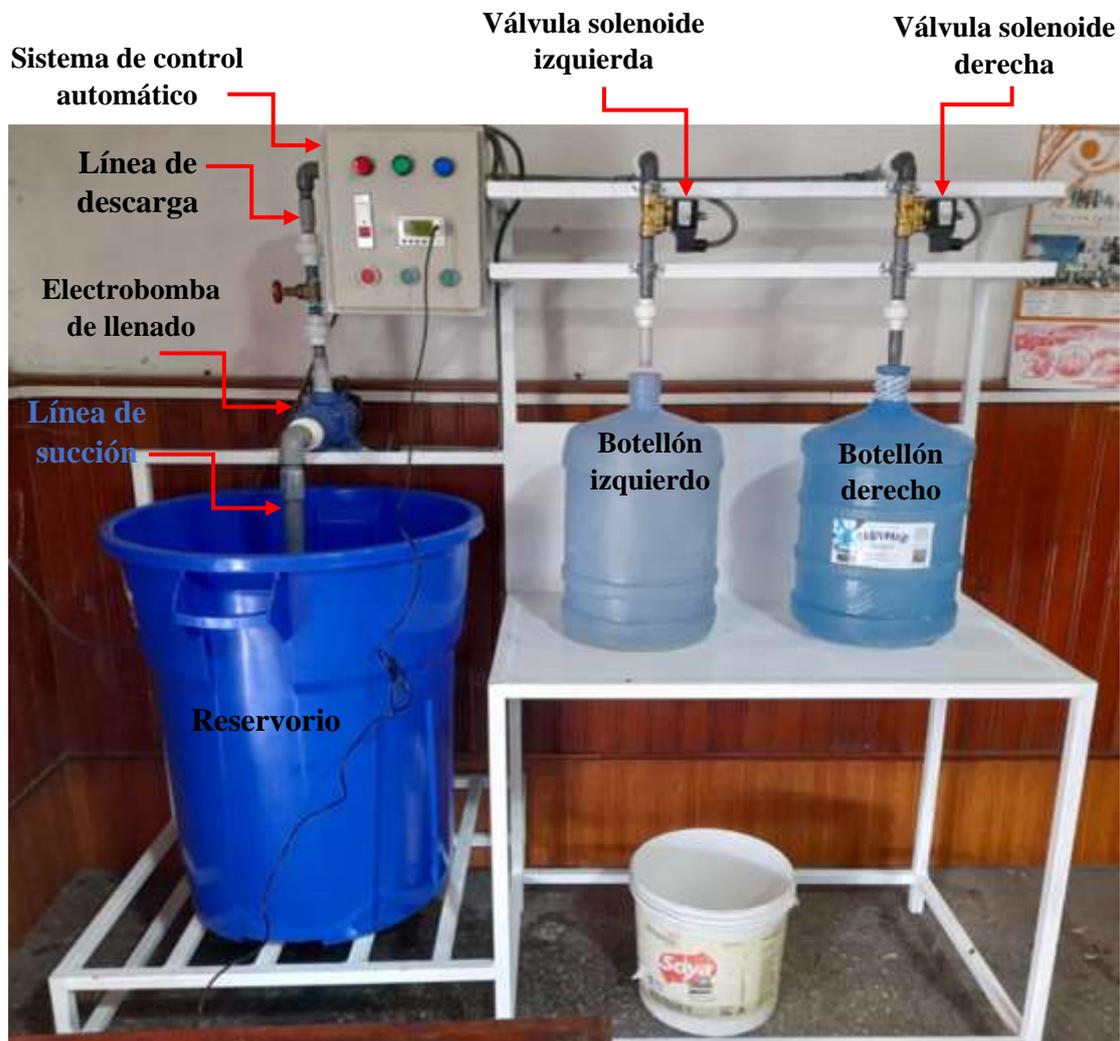
La ecuación **(25)**, relaciona el estado de las marcas (M1 y M2) con el estado de los contactos (T1, q1 y q3) y el estado del contador CC1. Es decir, para que CC1 cuente

un impulso, tienen que estar prendidas las marcas (M1 y M2) y necesariamente por lo menos uno de los contactos (T1, q1 y q3) deben estar cerrados.

La ecuación (26), indica que para resetear al contador CC1, necesariamente se debe presionar el pulsador I1 (físicamente NA).

### 3.1.6. Construcción e instalación del prototipo para llenado de botellones con agua

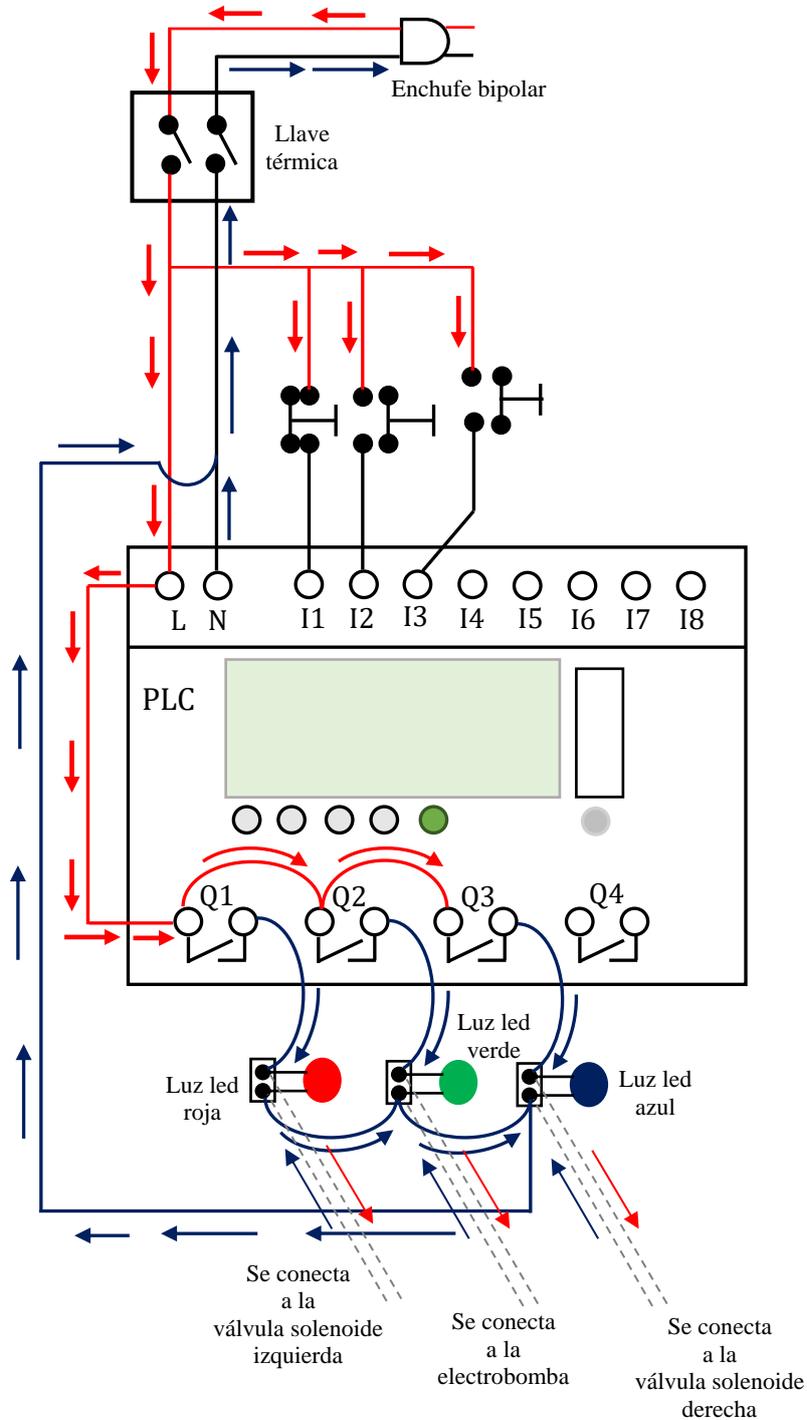
La construcción e instalación del prototipo para llenado de botellones con agua, se ha realizado teniendo en cuenta las figuras 34 y 35, del mismo que se muestra una imagen real en la figura siguiente.



**Figura 46.** Imagen real del prototipo para llenado de botellones con agua.

Fuente: Elaboración propia.

En la construcción e instalación del mencionado prototipo, ha sido necesario realizar las conexiones eléctricas para el PLC (figura 47), las mismas que se han considerado en el montaje del sistema de control automático (figura 48). De esta manera se ha realizado la implementación con un PLC, a dicho prototipo.



**Figura 47.** Diagrama de conexiones eléctricas para el PLC.

Fuente: Elaboración propia.



Q1: está conectada en forma paralela a la luz led roja y a la válvula solenoide izquierda.

Q2: está conectada en forma paralela a la luz led verde y a la electrobomba de llenado.

Q3: está conectada en forma paralela a la luz led azul y a la válvula solenoide derecha.

Pulsador I1 (físicamente NC)

Pulsador I2 (físicamente NA)

Pulsador I3 (físicamente NA)



Luces led

PLC

Llave térmica

Pulsadores

**Figura 48.** Imágenes reales del sistema de control automático.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Diseño muestral

Para la operación de control automático, la población en el presente trabajo de tesis, lo constituyen la cantidad total de elementos del diagrama ladder, esto es:

$$\text{Población} = \text{CM} + \text{CSF} + \text{CT} + \text{CCts} + \text{CCds}. \quad (27)$$

Donde:

CM : cantidad de marcas.

CSF : cantidad de salidas físicas.

CT : cantidad de temporizadores.

CCts : cantidad de contactos.

CCds : cantidad de contadores.

De acuerdo a lo que se ha indicado en las secciones 3.1.3 y 3.1.4, se tiene que:

$$\text{CM} = 2, \text{CSF} = 3, \text{CT} = 2, \text{CCts} = 11 \text{ y } \text{CCds} = 1.$$

$$\text{Población} = 2 + 3 + 2 + 11 + 1 = 19.$$

Para la operación de control automático, el tipo de muestreo fue el no probabilístico a criterio o conveniencia de los investigadores, para lo cual se ha considerado que la muestra está conformada por la cantidad de salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) que se utilizaron en el PLC; por lo tanto, el tamaño de muestra resultó igual a tres (3).

Para la operación de llenado propiamente dicha, se ha considerado como muestra a tres (3) conjuntos de botellones, con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L. Entonces, de esta forma se ha determinado, que el tamaño de muestra para la operación de llenado es igual a diez (10).

### 3.3. Procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó en los siguientes procedimientos que se mencionan seguidamente:

- **Cálculo de la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron en el PLC.** Este procedimiento se realizó en la sección 3.1.4, de lo cual resultó que la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC son: tres entradas (I1, I2, e I3) y tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3).
- **Determinación de la densidad del agua.** El valor promedio de este parámetro, se ha determinado en un rango de 25 a 30 °C, lo cual resultó:

$$\rho_A \approx 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L. (Mott, 2015, p. 488).}$$

- **Evaluación del caudal producido por la electrobomba de llenado.** Este procedimiento se ha realizado haciendo una prueba de funcionamiento al mencionado prototipo, para lo cual se ha medido primeramente la masa de un botellón vacío, el cual resultó: 104 g = 0.104 kg. Seguidamente, se procedió a llenar con agua este botellón, programándose en el PLC un tiempo de 8 s. A continuación, se midió la masa del botellón lleno con agua y por diferencia con la masa del botellón vacío se determinó la masa del agua en el botellón, aplicándose de este modo la ecuación (15). Luego se aplicó la ecuación (16) para determinar el volumen de agua observado (valor experimental de la cantidad de agua que contiene un botellón). Por último, se aplicó la ecuación (17) para evaluar el caudal producido por la electrobomba de llenado. Los datos que se utilizaron en este procedimiento se indican en la tabla 8.

**Tabla 8.** Datos necesarios para la evaluación del caudal producido por la electrobomba de llenado.

$m_{BV}$		$m_{BCA}$	$m_A$	$\rho_A$
g	kg	kg	kg	kg/L
104	0.104	3.876	3.772	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$m_{BV}$  = masa del botellón vacío, 0.104 kg.

$m_{BCA}$  = masa del botellón con agua, 3.876 kg.  
 $m_A$  = masa del agua en el botellón, 3.772 kg.  
 $\rho_A$  = densidad del agua, 1 kg/L.

La aplicación de la ecuación (15), es como sigue:

$$m_A = m_{BCA} - m_{BV} = (3.876 - 0.104) \text{ kg} = 3.772 \text{ kg}.$$

Aplicando la ecuación (16), se obtiene:

$$V_O = \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{3.772 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 3.772 \text{ L}.$$

Despejando  $Q_{PPE}$  de la ecuación (17), se tiene:

$$Q_{PPE} = \frac{V_O}{TT1} = \frac{3.772 \text{ L}}{8 \text{ s}} = 0.472 \text{ L/s} = 28.3 \text{ L/min}.$$

Donde:

$TT1$  = tiempo programado en el PLC, 8 s.

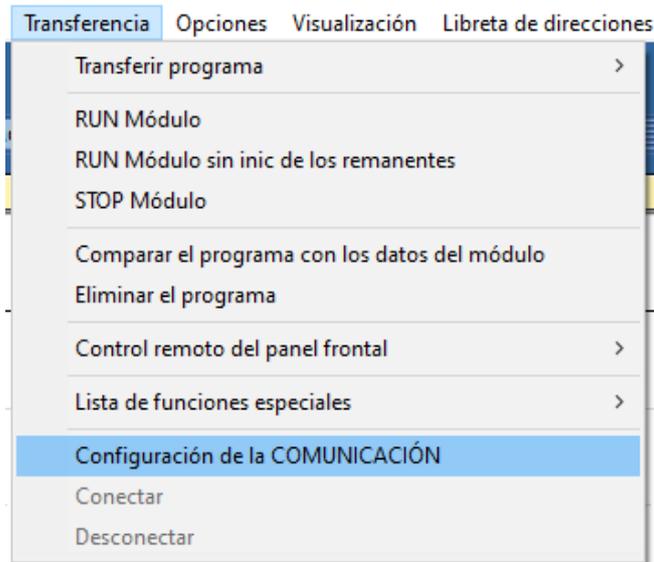
$V_O$  = volumen de agua observado, 3.772 L.

$Q_{PPE}$  = caudal producido por la electrobomba de llenado, L/s.

### 3.4. Procesamiento y análisis de datos

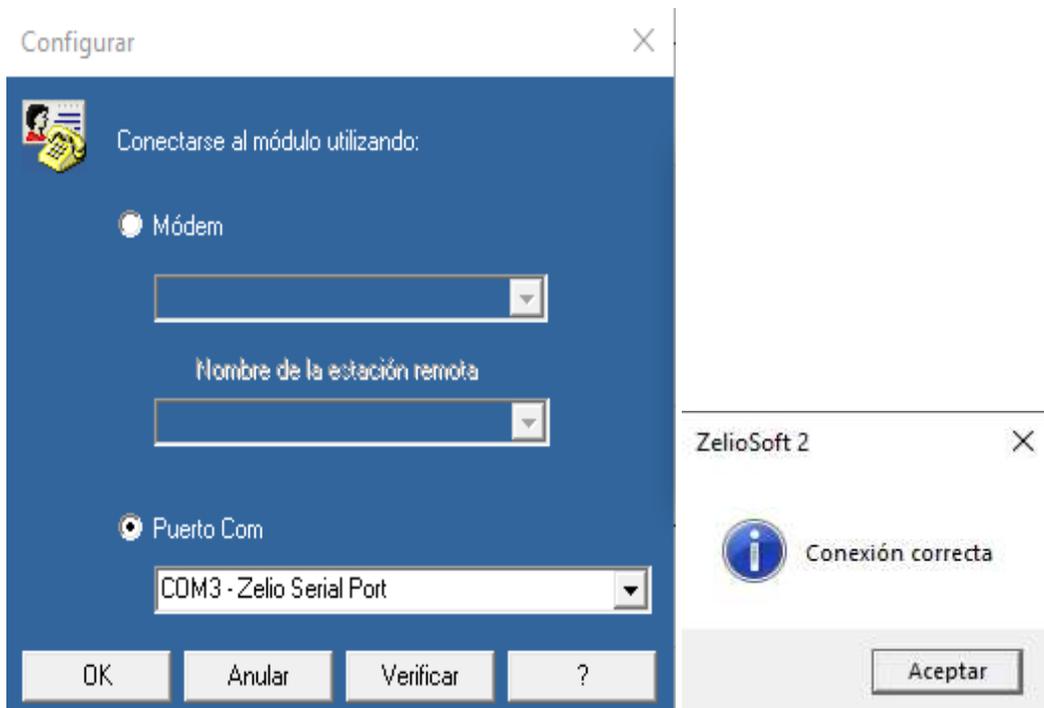
Para el análisis de datos, se realizó los cuatro procedimientos que se indican a continuación:

**Transferencia de datos entre la computadora y el PLC Zelio.** Para realizar este procedimiento, inicialmente, se verificó en que puerto de comunicación se ubica el conector del PLC, para eso se elige el menú Transferencia y luego la opción Configuración de la COMUNICACIÓN (véase la figura 49). Seguidamente se verifica el puerto COM (figura 50), para lo cual debe salir una ventana indicando que la conexión es correcta. En la figura 50, puede observarse que el puerto correspondiente para la transferencia de datos entre la computadora (PC) y el PLC Zelio es: COM3-Zelio Serial Port. Por último, se transfiere el programa tal como se indica en la figura 24.



**Figura 49.** Configuración de la comunicación para la transferencia de datos entre la PC y el PLC.

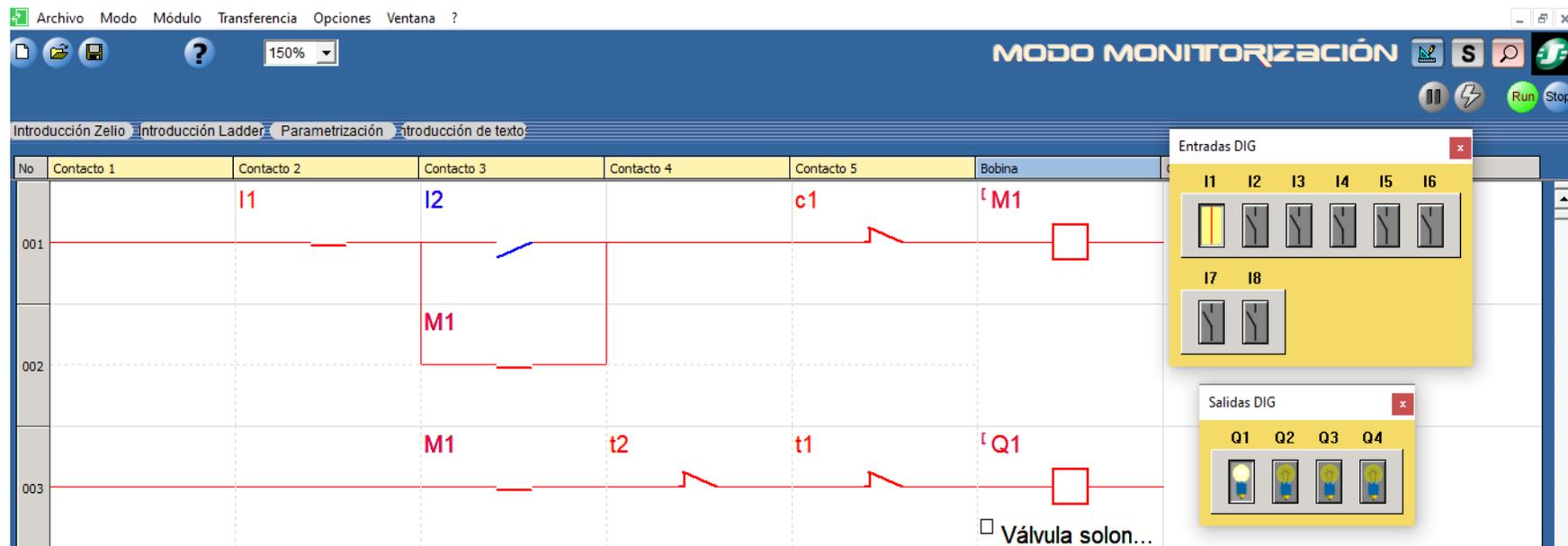
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 50.** Verificación del puerto COM.

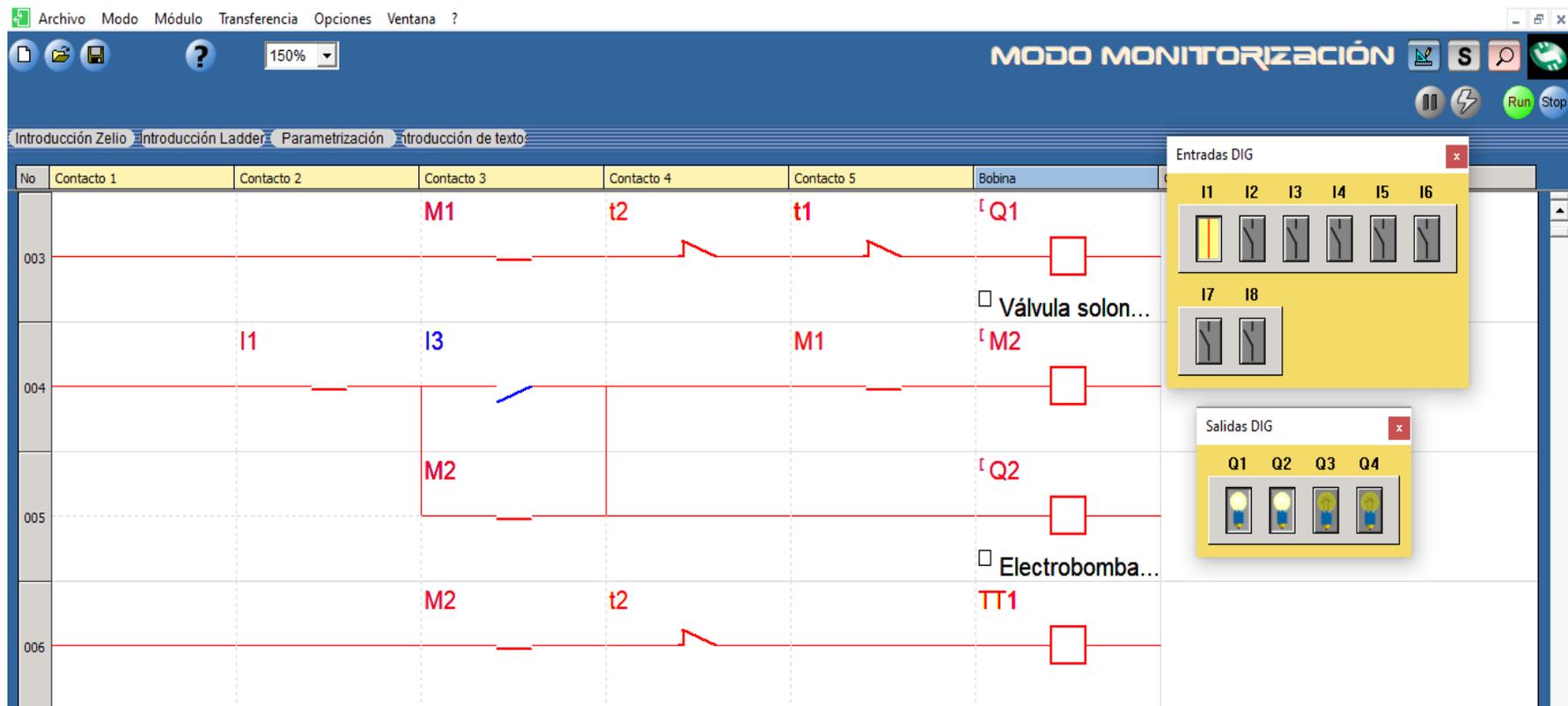
Fuente: Elaboración propia.

- **Monitorización del prendido de las tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3).** Este procedimiento se realiza, con la finalidad de verificar el prendido de las válvulas solenoides izquierda y derecha y la electrobomba de llenado, para el mismo que se ha utilizado el software Zelio V5.4.2.



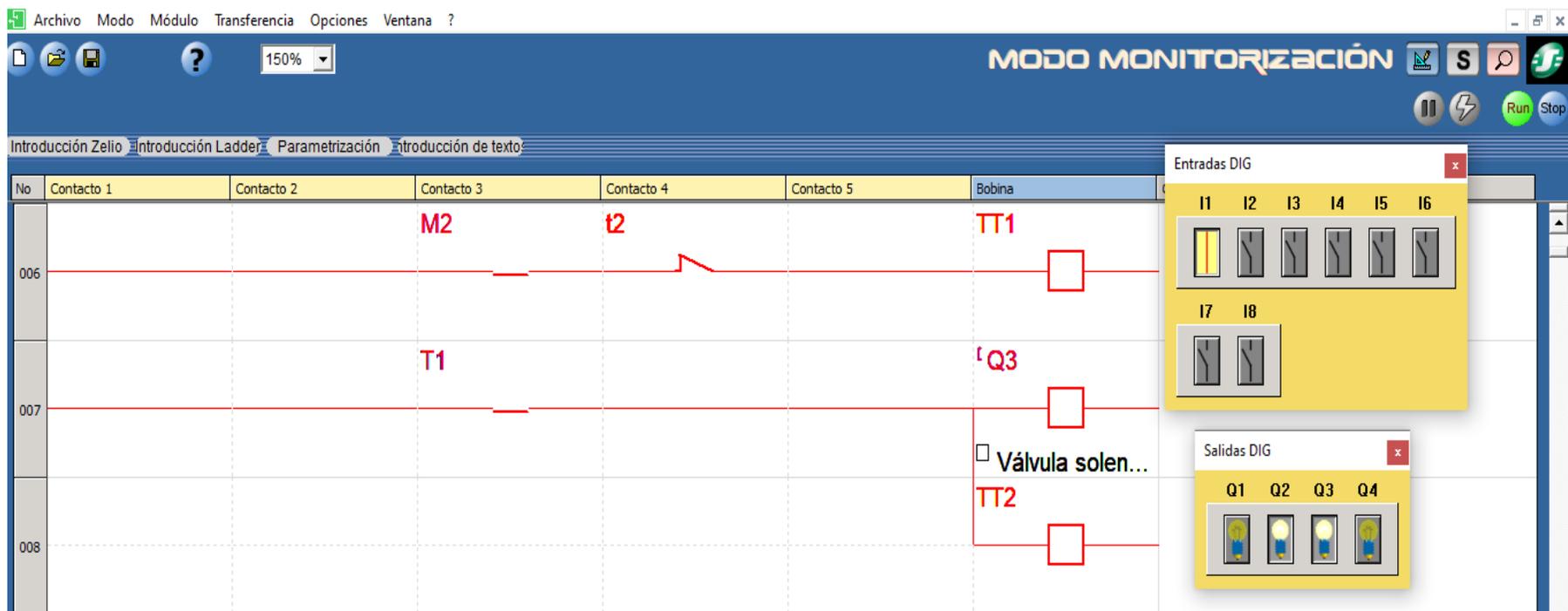
**Figura 51.** Monitorización del prendido de la salida física Q1.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 52.** Monitorización del prendido de la salida física Q2.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 53.** Monitorización del prendido de la salida física Q3.

Fuente: Elaboración propia.

- **Representación gráfica de los diagramas de estado para las tres salidas (Q1, Q2 y Q3).** El estado o situación (apagado o prendido), para cada una de las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC, se puede representar mediante la gráfica del valor lógico (0 o 1) versus el tiempo. Para esto se utilizó las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2019. De esta manera se podrá ver cuánto tiempo estarán prendidas cada una de las válvulas solenoides (izquierda y derecha) y la electrobomba de llenado, cuando se desee llenar una determinada cantidad de botellones con agua. Mayor detalle sobre esto se puede ver en las figuras 54, 55 y 56.
- **Determinación del tiempo requerido para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.** Para determinar el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal, se ha programado la ecuación (17) en Microsoft Excel 2019. En la tabla 10 se puede observar, el tiempo requerido para llenar cada uno de los diez botellones utilizados.

### 3.5. Aspectos éticos

Como tesis y egresados de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, expresamos que, en el presente trabajo de tesis no existe plagio de ningún tipo de otro trabajo de tesis o artículo científico, dejando constancia precisa de cada una de las fuentes de información que se citaron en todo el desarrollo del informe final. También, nos comprometemos a respetar la legitimidad de los resultados obtenidos concernientes al tiempo de llenado y al volumen observado, para los diez botellones utilizados.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

**Tabla 9.** Masa de agua en cada uno de los diez botellones utilizados.

$m_{BV}$	$m_{BCA}$	$m_A$
kg	kg	kg
0.104	3.844	3.740
0.104	3.828	3.724
0.104	3.889	3.785
0.104	3.890	3.786
0.104	3.917	3.813
0.170	4.617	4.447
0.170	4.648	4.478
0.770	20.450	19.680
0.770	20.600	19.830
0.770	20.450	19.680

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 10.** Tiempo requerido para llenar cada uno de los diez botellones utilizados.

$V_N$	TT1	TT2	$V_O$	Residuo	% Error
L	s	s	L	L	
3.800	8.1	–	3.740	0.060	1.579 %
3.800	–	8.1	3.724	0.076	2.000 %
3.800	8.1	–	3.785	0.015	0.395 %
3.800	–	8.1	3.786	0.014	0.368 %
3.800	8.1	–	3.813	0.013	0.342 %
4.500	9.5	–	4.447	0.053	1.178 %
4.500	–	9.5	4.478	0.022	0.489 %
20.000	42.4	–	19.680	0.320	1.600 %
20.000	–	42.4	19.830	0.170	0.850 %
20.000	42.4	–	19.680	0.320	1.600 %

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se indican los resultados de la masa de agua en cada uno de los diez botellones utilizados, los cuales han sido obtenidos aplicándose la ecuación (15). Por ejemplo, para obtener el valor de 3.813 kg, el cual está ubicado en la fila 5 y columna 3 de la tabla 9, se ha aplicado la ecuación (15) midiéndose previamente la masa del botellón vacío ( $m_{BV} = 0.104$  kg) y la masa del botellón con agua ( $m_{BCA} = 3.917$  kg), es decir:

$$m_A = m_{BCA} - m_{BV} = (3.917 - 0.104) \text{ kg} = 3.813 \text{ kg}.$$

En la columna 4 de la tabla 10, se muestran los resultados del volumen observado ( $V_O$ ) para cada uno de los diez botellones utilizados, los cuales se han obtenido haciendo uso de la ecuación (16). Por ejemplo, para obtener el valor de 3.813 L, el cual está ubicado en la fila 5 y columna 4 de la tabla 10, se ha aplicado la ecuación (16) evaluándose previamente la masa de agua en el botellón ( $m_A = 3.813$  kg) y la densidad promedio del agua ( $\rho_A = 1$  kg/L) en un rango de 25 a 30 °C, es decir:

$$V_O = \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{3.813 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 3.813 \text{ L}.$$

En las columnas 2 y 3 de la tabla 10, se puede observar los valores del tiempo requerido para llenar con agua los diez botellones utilizados, los cuales se han programado en los temporizadores TT1 y TT2 del PLC. Por ejemplo, para obtener el valor de 8.1 s, el cual está ubicado en la fila 5 y columna 2 de la tabla 10, se ha hecho uso de la ecuación (17) evaluándose previamente el caudal producido por la electrobomba de llenado ( $Q_{PPE} = 0.472$  L/s) y teniendo en cuenta el volumen nominal ( $V_N = 3.800$  L) correspondiente, es decir:

$$TT1 = \frac{V_N}{Q_{PPE}} = \frac{3.800 \text{ L}}{0.472 \text{ L/s}} = 8.1 \text{ s}.$$

De esta manera, se ha determinado que el tiempo requerido para llenar con agua un botellón con un volumen nominal de 3.800 L, es 8.1 s. Cabe mencionar, que los valores de TT1 y TT2, representan a los tiempos que se mantienen prendidas las válvulas solenoides izquierda y derecha, respectivamente. Es decir, el valor ubicado en la fila 6 y columna 1 de la tabla 10, le corresponde a un botellón cuyo volumen nominal es 4.500 L,

el cual ha sido llenado mediante la válvula solenoide izquierda.

Los valores del residuo que se indican en la columna 5 de la tabla 10, se han obtenido realizando la diferencia entre el volumen nominal y el volumen observado, es decir:  $V_N - V_O$ . Por ejemplo, para obtener el valor de 0.022 L, el cual se encuentra ubicado en la fila 7 y columna 5 de la tabla 10, se ha realizado la siguiente operación:

$$\text{Residuo} = V_N - V_O = (4.500 - 4.478) \text{ L} = 0.022 \text{ L.}$$

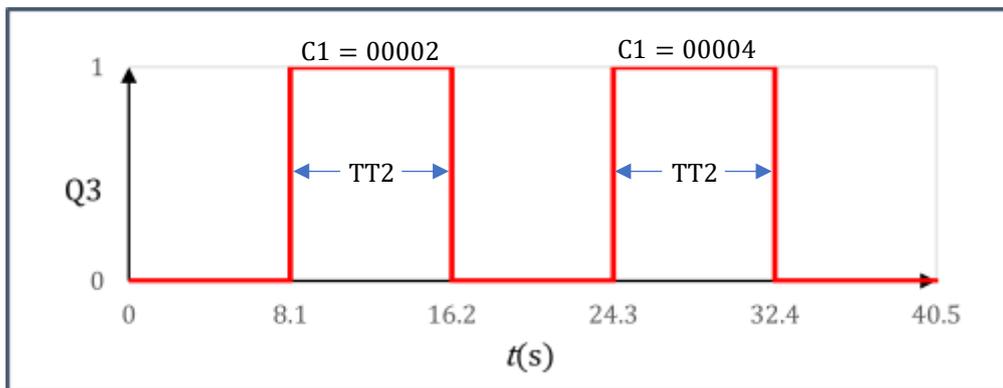
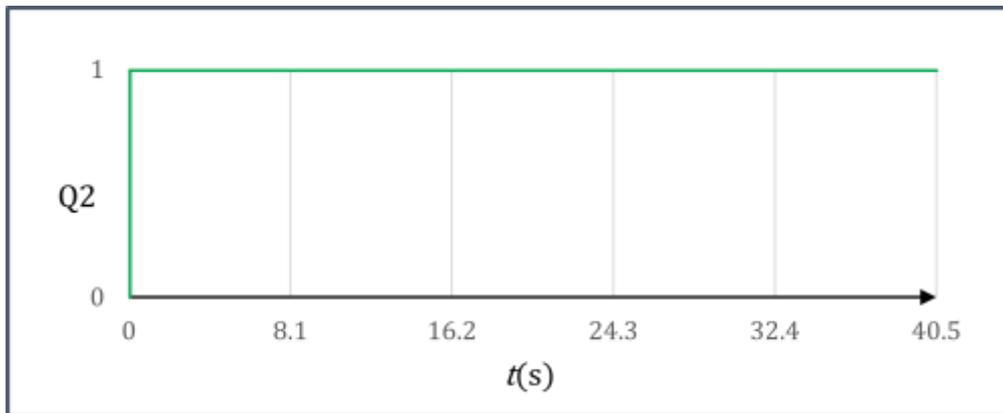
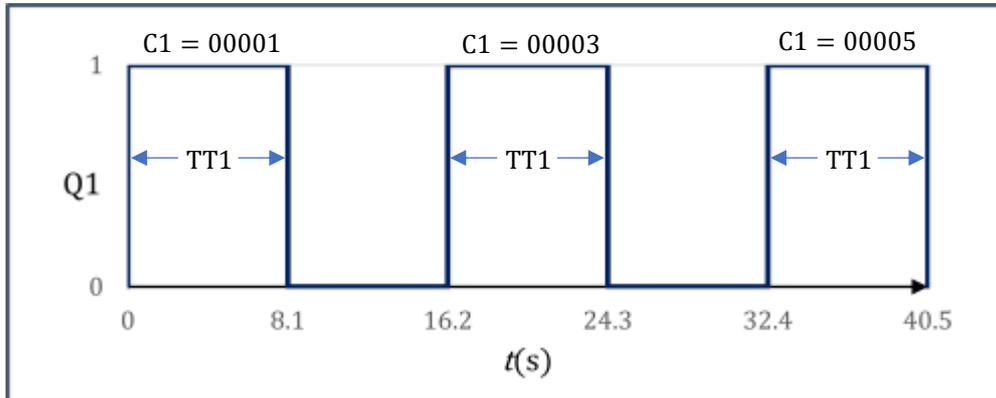
Las cantidades que se muestran en la columna 6 de la tabla 10, representan el porcentaje de error del residuo con respecto al volumen nominal; así el valor 0.850 % que se encuentra ubicado en la fila 9 y columna 6 de la tabla 10, se ha obtenido de la forma siguiente:

$$\frac{0.170}{20.000} \times 100 = 0.850 \text{ \%}.$$

La figura 54, muestra el diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de cinco botellones con un volumen nominal de 3.800 L. El tiempo de llenado para estos botellones es 8.1 s. Los temporizadores TT1 y TT2, cuentan el tiempo para llenar los botellones impares y pares, respectivamente. Los botellones impares y pares, se llenan correspondientemente mediante las válvulas solenoides izquierda (Q1) y derecha (Q3).

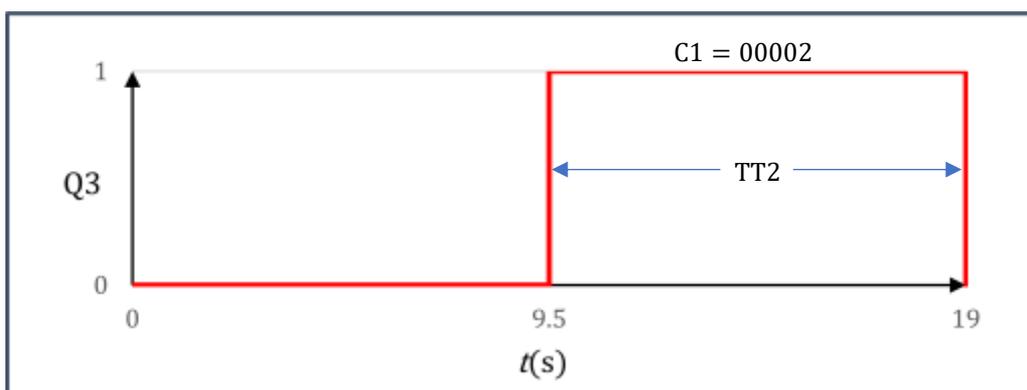
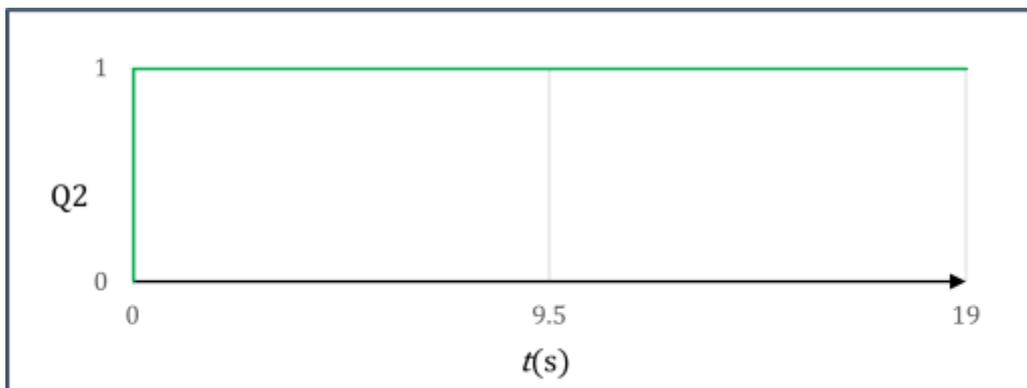
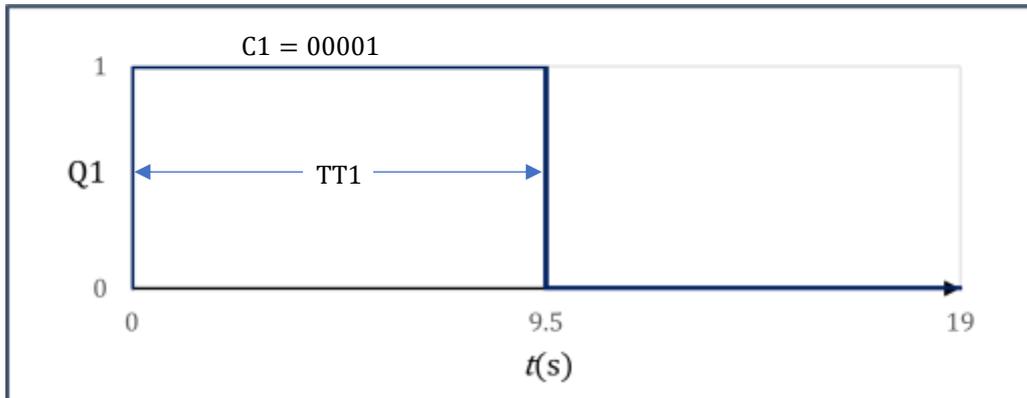
La figura 55, muestra el diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de dos botellones con un volumen nominal de 4.500 L. El tiempo de llenado para estos botellones es 9.5 s. Los temporizadores TT1 y TT2, cuentan el tiempo para llenar los botellones 1 y 2, los cuales se llenan correspondientemente mediante las válvulas solenoides izquierda (Q1) y derecha (Q3).

La figura 56, muestra el diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de tres botellones con un volumen nominal de 20.000 L. El tiempo de llenado para estos botellones es 42.4 s. Los temporizadores TT1 y TT2, cuentan el tiempo para llenar los botellones impares y el par, respectivamente.



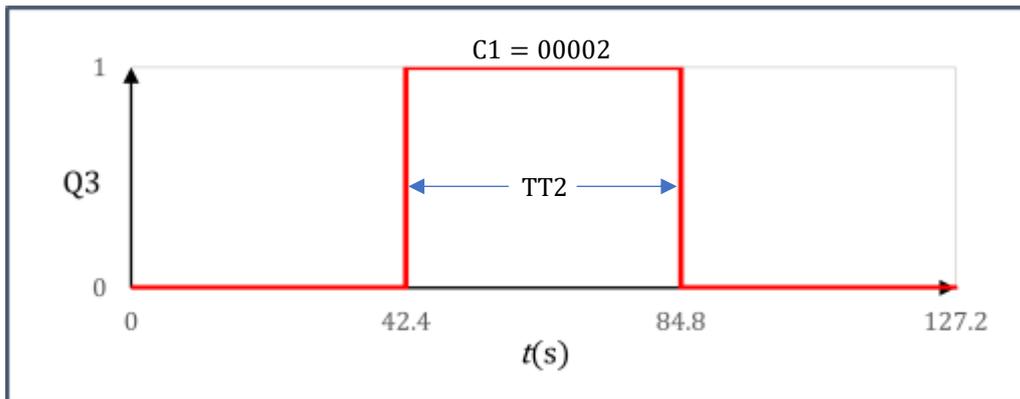
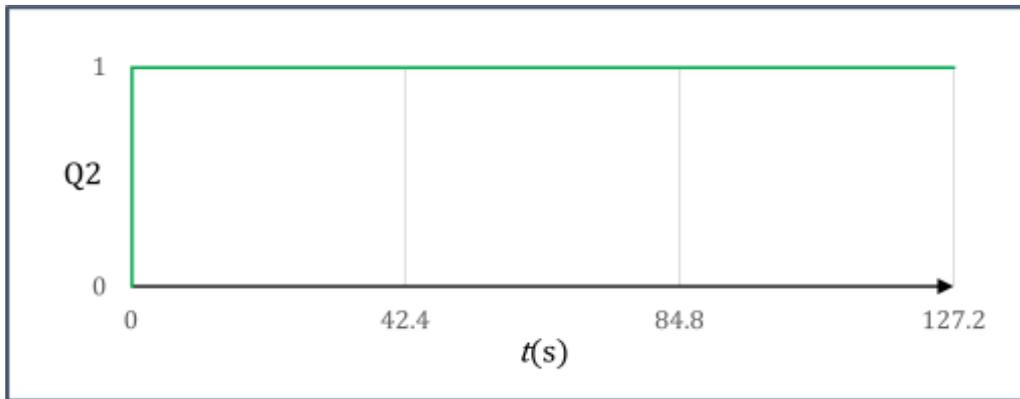
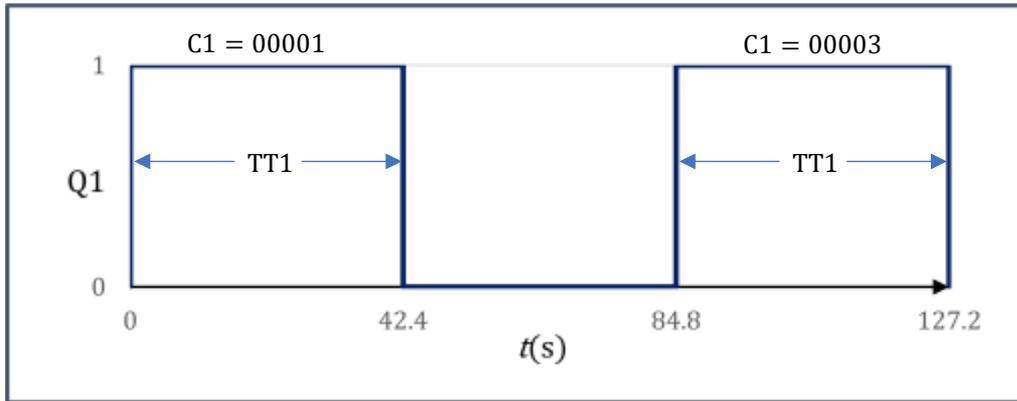
**Figura 54.** Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de cinco botellones con un volumen nominal de 3.800 L.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 55.** Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de dos botellones con un volumen nominal de 4.500 L.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 56.** Diagrama de estado para las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), durante el llenado de tres botellones con un volumen nominal de 20.000 L.

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Un ciclo de llenado, está compuesto por la suma de los tiempos programados en los temporizadores TT1 y TT2, es decir: Ciclo de llenado = TT1 + TT2. Entonces, el llenado de los cinco botellones de 3.800 L, se ha realizado en 2.5 ciclos.

Para un determinado ciclo de llenado, se ha podido observar lo siguiente: la operación, se inicia presionando el pulsador I2 (físicamente NA), haciendo que la marca M1 quede enclavada y a su vez se prenda la válvula solenoide izquierda (Q1) (véase la figura 51). Seguidamente, se presiona el pulsador I3 (físicamente NA), lo cual hace que en forma automática quede enclavada la marca M2, se prenda la electrobomba de llenado y se active el temporizador TT1 (véase la figura 52); de esta forma, el temporizador TT1 inicia el conteo del tiempo de llenado del botellón izquierdo. En el mismo instante que el temporizador TT1, termina de contar el tiempo de llenado del botellón izquierdo, el contacto cerrado t1 se abre apagando a la válvula solenoide izquierda (Q1), el contacto abierto T1 se cierra prestando a la válvula solenoide derecha (Q3) y activando al temporizador TT2; de esta forma, el temporizador TT2 inicia el conteo del tiempo de llenado del botellón derecho (véase la figura 53). Cada vez que los contactos T1, q1 y q3, envían un impulso al contador CC1, se realiza el conteo de un botellón lleno (figura 41). La cantidad de botellones que se desee llenar, se escribe como valor preestablecido en la ventana de parámetros del contador CC1; de esta manera, cuando el conteo llegue al valor preestablecido; el contacto cerrado c1 se abrirá quitando el flujo de energía a todas las bobinas del circuito ladder (véase las figuras 42 y 44). Cada vez que se presiona el pulsador I2 (físicamente NA), el contador CC1 empieza nuevamente el conteo (figura 45). Esto indica que el control automático de la operación de llenado, se ha llevado a cabo en un 100 % de acuerdo a la simulación realizada del diagrama ladder.

Caro (2016, p. 41), menciona que la diferencia entre el volumen declarado en la etiqueta (volumen nominal) y el volumen de llenado por la válvula (volumen observado), no debe ser más del 2 % con respecto al volumen de la etiqueta. Como puede observarse en la columna 6 de la tabla 10, ninguno de los diez valores excede el 2 %; por lo tanto, se puede decir que el prototipo para llenado de botellones con agua, que se ha construido en el presente trabajo de tesis, funciona de forma eficiente gracias a la implementación con un controlador lógico programable (PLC).

## CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- En la sección 3.1.3, se ha elaborado el diagrama ladder, el cual permitió realizar la simulación del llenado de botellones con agua, cumpliéndose de esta manera con el primer objetivo específico.
- Se ha realizado la transferencia de datos de la laptop al PLC, lo cual ha permitido realizar la monitorización de la operación de llenado, comprobándose que todos los componentes del mencionado prototipo funcionan correctamente.
- En la sección 3.2, se ha determinado que la cantidad de elementos que tiene el diagrama ladder son: diecinueve (19); lo cual hizo posible calcular la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron en el controlador lógico programable (PLC), las cuales fueron: tres entradas (I1, I2, e I3) y tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3). De este modo se cumplió con el segundo objetivo específico.
- El sistema de ecuaciones de (18) a (26), obtenido en la sección 3.1.5, ha permitido determinar la relación entre el estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC; haciéndose posible de esta forma, el cumplimiento del tercer objetivo específico.
- En la tabla 10, se puede ver que se ha determinado el tiempo requerido para llenar diez botellones, de acuerdo al volumen nominal correspondiente. Este tiempo resultó: 8.1 s para 3.8 L, 9.5 s para 4.5 L y 42.4 s para 20 L. De esta manera, se ha cumplido con el cuarto objetivo específico.
- Para los diez botellones utilizados, se ha determinado que la diferencia mínima y máxima entre el volumen nominal y el volumen observado son: 0.342 % y 2.000 %, respectivamente; lo cual no excedió del 2 % con respecto al volumen nominal, comprobándose de esta manera que el prototipo para llenado de botellones con agua funciona de forma eficiente.
- De este modo, es que se ha podido diseñar, construir e implementar con un controlador lógico programable (PLC) al prototipo para llenado de botellones con agua, cumpliéndose de esta manera con cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general.

## CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el diagrama ladder como algoritmo de control, en el caso de construir un equipo para el llenado de botellones agua con dimensiones mayores al que se ha construido en el presente trabajo.
- En el caso de aumentar la capacidad de la electrobomba de llenado, se recomienda evaluar nuevamente el caudal que esta produce, aplicándose la ecuación (15), tal como se indicó en la sección 3.3.
- Para determinar el volumen observado, en cualquier prueba del prototipo para llenado de botellones con agua, se recomienda hacer uso de la ecuación (16), tal como se indicó en la sección 3.3 y en el capítulo iv.
- Se recomienda hacer uso de la ecuación (17), para determinar el tiempo requerido para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.
- Se recomienda hacer una revisión periódica de todos los componentes eléctricos del mencionado prototipo (electrobomba de llenado, válvulas solenoides, llave térmica, conexiones eléctricas, pulsadores, luces led y el PLC), esto con el fin de evitar accidentes o descargas eléctricas que puedan alterar el funcionamiento del PLC.
- Se recomienda que cuando se instale el mencionado prototipo, en el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), se debe realizar en un lugar, el cual debe contar con un tomacorriente (220 VCA) y un grifo de agua para el llenado del reservorio.
- Se recomienda a los docentes que dictan los cursos de automatización de procesos químicos y mecánica de fluidos, motivar a los egresados que se sigan haciendo trabajos de tesis, en lo que concierne al diseño y construcción de equipos automatizados mediante la implementación de PLC, ya que de esta de esta manera se estaría contribuyendo a la implementación del mencionado laboratorio.

## CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- ARRIETA, Robinson y GONZÁLEZ, Frank. Tutorial básico para programación de PLC. Cartagena de Indias, Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Área de Automatización, 2003. 56 p.
- CARO, Edson. Gestión de la calidad en la producción de bebidas gasificadas de Embotelladora San Miguel del Sur S.A.C. - Planta Huaura. Informe de experiencia profesional para optar el título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Huacho, Perú: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, 2016. 41 p.
- 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. 95-96.
- 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, 5-9, 12-17, 66-79.
- FELDER, Richard y ROUSSEAU, Ronald. Principios elementales de los procesos químicos. 3a. ed. México: Limusa Wiley, 2004. 47 p.  
ISBN: 968-18-6169-8.
- FLÓREZ, Héctor. Diseño Lógico. Fundamentos en electrónica digital. 1a. ed. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U, 2010. pp. 45-47, 49, 68-69.  
ISBN: 978-958-994-900-9.
- JARA, Johnny y RAMOS, Jhon. Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica. Tesis para optar el título profesional de

Ingeniero Agrícola. Puno, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, 2018. pp. xi, 99-101.

- KAHN, Víctor y PINCHI, Ronald. Desarrollo de un módulo lógico programable para la simulación y el control automático del nivel de líquido en un tanque. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2013. pp. 11, 38, 48.
- LÓPEZ, Solangell y MENDIETA, Ignacio. Diseño, instalación y puesta en marcha de un equipo con PLC para la automatización de la operación de llenado de botellones en la planta de agua de la FIA-UNAP. Trabajo final de carrera para la obtención del título profesional de ingeniero en industrias alimentarias. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Industrias Alimentarias, 2014. pp. 2, 99-101.
- MAYA, Luis. Análisis del proceso de tinturado de tela para optimizar el tiempo de las operaciones en la empresa Lavatinte de la ciudad de Ambato. Seminario de Graduación 2010, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, 2011. pp. 64-65.
- MORRIS, M. Diseño digital. 3a. ed. México: Pearson Educación, 2003. 29 p. ISBN: 970-26-0438-9.
- MOTT, Robert L. Mecánica de fluidos. 7a. ed. México: Pearson Educación, S.A, de C.V., 2015. pp. 11, 118, 488. ISBN: 978-607-32-3288-3.
- RODRÍGUEZ, Julián, CERDÁ, Luis y BEZOS, Roberto. Automatismos Industriales. 1a. ed. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 2014. pp. 291-293, 295, 310, 313, 321-322, 327, 345-348, 350-351, 353, 358-359. ISBN: 978-84-9732-483-0.

# ANEXOS

**Anexo 1. Matriz de consistencia.**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál es el esquema de un prototipo para llenado de botellones con agua, que facilite realizar su construcción, instalación e implementación con un controlador lógico programable?</p> <p><b>Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es el diagrama ladder que permite realizar la simulación del llenado de botellones con agua?</li> <li>• ¿Cuántos son los elementos que tiene el diagrama ladder, que permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable?</li> <li>• ¿Cuál es la relación entre el estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable?</li> <li>• ¿Cuál es el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal?</li> </ul>	<p><b>Objetivo general</b> Construir, instalar e implementar con un controlador lógico programable, a un prototipo para llenado de botellones con agua.</p> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elaborar el diagrama ladder que permita realizar la simulación del llenado de botellones con agua.</li> <li>• Determinar cuántos son los elementos que tiene el diagrama ladder, que permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable.</li> <li>• Determinar la relación entre el estado de las entradas con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable.</li> <li>• Determinar el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.</li> </ul>	<p><b>Hipótesis general</b> Hacer previamente un esquema del prototipo para llenado de botellones con agua, permite realizar eficazmente su construcción, instalación e implementación con un controlador lógico programable.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El diagrama ladder permite realizar la simulación del llenado de botellones con agua.</li> <li>• La determinación de los elementos que tiene el diagrama ladder, permite calcular la cantidad de entradas y salidas que se utilizan en el controlador lógico programable.</li> <li>• El estado de las entradas está en relación con el estado de cada una de las salidas del controlador lógico programable.</li> <li>• El tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, está en relación con el volumen nominal.</li> </ul>	<p><b>Variables independientes</b></p> <p><b>En el control automático</b> I1, I2 e I3: estado de las entradas del PLC que se conectan a los pulsadores I1, I2 e I3.</p> <p><b>En la operación de llenado</b> <math>V_N</math>: volumen nominal.</p> <p><b>Variables dependientes</b></p> <p><b>En el control automático</b> Q1, Q2 y Q3: estado de las salidas físicas del PLC que se conectan a la válvula solenoide izquierda, a la electrobomba de llenado y la válvula solenoide derecha.</p> <p><b>En la operación de llenado</b> TT1 = TT2: tiempo de llenado</p>	<p>Abierto: 0</p> <p>Cerrado: 1</p> <p>L</p> <p>Apagado: 0</p> <p>Prendido: 1</p> <p>s</p>	<p><b>Tipo de investigación</b> La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional.</p> <p><b>Población y muestra</b></p> <p><b>En el control automático</b> la población lo constituyen la cantidad total de elementos del diagrama ladder, lo cual resulta ser igual a diecinueve (19). El tipo de muestreo es el no probabilístico a criterio o conveniencia de los investigadores, considerando para este caso que la muestra está conformada por la cantidad de salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) que se utilizan en el PLC; de esta manera, el tamaño de muestra es igual a tres (3).</p> <p><b>En la operación de llenado</b> Se ha considerado como muestra a tres (3) conjuntos de botellones, con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L. Entonces, de esta forma se ha determinado, que el tamaño de muestra para la operación de llenado es igual a diez (10).</p>

**Anexo 2.** Vistas de las pruebas de funcionamiento del prototipo para llenado de botellones con agua.



**Anexo 3.** Especificaciones técnicas de los componentes principales del prototipo para llenado de botellones con agua.

**Válvulas solenoides izquierda y derecha**

Marca: KLQD.

Modelo: 2W160-15-S-V.AC220.

Voltaje: 220 VAC.

Presión de fluido: 0 a 1.0 Mpa.

**Electrobomba de llenado**

Marca: Botts.

Voltaje: 220 VAC.

Potencia: 0.37 kW.

Caudal máximo: 40 L/min.

Altura dinámica máxima: 40 m.

Frecuencia: 60 Hz.

**Controlador lógico programable (PLC)**

Marca: Schneider Electric.

Modelo: Zelio SR2 B121FU.

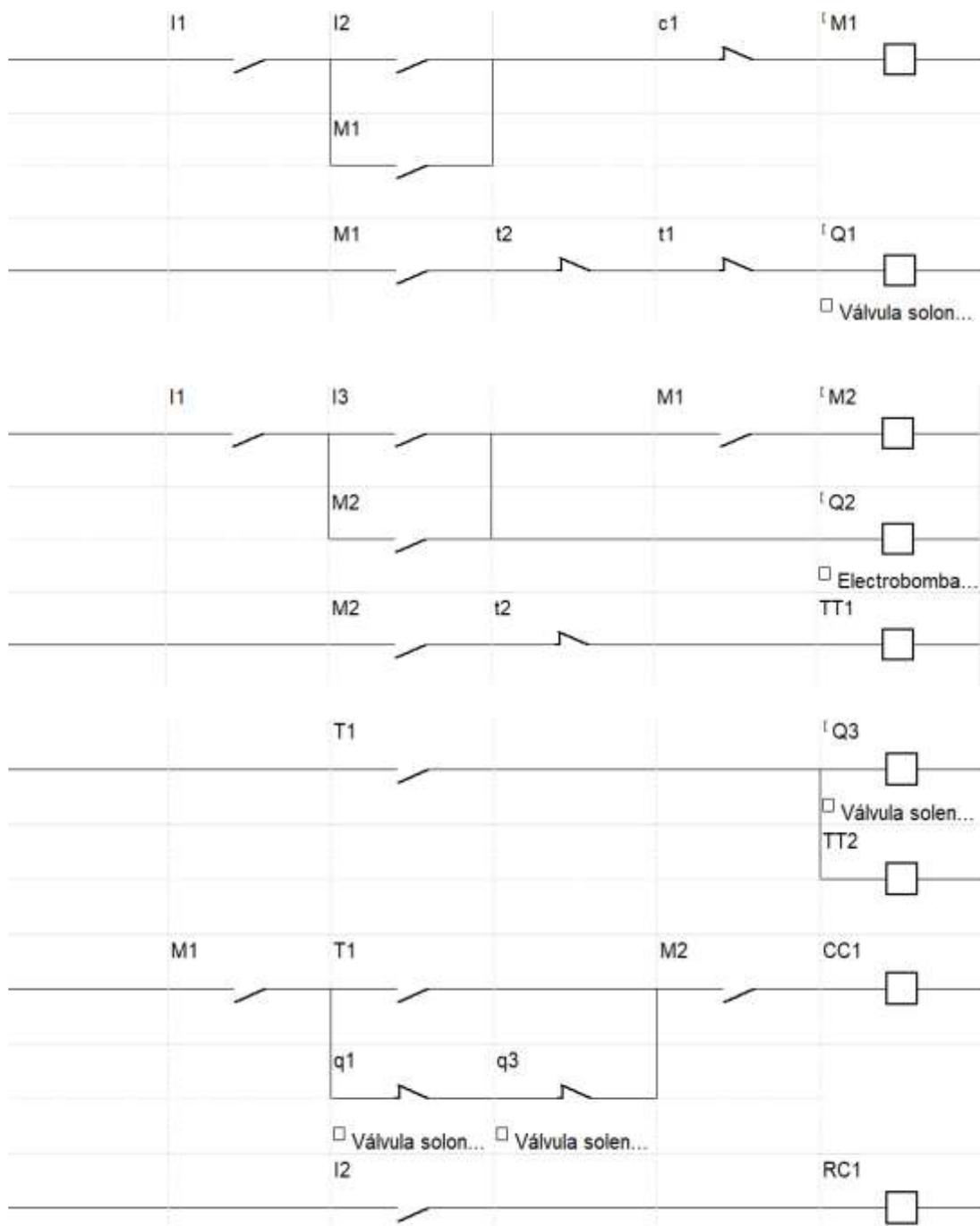
Alimentación: 100–240 VAC.

Entradas digitales = 8 (I1, ..., I8).

Salidas digitales = 4 (Q1, ..., Q4/relé de 8 A).

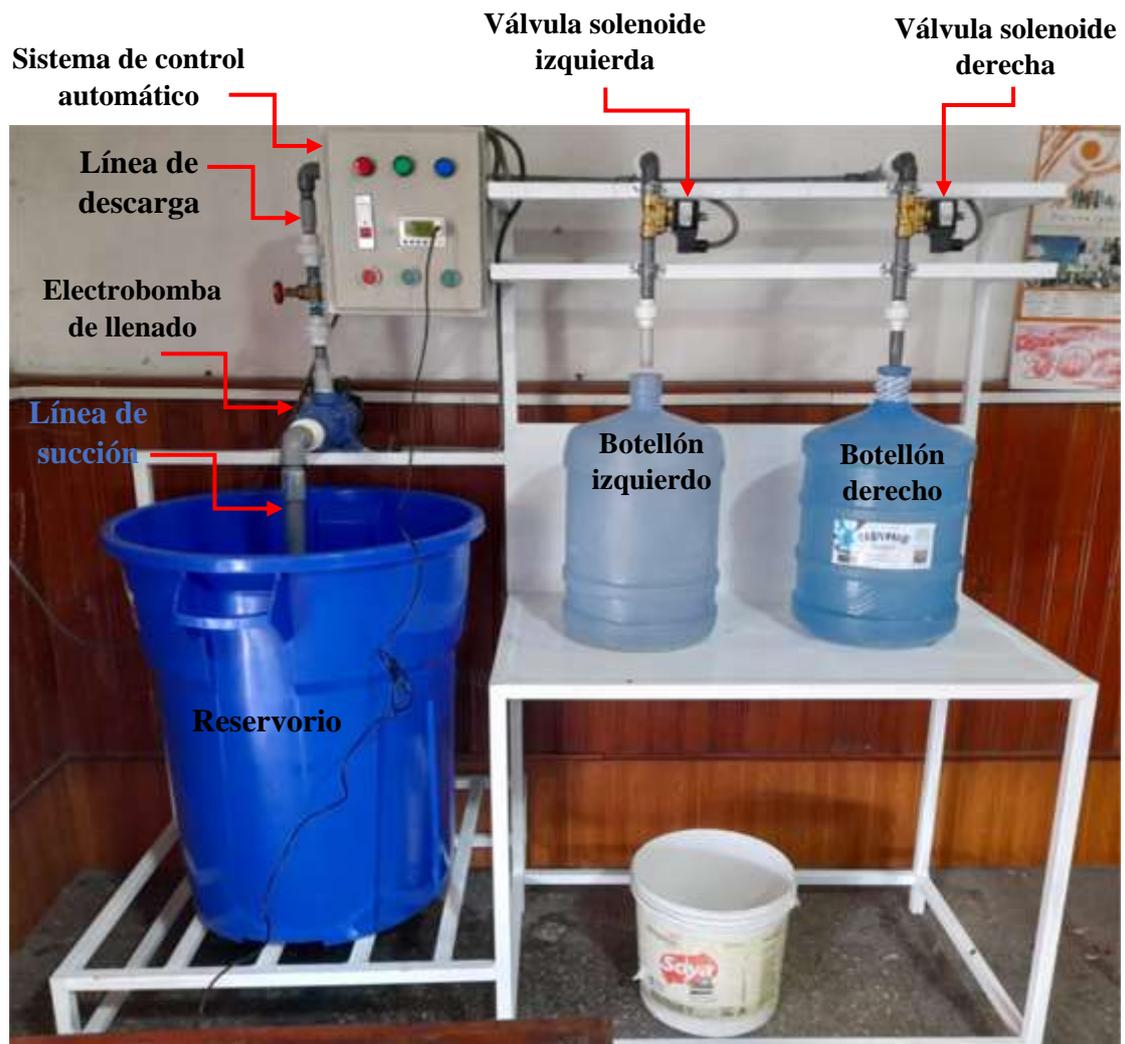
**Anexo 4.** Manual de instrucciones del prototipo para llenado de botellones con agua.

- **Prendido de la válvula solenoide izquierda (Q1).** Se realiza presionando el pulsador I2 (físicamente NA), de esta forma la marca M1 queda enclavada haciendo que su contacto respectivo se cierre y se prenda la válvula solenoide izquierda (Q1) (véase las figuras A1, A2 y A3).
- **Prendido de la electrobomba de llenado (Q2) y activación del temporizador TT1.** Se realiza presionando el pulsador I3 (físicamente NA), de esta manera la marca M2 queda enclavada haciendo que su contacto respectivo se cierre, se prenda la electrobomba de llenado (Q2) y se active el temporizador TT1 (véase las figuras A1, A2 y A3).
- **Prendido de la válvula solenoide derecha (Q3), activación del temporizador TT2 y conteo del contador CC1.** Se realiza en el mismo instante que el temporizador TT1, termina de contar el tiempo requerido para llenar el botellón izquierdo. De esta manera, el contacto cerrado t1 se abre apagando a la válvula solenoide izquierda (Q1), el contacto abierto T1 se cierra prendiendo a válvula solenoide derecha (Q3) y activando al temporizador TT2. Cada vez que se termina de llenar un botellón, el contador CC1 cuenta un impulso, el cual es enviado por los contactos T1, q1 y q3 (véase las figuras A1, A2 y A3).
- **Culminación de la operación de llenado, mediante la abertura del contacto c1.** La cantidad de botellones que se desee llenar, se puede programar en el contador CC1. De esta manera, cuando el conteo llegue al valor preestablecido, el contacto cerrado c1 se abrirá quitando el flujo de energía a todas las bobinas del circuito ladder (véase las figuras A1, A2 y A3).
- **Reseteo del contador CC1.** Este procedimiento se realiza con el fin de que el contador CC1, inicie nuevamente el conteo del valor preestablecido. Para esto, es suficiente presionar el pulsador I2 (físicamente NA), (véase la figura A1). En cualquier momento que se necesite detener la operación de llenado, se puede presionar el pulsador I1 (físicamente NC), para apagar a todas las bobinas del diagrama ladder.



**Figura A1.** Diagrama ladder para el control automático del llenado de botellones con agua.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura A2.** Imagen real del prototipo para llenado de botellones con agua.

Fuente: Elaboración propia.



Q1: está conectada en forma paralela a la luz led roja y a la válvula solenoide izquierda.

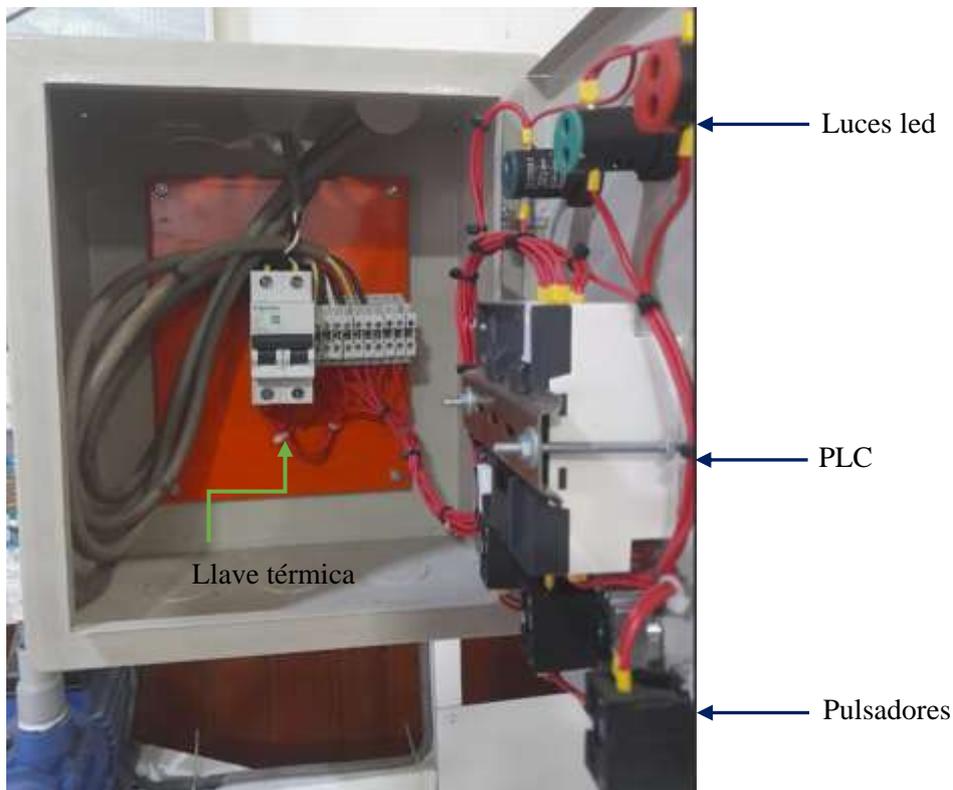
Q2: está conectada en forma paralela a la luz led verde y a la electrobomba de llenado.

Q3: está conectada en forma paralela a la luz led azul y a la válvula solenoide derecha.

Pulsador I1 (físicamente NC)

Pulsador I2 (físicamente NA)

Pulsador I3 (físicamente NA)



**Figura A3.** Imágenes reales del sistema de control automático.

Fuente: Elaboración propia.

- **Orden de conexiones de las salidas físicas del PLC.** Este orden se ha realizado, de acuerdo a lo que se indica en la figura A3, es decir:  
 Q1: está conectada en forma paralela a la luz led roja y a la válvula solenoide izquierda.  
 Q2: está conectada en forma paralela a la luz led verde y a la electrobomba de llenado.  
 Q3: está conectada en forma paralela a la luz led azul y a la válvula solenoide derecha.
- **Determinación del tiempo requerido para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.** Para determinar el tiempo que se requiere para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal, se puede programar la ecuación (A1) en Microsoft Excel 2019, esta es:

$$TT1 = TT2 = \frac{V_N}{Q_{PPE}}. \quad (A1)$$

Donde:

TT1 = tiempo que se mantendrá prendida la válvula solenoide izquierda, s.

TT2 = tiempo que se mantendrá prendida la válvula solenoide derecha, s.

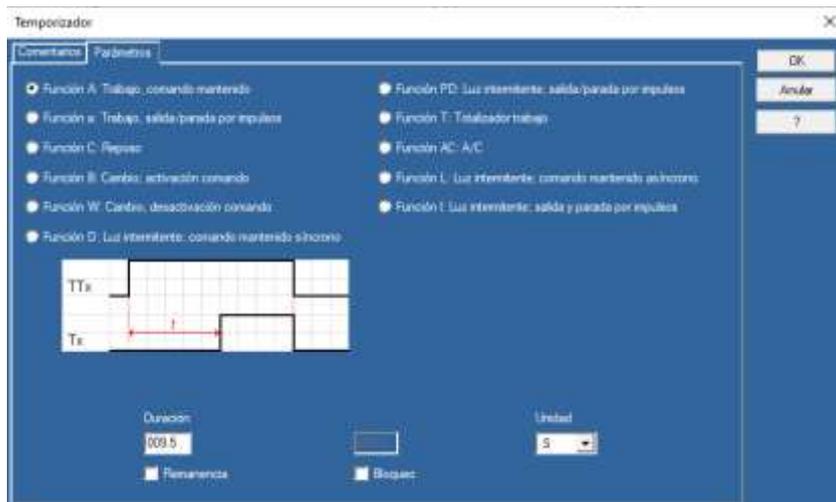
$V_N$  = volumen nominal, L.

$Q_{PPE}$  = caudal producido por la electrobomba de llenado, 0.472 L/s.

Por ejemplo, para llenar un botellón con un volumen nominal igual 4.8 L, el cálculo de TT1 y TT2 es:

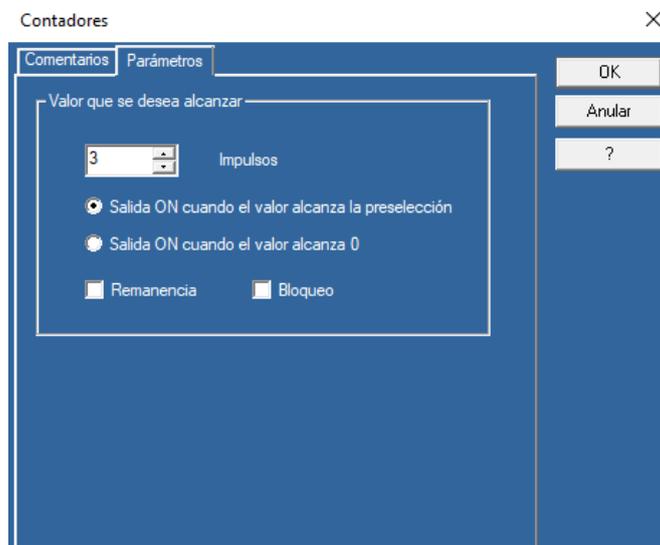
$$TT1 = TT2 = \frac{V_N}{Q_{PPE}} = \frac{4.8 \text{ L}}{0.472 \text{ L/s}} = 9.5 \text{ s.}$$

- **Programación del tiempo requerido para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.** La programación de este tiempo, se realiza escribiendo los valores de TT1 y TT2 en las respectivas ventanas de parámetros, tal como se indica en la figura A4.
- **Programación de la cantidad de botellones a llenar.** Esta cantidad se debe escribir en la ventana de parámetros del contador CC1, tal como se muestra en la figura A5.



**Figura A4.** Programación del tiempo requerido para llenar un botellón con agua, de acuerdo a su volumen nominal.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura A5.** Programación de la cantidad de botellones a llenar.

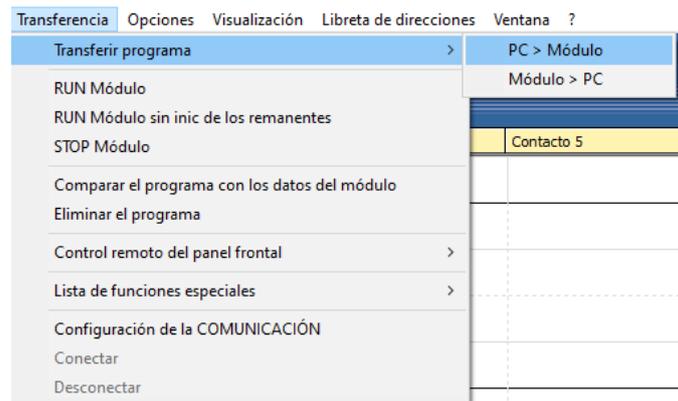
Fuente: Elaboración propia.

- **La transferencia de un programa.** Para realizar este procedimiento, previamente se debe conectar la interfaz de comunicación o cable de transferencia de datos entre una PC (computadora personal) y el PLC Zelio. La interfaz de comunicación cuenta con dos puertos: COM y USB (figura A6), los cuales se conectan al PLC y a la PC, respectivamente. La transferencia de datos de la PC al PLC Zelio, se inicia volviendo al modo edición y luego se elige el menú Transferencia. Seguidamente se accede a la opción Transferir programa (véase la figura A7).



**Figura A6.** Interfaz de comunicación entre una computadora y el PLC.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura A7.** Transferencia de datos de una PC al PLC Zelio.

Fuente: Elaboración propia.

Para mayor detalle, se recomienda revisar desde la sección 3.1, hasta la sección 3.4 del informe final.