



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL LLENADO DE BOTELLONES EN LA PLANTA
DE AGUA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA
MEDIANTE UN SISTEMA AUTOMATIZADO**

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

PRESENTADO POR:

JOSÉ JAVIER FERRY MARTÍNEZ

KEILA MELISSA VARGAS PEÑA

ASESORES:

Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.

Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.

IQUITOS, PERÚ

2024



UNAP

**Facultad de Ingeniería Química
Unidad de Investigación**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 030-CGT-FIQ-UNAP-2024

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 18 días del mes de Diciembre de 2024, a horas 11:05, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"OPTIMIZACIÓN DEL LLENADO DE BOTELLONES EN LA PLANTA DE AGUA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA MEDIANTE UN SISTEMA AUTOMATIZADO"**, aprobado con Resolución Decanal N° 327-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **José Javier Ferry Martínez y Keila Melissa Vargas Peña**, 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° 318-2024-FIQ-UNAP está integrado por:

Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.	Miembro
Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro.	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 12:00 se dio por terminado el acto de Sustentación

[Signature]
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.
Presidente de Jurado

[Signature]
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.
Miembro

[Signature]
Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro.
Miembro

[Signature]
Ing. VÍCTOR GARCÍA PÉREZ, Dr.
Asesor

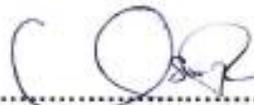
[Signature]
Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Asesor



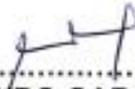
JURADO Y ASESOR



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



.....
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.
Miembro



.....
Ing. MATSEN ROLANDO GARCÍA NAVARRO, Mtro.
Miembro



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



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

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD



Página 1 of 70 - Portada

Identificador de la entrega trn:oid::20208.418636056

FERRY MARTINEZ / VARGAS PEÑA

FIQ_TESIS_FERRY MARTINEZ_VARGAS PEÑA.pdf

- 16-20DIC
- 16-20DIC
- Universidad Nacional De La Amazonia Peruana

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::20208.418636056

Fecha de entrega

24 dic 2024, 10:09 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

26 dic 2024, 10:51 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

FIQ_TESIS_FERRY MARTINEZ_VARGAS PEÑA.pdf

Tamaño de archivo

1.8 MB

66 Páginas

14,006 Palabras

67,521 Caracteres



Página 2 of 70 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::20208.418636056

26% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 25% Fuentes de Internet
- 1% Publicaciones
- 17% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**
121 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, por brindarme su guía y fortaleza en cada paso de este recorrido. A mi madre, Rosa Ludith Martínez Queija, por su ingenio y apoyo incondicional. A mi hermana, Saby Ximena Barrera Martínez, por ser mi principal fuente de motivación. A mi padre, Javier Noé Ferry Malafaya, por ser un ejemplo de perseverancia y fortaleza. A mi pareja, María Castañeda, por su amor y comprensión. A mi amiga, Keila Vargas, por su acompañamiento y aliento en cada desafío académico y profesional. Y, finalmente, a todas las personas, entre familiares, colegas que son ahora, compañeros que se hicieron parte de mi entorno social, que han sido parte de esta etapa en mi desarrollo como profesional.

José Javier Ferry Martínez

A mis valientes padres Weider Vargas y Robertina Peña. Este progreso académico es el símbolo del constante esfuerzo que han invertido para brindarme una educación de calidad. Cada sacrificio que han hecho, cada día de trabajo duro y cada decisión que tomaron en mi nombre son el fundamento de mi éxito. Esta tesis es un testimonio de su sacrificio y amor y me llena de orgullo honrarlos de esta manera.

Keila Melissa Vargas Peña

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que han contribuido a la realización de esta tesis. A mi familia por su guía, por sus valiosos consejos. Su aliento ha sido fundamental en cada paso. Estoy profundamente agradecido por cada aportación moral, económico y emocional de cada persona que conocí en el transcurso de estos años de carrera, por la oportunidad de crecer personalmente y profesionalmente.

José Javier Ferry Martínez

Agradezco a mis hermanos Rocío Vargas, Luz Vargas y Alexander Vargas; muchas gracias a ustedes por demostrarme que “el verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere”.

Mi gratitud también a la Facultad de Ingeniería Química, mi agradecimiento sincero a mis asesores los ingenieros Víctor García Pérez y Fernando Javier Salas Barrera y a mi compañero de tesis JJFM por su responsabilidad. Gracias infinitas a todos los que contribuyeron en este logro (BDAC, VEBN, CAVY, CLGM, LLAM).

Keila Melissa Vargas Peña

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	6
1.2.1. El PLC	6
1.2.2. Arquitectura básica de un PLC	6
1.2.3. Lenguajes utilizados en la programación de un PLC	8
1.2.4. Dispositivos básicos empleados en la programación de un PLC	9
1.2.5. Prendido de una bobina interna del PLC mediante la retención de su contacto	13
1.2.6. Ambiente del software LOGO!Soft Comfort V6.1	14
1.2.7. Electroválvula	27
1.2.8. Electrobomba	27
1.3. Definición de términos básicos	28
1.3.1. Variables del sistema automatizado	28
1.3.2. Variables y parámetros del llenado de botellones	29
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	32
2.1. Formulación de la hipótesis	32
2.2. Variables y su operacionalización	32
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	35
3.1. Tipo y diseño	35
3.1.1. Propuesta para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP	37
3.1.2. Elaboración del algoritmo de control	40
3.1.3. Relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas	

del PLC	47
3.1.4. Acoplamiento eléctrico para el PLC	50
3.1.5. Implementación del sistema automatizado para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP	51
3.2. Diseño muestral	52
3.3. Procedimientos de recolección de datos	53
3.4. Procesamiento y análisis de datos	56
3.5. Aspectos éticos	57
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	58
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	62
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	63
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	64
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	65
ANEXOS	67
Anexo 1. Matriz de consistencia	68
Anexo 2. Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP	69
Anexo 3. Especificaciones técnicas de los componentes principales del sistema automatizado	70
Anexo 4. Instructivo para el uso del sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP	71
Anexo 5. Algoritmo de control	75

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Dispositivos básicos empleados en la programación de un PLC	10
Tabla 2. Operacionalización de las variables en el control automático	33
Tabla 3. Operacionalización de las variables en el llenado de botellones	34
Tabla 4. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 1	54
Tabla 5. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 2	54
Tabla 6. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 3	55
Tabla 7. Masa de agua en cada uno de los veinte botellones utilizados	58
Tabla 8. Tiempo de llenado para cada uno de los veinte botellones utilizados	59
Tabla 9. Situación de la electroválvula 1 en relación a la condición de los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$	60
Tabla 10. Situación de la electrobomba en relación a la condición del contacto M2	60
Tabla 11. Situación de la electroválvula 2 en relación a la condición de los contactos T001 y $\overline{T002}$	61
Tabla 12. Situación de la electroválvula 3 en relación a la condición de los contactos T002 y $\overline{T003}$	61

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Arquitectura básica de un PLC	7
Figura 2. Representación de la compuerta AND mediante un diagrama ladder	9
Figura 3. Representación de la compuerta AND mediante un BDF	9
Figura 4. Representación de la compuerta AND mediante lista de instrucciones	9
Figura 5. Representación de la compuerta AND mediante un texto estructurado	9
Figura 6. Contacto normalmente abierto	10
Figura 7. Contacto normalmente cerrado	11
Figura 8. Representación de la bobina tipo Set	11
Figura 9. Representación de la bobina tipo Reset	11
Figura 10. Diagrama ladder para la activación de $Y1$ e $Y2$, mediante el temporizador $T001$	12
Figura 11. Prendido de la bobina $B1$ mediante la retención de su contacto	14
Figura 12. LOGO!Soft Comfort V6.1	15
Figura 13. Icono para crear un nuevo programa en LOGO!Soft Comfort V6.1	15
Figura 14. Interfaz de usuario del software LOGO!Soft Comfort V6.1	16
Figura 15. Barra de menús del software LOGO!Soft Comfort V6.1	17
Figura 16. Vista general de la barra de herramientas “Herramientas”	17
Figura 17. Vista general de la barra de herramientas “Estándar”	18
Figura 18. Vista de la herramienta de selección	19
Figura 19. Uso de la herramienta de selección	19
Figura 20. Vista de la herramienta de texto	20
Figura 21. Uso de la herramienta de texto	20
Figura 22. Icono de la herramienta de conexiones	20
Figura 23. Uso de la herramienta de conexiones	21
Figura 24. Uso del comando Conectar con bloque	21
Figura 25. Icono de la herramienta de constantes y conectores	22
Figura 26. Vista general de constantes y conectores	22
Figura 27. Icono que representa a la herramienta Funciones básicas	23
Figura 28. Vista general de la herramienta Funciones básicas	23
Figura 29. Icono que representa a la herramienta Funciones especiales	23
Figura 30. Vista general de la herramienta Funciones especiales	24
Figura 31. Icono que representa a la herramienta simulación	25

Figura 32. Barra de Simulación	25
Figura 33. Icono que representa a la herramienta Test online	26
Figura 34. Electroválvula	27
Figura 35. Electrobomba	28
Figura 36. Esquema del diseño de investigación para el control automático	35
Figura 37. Esquema del diseño de investigación para el llenado	36
Figura 38. Propuesta para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP	39
Figura 39. Verificación del prendido de la electroválvula 1	42
Figura 40. Prendido de la electrobomba de llenado y del temporizador T001	43
Figura 41. Prendido de la electroválvula 2 y del temporizador T002	44
Figura 42. Prendido de la electroválvula 3 y del temporizador T003	45
Figura 43. Programación y reseteo del contador C004	46
Figura 44. Acoplamiento eléctrico para el PLC	50
Figura 45. Imagen real del sistema automatizado: PLC, leds, pulsadores y llave térmica	51
Figura 46. Imagen real del sistema automatizado completo	52
Figura 47. Transferencia de datos de una PC al PLC LOGO! de Siemens	57

RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo general: optimizar el llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, para lo cual se implementó un sistema automatizado, el mismo que está conformado por 3 electroválvulas, una electrobomba, un PLC, 3 pulsadores, 4 leds y una llave térmica con su enchufe bipolar. El PLC utilizado es de la marca Siemens (LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6), cuya programación se realizó mediante el software LOGO!Soft Comfort V6.1, la cual consistió en elaborar un algoritmo de control conformado por 28 elementos: 3 bobinas internas, 4 salidas, 3 temporizadores, 17 contactos y un contador. Para verificar si el sistema automatizado funciona eficientemente, se seleccionaron 20 botellones, los cuales tuvieron un volumen teórico de 19 L. Los caudales generados por la electrobomba de llenado a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, resultaron: 0.617 L/s, 0.633 L/s y 0.632 L/s, respectivamente. En el mismo orden, los tiempos que tuvieron que estar prendidas las electroválvulas 1, 2 y 3, para llenar a los botellones, resultaron: 30.8 s, 30.0 s y 30.1 s. En los veinte botellones, la diferencia entre el volumen teórico con el volumen experimental no superó al 2 % del volumen teórico; comprobándose de este modo que la eficiencia de dicho sistema es mayor del 98 % y por tanto el llenado de botellones es óptimo. De esta manera, se concluyó la presente tesis, lográndose el objetivo general y probándose la hipótesis correspondiente.

Palabras clave: sistema automatizado, algoritmo de control, volumen teórico, volumen experimental, caudal, tiempo de llenado.

ABSTRACT

This thesis had as its general objective: to optimize the filling of bottles in the Water Plant of the Faculty of Chemical Engineering of the National University of the Peruvian Amazon, for which an automated system was implemented, consisting of 3 electrovalves, an electropump, a PLC, 3 pushbuttons, 4 leds, and a thermal switch with its bipolar plug. The PLC used is the Siemens (LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6), whose programming was done using the LOGO!Soft Comfort V6.1 software, which consisted of developing a control algorithm consisting of 28 elements: 3 internal coils, 4 exits, 3 timers, 17 contacts, and a counter. To verify if the automated system works efficiently, 20 bottles were selected, which had a theoretical volume of 19 L. The flows generated by the filling electropump through electrovalves 1, 2, and 3 were: 0.617 L/s, 0.633 L/s, and 0.632 L/s, respectively. In the same order, the times that electrovalves 1, 2, and 3 had to be turned on to fill the bottles were: 30.8 s, 30.0 s, and 30.1 s. In the 20 bottles, the difference between the theoretical volume and the experimental volume did not exceed 2 % of the theoretical volume; thus proving that the efficiency of the system is greater than 98 % and therefore the filling of bottles is optimal. This thesis concludes by achieving the general objective and proving the corresponding hypothesis.

Keywords: automated system, control algorithm, theoretical volume, experimental volume, flow, filling time.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la aplicación del control automático a los procesos industriales ha tenido un avance importante, debido al uso de los controladores lógicos programables (PLC), siendo estos necesarios para controlar automáticamente el funcionamiento de los equipos que forman parte de un proceso industrial. Actualmente, el profesional que se dedica a la automatización de procesos industriales, requiere tener capacidades en la programación de controladores lógicos y en materias como operaciones y procesos unitarios, termodinámica y matemática computacional.

Un controlador lógico programable, tiene la abreviación en inglés PLC (Programmable Logic Controller) y es una computadora con gran performance que es utilizada ampliamente para automatizar los procesos industriales, lo cual implica que se controle de forma eficiente el funcionamiento de los diferentes equipos que intervienen en los procesos industriales.

La Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), cuenta con una planta de agua de mesa, en la cual para llenar los botellones el operador tenía que abrir y cerrar las válvulas de forma manual, de modo que dicha planta no estaba acorde a los avances tecnológicos referidos a la automatización de procesos industriales, que en la actualidad diversas empresas dedicadas a la producción de bebidas si cuentan con sistemas automatizados para la operación de llenado de botellones. Asimismo, es importante recalcar que los equipos automatizados con los que cuenta la FIQ-UNAP en la actualidad, no alcanzan para que todos los estudiantes puedan realizar las prácticas del mencionado curso, generando de este modo una debilidad en las competencias que deben adquirir con respecto a la programación de controladores lógicos.

En relación a lo indicado en los párrafos anteriores, es que, en el presente trabajo de tesis se plantea la siguiente interrogante general: ¿cómo se realiza la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana?

En consecuencia, se enuncian a continuación los problemas específicos:

Problemas específicos

- ¿Cuál es el algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana?
- ¿Existe alguna relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC?
- ¿Cómo se evalúa el tiempo de llenado de cada botellón con agua?

De esta forma, en el mismo orden de ideas en relación con el problema general y los problemas específicos, se fundamentan el objetivo general y los objetivos específicos:

Objetivos

Objetivo general

Optimizar el llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Objetivos específicos

- Elaborar el algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Determinar la relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.
- Evaluar el tiempo de llenado de cada botellón con agua.

La importancia del presente trabajo, consiste en que será un aporte a la implementación de la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), creando de esta manera un nuevo centro de producción en dicha facultad, lo cual podría generar ingresos propios para ser invertido en la mejora de las condiciones de aprendizaje de los diferentes cursos de

ingeniería. Además, es preciso mencionar que la automatización de la operación de llenado de botellones en dicha planta, traerá los siguientes beneficios:

- Minimizar la intervención humana y maximizar la eficiencia en el uso de recursos como el agua y la energía, lo que a su vez disminuirá la generación de desperdicios y conllevará a una operación más eficiente y rentable de la planta.
- Garantizar que el agua se llene en los botellones con la cantidad adecuada y de manera uniforme, lo cual es crucial para mantener altos estándares de calidad y cumplir con las normativas sanitarias y de seguridad.

Asimismo, es preciso dar a conocer, que este documento, consta de ocho (8) capítulos, los mismos que se indican seguidamente:

- 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

- En el año 2024, efectuaron el trabajo de tesis con enfoque cuantitativo de tipo aplicada, cuyo propósito general fue construir e instalar un prototipo para el envasado y sellado de agua de mesa eficiente automatizado con Arduino, para lo cual hicieron el diseño de un circuito eléctrico, lo cual lo simularon mediante el programa Proteus 8 Profesional. La programación del controlador Arduino, lo realizaron con el programa C⁺⁺. En este trabajo, consideraron como población a las diferentes pruebas de funcionamiento que se pueden realizar en el mencionado prototipo; sin embargo, como muestra incluyeron a diez (10) botellones con agua, los cuales tuvieron un volumen nominal de 19.78 L. Los resultados indicaron que, el diferencial menor y mayor entre el volumen de etiqueta y el volumen experimental fueron: 0.91 % y 2.63 %, respectivamente, por lo cual indicaron que la operación de llenado es 98.27 % eficiente. De este modo, concluyeron que el Arduino puede ser utilizado como controlador en diversos procesos de manufactura y a su vez dieron a conocer que cumplieron con el objetivo general de la presente tesis (Díaz y Morey, 2024, pp. x, 1-52).
- El año 2023, se ha desarrollado el trabajo de tesis con enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño correlacional, cuyo objetivo general fue construir, instalar e implementar con un controlador lógico programable (PLC), a un prototipo para llenado de botellones con agua, para lo cual revisaron los distintos lenguajes que se utilizan en la programación de un controlador lógico. El sistema automatizado de dicho prototipo, estaba conformado por los siguientes componentes: un controlador lógico programable (PLC), tres pulsadores (I1, I2 e I3) que se conectaron correspondientemente a las entradas 1, 2 y 3 del PLC, tres luces led (Q1, Q2 y Q3) que se enlazan respectivamente a las salidas físicas 1, 2 y 3 del PLC, una llave térmica, un enchufe bipolar, dos válvulas solenoides (izquierda y derecha) y una electrobomba. En este trabajo se incluyó dos (2) poblaciones de estudio, conforme a las operaciones realizadas: control automático y llenado de botellones con agua, las mismas que fueron compuestas por diecinueve (19) elementos de un diagrama ladder (2 bobinas internas, 3 salidas físicas, 11

contactos, 1 contador y 2 temporizadores) y las diversas pruebas de llenado que se puedan llevar a cabo en el mencionado prototipo. En el control automático, las muestras lo seleccionaron a juicio de los investigadores, las mismas que fueron: 3 salidas físicas del PLC, las cuales se conectaron a la válvula solenoide izquierda, la electrobomba de llenado y la válvula solenoide derecha, respectivamente. De la misma forma, en el llenado de botellones con agua, a juicio de los investigadores seleccionaron a diez (10) botellones, la cual fue conformada por tres (3) grupos con los siguientes volúmenes nominales: cinco (5) de 3.8 L, dos (2) de 4.5 L y tres (3) de 20 L, de los cuales resultaron los siguientes tiempos de llenado: 8.1 s, 9.5 s y 42.4 s, respectivamente. Los resultados que obtuvieron en los diez (10) botellones, con respecto a la diferencia menor y mayor entre el volumen teórico y el volumen experimental fueron: 0.342 % y 2.000 %, respectivamente, lo cual reveló que dicha diferencia es menor o igual del 2 % del volumen nominal, mostrándose de este modo que dicho prototipo funciona de forma eficiente. Entonces, de este modo culminaron este trabajo, llegando a cumplir cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general (Chong y Ferreyra, 2023, pp. xii, 1-72).

- El año 2022, desarrollaron el trabajo de tesis con enfoque cuantitativo, nivel aplicativo y diseño correlacional, cuyo objetivo general fue diseñar, construir e instalar un prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas. En este trabajo, primeramente, diseñaron un esquema del prototipo automatizado, describiendo de este modo a cada uno de sus componentes, los cuales fueron: cuatro electrobombas y un controlador lógico programable (PLC) de la marca Siemens y modelo LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6. Después, realizaron el diseño y simulación del circuito eléctrico (diagrama ladder) en el PLC, con la finalidad de comprobar el prendido y apagado de las salidas físicas acorde a lo diseñado; con lo cual pudieron evaluar el número de entradas y salidas físicas que utilizaron en el PLC, en donde usaron el software LOGO! Soft Comfort V6.1. Como población de estudio incluyeron a todos los elementos del circuito eléctrico, lo cual estuvo conformado por 3 bobinas internas, 4 salidas físicas, 19 contactos y 3 temporizadores, resultado en total veintinueve (29). Como muestra consideraron

a las 4 salidas físicas del PLC, las cuales se conectaron a las cuatro electrobombas. Finalmente, efectuaron siete (7) pruebas de funcionamiento del prototipo, resultando cero (0) el residuo del tiempo de funcionamiento de las cuatro electrobombas, por lo cual concluyeron que el PLC tiene una eficiencia del 100 %, mostrando a su vez que cumplieron con cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general (Del Águila y Haquiwara, 2022, pp. xii, 1-79).

1.2. Bases teóricas

1.2.1. El PLC

La abreviatura PLC tiene su origen en las palabras en inglés Programmable Logic Controller, lo cual al traducirse al español se interpreta como “Controlador Lógico Programable”. El PLC es una computadora, cuya función principal es controlar los procesos industriales en tiempo real, de acuerdo a un conjunto de órdenes (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 5-6; Del Águila y Haquiwara, 2022, pp. 5-6). Todo PLC tiene un programa computacional para su sistematización, con la ayuda del mismo se lleva a cabo la simulación de un proceso industrial antes de implementarse, lo cual hace que se optimice los costos de operación de los equipos (Gómez y Huayas, 2024, pp. 5-6).

1.2.2. Arquitectura básica de un PLC

Gómez y Huayas (2024, p. 6), hacen referencia que un PLC, tiene en su arquitectura básica los siguientes componentes:

- **Fuente de alimentación**

Lo representan los bornes L y N, mediante los cuales se suministra el voltaje para el adecuado trabajo de cada uno de los componentes del PLC. Así, en la figura 1, se muestra un PLC que trabaja en un rango de voltaje de 115 – 240 VAC (voltaje de corriente alterna) (Chong y Ferreyra, 2023, p. 14).

- **Unidad central de procesamiento (CPU)**

También se conoce como el cerebro del PLC, ya que tiene como funciones analizar y ejecutar el conjunto de instrucciones que se realizan en la programación de un PLC (Gómez y Huayas, 2024, p. 6; Chong y Ferreyra, 2023, p. 14).

- **Entradas**

Normalmente las entradas de un PLC están situadas en la parte de arriba, las cuales pueden ser analógicas y digitales, cuya simbolización es mediante las letras A e I, respectivamente (Chong y Ferreyra, 2023, p. 14; Dávila y Grández, 2024, p. 13). Del mismo modo que los bornes L y N, en la figura 1, se puede ver un PLC que tiene ocho (8) entradas digitales, las cuales se simbolizan por: I1, I2, ..., I8.

- **Salidas físicas**

Habitualmente las salidas físicas de un PLC están situadas en la parte de abajo, las mismas que se simbolizan con la letra Q (Chong y Ferreyra, 2023, p. 14; Gómez y Huayas, 2024, p. 6). También en la figura 1, se puede observar que dicho PLC posee cuatro salidas físicas, las cuales están simbolizadas por: Q1, Q2, Q3, Q4.

- **Conector de programación**

Se representa por un puerto de comunicación tipo COM, mediante el cual se establece comunicación entre el PLC y una PC, haciendo posible la transferencia de datos desde una PC al PLC, lo cual también permite que se controle en forma remota a los diferentes equipos que son parte de un proceso industrial (Chong y Ferreyra, 2023, p. 14).

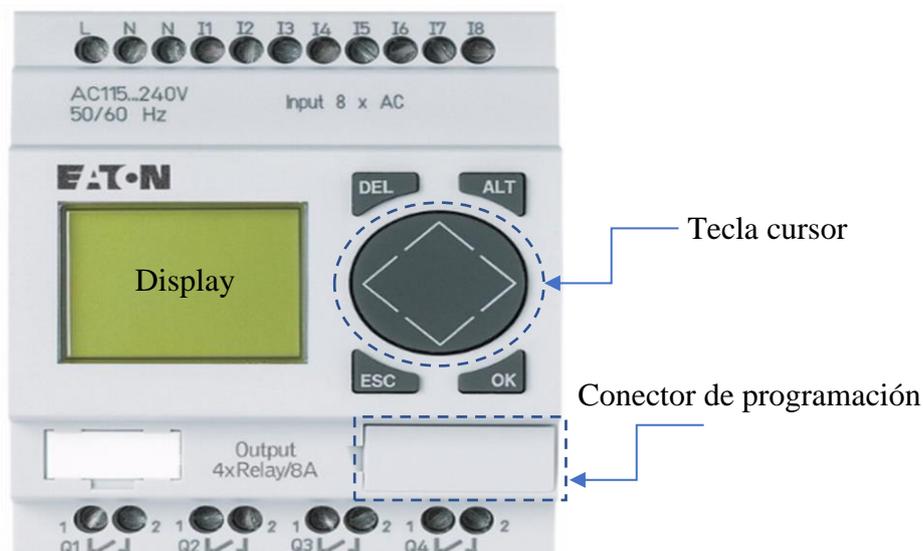


Figura 1. Arquitectura básica de un PLC.

Fuente: Tomado de Chong y Ferreyra, 2023, p. 6.

Además, el PLC posee la tecla cursor o direccional y un display o pantalla digital en la cual se pueden visualizar los programas.

Cabe mencionar, que en las entradas del PLC se conectan sensores, pulsadores o interruptores; esto es, cualquier dispositivo que logre generar una señal. En las salidas del PLC se conectan a los actuadores, los mismos que pueden ser: motores, válvulas solenoides, lámparas, etc.) (Dávila y Grández, 2024, p. 13).

1.2.3. Lenguajes utilizados en la programación de un PLC

Existen varios lenguajes que se usan para la programación de un PLC; los cuales dependen de la marca y el modelo del PLC; sin embargo, en la actualidad las diferentes marcas se han ido adecuando a la norma IEC 1131-3, la cual ha hecho posible la unificación de los criterios para programar del mismo modo a cualquier PCL (Chong y Ferreyra, 2023, p. 11; Gómez y Huayas, 2024, p. 7).

Rodríguez, Cerdá y Bezos (2022, p. 322), dan a conocer que hay cuatro lenguajes que se utilizan en la programación de un PLC, de los cuales dos de ellos son de tipo gráfico y los otros dos tipo texto estructurado.

Tipo gráfico

- Diagrama ladder o diagrama de contactos (KOP).
- Diagrama de bloques funcionales, también conocido como (BDF), o también lenguaje de bloques lógicos (FUP).

Tipo texto

- Lista de ordenes o comandos (Instruction List).
- Texto estructurado (Structured Text).

En las figuras 2, 3, 4 y 5, se indican correspondientemente la representación de una compuerta AND, mediante un diagrama ladder, un diagrama de bloques funcionales, una lista de instrucciones y un texto estructurado. Dichas figuras, indican que los contactos $X1$ y $X2$ se encuentran acoplados en serie, lo cual respeta la operación de multiplicación. En consecuencia, la situación de la salida Y , es el resultado de dicha operación. Entonces, de esta forma, la representación matemática de dichas figuras es:

$$X1 * X2 = Y. \tag{1}$$

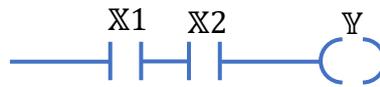


Figura 2. Representación de la compuerta AND mediante un diagrama ladder.

Fuente: Modificado de Gómez y Huayas, 2024, p. 8.



Figura 3. Representación de la compuerta AND mediante un BDF.

Fuente: Modificado de Gómez y Huayas, 2024, p. 8.

LD	X1
AND	X2
ST	Y

Figura 4. Representación de la compuerta AND mediante lista de instrucciones.

Fuente: Modificado de Gómez y Huayas, 2024, p. 8.

$$Y = X1 \text{ AND } X2.$$

Figura 5. Representación de la compuerta AND mediante un texto estructurado.

Fuente: Modificado de Gómez y Huayas, 2024, p. 8.

1.2.4. Dispositivos básicos empleados en la programación de un PLC

En la programación de cualquier PLC, se emplean diferentes dispositivos tales como switches, temporizadores, bobinas internas y contadores, los cuales pueden ser simbolizados por contactos y bobinas. Una bobina simboliza a una salida física del PLC, y su situación es el resultado de la condición de cada uno de los contactos que le preceden. Por ejemplo, en referencia a las figuras 2 y 3, se puede observar que la salida física Y se encontrará activada o prendida, siempre y cuando los contactos X1 y X2 se

encuentren cerrados.

Es preciso mencionar que el estado o situación de la bobina Y puede ser prendido o apagado, los cuales se representan matemáticamente por los valores 1 y 0, respectivamente. Del mismo modo, la condición de los contactos puede ser abierto o cerrado, los mismos que se representan por las cantidades 0 y 1, respectivamente.

A continuación, en la siguiente tabla, se dan a conocer los dispositivos más empleados en la programación de un PLC.

Tabla 1. Dispositivos básicos empleados en la programación de un PLC.

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

Fuente: Tomado de Chong y Ferreyra, 2023, p. 12.

- **Contacto normalmente abierto (NA)**

Este contacto cuando se encuentra en su condición natural, no concede el flujo de energía (Chong y Ferreyra, 2023, p. 28). Su simbolización tanto física como en el programa de simulación del PLC, se muestran en la figura 6.

En el programa de simulación del PLC

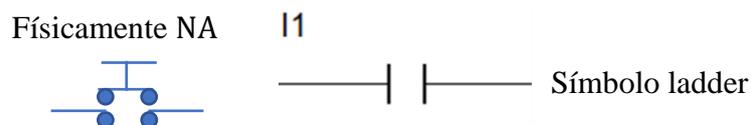


Figura 6. Contacto normalmente abierto.

Fuente: Tomado de Chong y Ferreyra, 2023, p. 12.

- **Contacto normalmente cerrado (NC)**

Es aquel contacto, que cuando se encuentra en su condición natural, si concede el flujo de energía (Chong y Ferreyra, 2023, p. 28; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 14). Su simbolización tanto física como en el programa de simulación del PLC, se muestran en la figura 7.

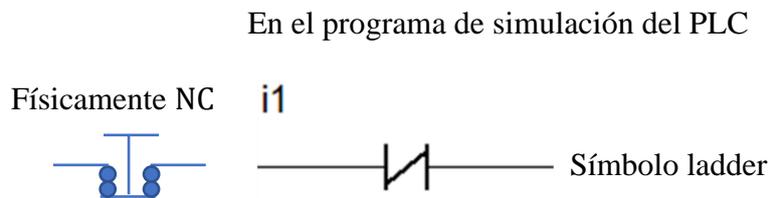


Figura 7. Contacto normalmente cerrado.

Fuente: Modificado de Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 14.

- **Bobina tipo Set**

Este elemento al recibir una señal se enciende y se apaga en el momento que esta desaparece (Gómez y Huayas, 2024, p. 10).



Figura 8. Representación de la bobina tipo Set.

Fuente: Gómez y Huayas, 2024, p. 10.

- **Bobina tipo Reset**

Al prenderse esta bobina, solo se podrá apagarla por su respectiva bobina Reset (Gómez y Huayas, 2024, p. 10). Su representación se puede ver en la figura 9.



Figura 9. Representación de la bobina tipo Reset.

Fuente: Gómez y Huayas, 2024, p. 10.

- **Temporizadores (Timers)**

Son dispositivos internos de un PLC, los cuales se emplean para controlar el tiempo de funcionamiento de las salidas físicas, tales como electrobombas, electroválvulas, compresores, lámparas, etc. (Chong y Ferreyra, 2023, p. 21; Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 17).

Del Águila y Haquiwara (2022, p. 17), mencionan que el temporizador más empleado en los circuitos de control, es el on delay (retardo a la conexión), el mismo que al prenderse o energizarse, sus contactos respectivos se mantienen cada uno en su condición normal y sólo se modificará sus condición hasta llegar a completarse el conteo del tiempo predeterminado de conexión.

En la figura 10 se muestra el diagrama ladder para el prendido de las salidas físicas Y1 e Y2, mediante los contactos T001 y $\overline{T001}$, respectivamente. Al cerrarse el interruptor X1, automáticamente se prende el temporizador T001 empezando de este modo el conteo del tiempo de conexión T. Al culminarse este tiempo, instantáneamente se cierra el contacto normalmente abierto T001 prendiendo a la salida física Y1 y se abre el contacto normalmente cerrado $\overline{T001}$ apagando a la salida física Y2. Si el temporizador T001 continúa prendido, sus contactos se conservarán en la misma condición que alcanzaron al llegar a T. También, en cualquier momento que se requiera ya sea antes o después de haber alcanzado el tiempo de conexión T, se puede apagar el temporizador T001, para lo cual es suficiente que se presione nuevamente el interruptor X1.

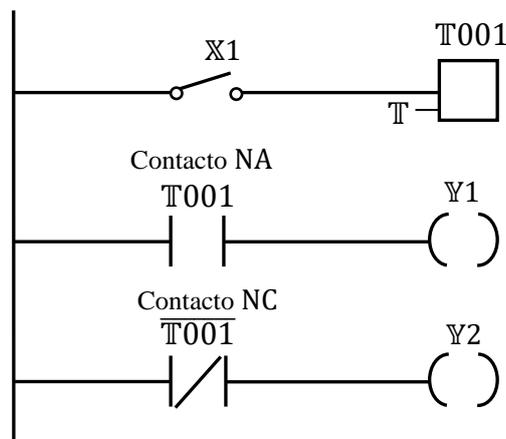


Figura 10. Diagrama ladder para la activación de Y1 e Y2, mediante el temporizador T001.

Fuente: Modificado de Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 17.

Entonces, las ecuaciones lógicas correspondientes al diagrama ladder de la figura 10, son:

$$X1 = T001. \quad (2)$$

$$T001 = Y1. \quad (3)$$

$$\overline{T001} = Y2. \quad (4)$$

- **Bobinas internas o marcas**

En el software de simulación de cualquier PLC, las bobinas internas o marcas se simbolizan mediante la letra M y no representan a salidas físicas del PLC. También están conformadas por dos partes: la bobina y el contacto que puede ser normalmente abierto M o normalmente cerrado \overline{M} (Chong y Ferreyra, 2023, p. 21).

- **Contadores**

Son componentes internos de un PLC, cuya finalidad es contar los pulsos o señales que le llegan a cualquiera de las salidas físicas. En el software de simulación de cualquier PLC, los contadores se simbolizan por medio de la letra C seguido del número de orden (Chong y Ferreyra, 2023, p. 21; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 353).

1.2.5. Prendido de una bobina interna del PLC mediante la retención de su contacto

Para prender una bobina interna del PLC, es necesario realizar un circuito lógico en el cual se debe tener los siguientes elementos: un pulsador NA, un pulsador NC y un contacto NA para la bobina. Por ejemplo, en la figura 11, para prender a la bobina interna $\mathbb{B}1$, primeramente, se debe presionar el pulsador $\mathbb{P}1$ (NA), de este modo se enviará una señal a la bobina $\mathbb{B}1$, haciendo que en ese mismo instante su contacto respectivo se quede retenido o cerrado (Honorio y Molina, 2023, p. 14). En consecuencia, la bobina $\mathbb{B}1$ se energizará mediante su contacto respectivo y se quedará así todo el tiempo que se requiera. También, en algún instante que se necesite apagar a la bobina $\mathbb{B}1$, será preciso presionar el pulsador $\mathbb{P}2$ (NC), de esta forma se quitará la continuidad de la carga eléctrica en dirección a la bobina $\mathbb{B}1$. Entonces, la ecuación lógica para el prendido de una bobina interna del PLC, mediante la retención de su contacto respectivo es:

$$P2 \times (P1 + B1) = B1. \quad (5)$$

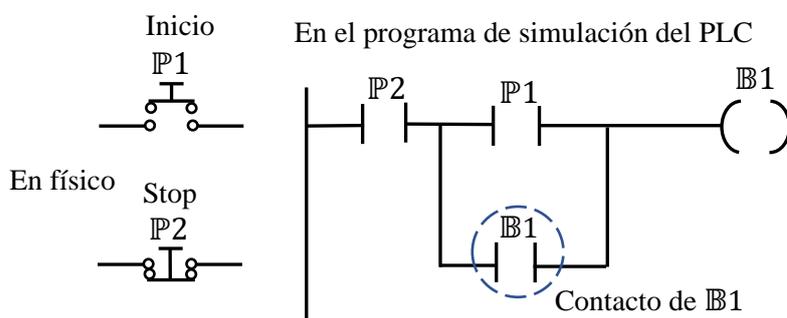


Figura 11. Prendido de la bobina $B1$ mediante la retención de su contacto.

Fuente: Modificado de Honorio y Molina, 2023, p. 14.

1.2.6. Ambiente del software LOGO!Soft Comfort V6.1

El software de simulación LOGO!Soft Comfort V6.1, se utiliza específicamente para programar el PLC LOGO! de la marca Siemens, el cual se hace uso en este trabajo. Este software tiene un ambiente de trabajo totalmente gráfico, debido a que cuenta con una librería de herramientas donde se encuentran representados mediante iconos los diferentes dispositivos que conforman un diagrama ladder, los cuales se pueden arrastrar con facilidad a la hoja de trabajo y realizar la conexión de los mismos (Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 19; Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 339).

LOGO!Soft Comfort cuenta con las funciones siguientes:

- Desarrollo de programas mediante diagrama ladder (esquema de contacto KOP/esquema de corriente) o como diagrama de bloques de funciones (esquema de funciones FUP).
- Simulación del programa en una PC.
- Impresión del esquema general del programa.
- Archivar los programas en la memoria interna.
- Cotejo de programas.
- Parametrización adecuada de los bloques.
- Tránsito de datos desde una PC al PLC, o viceversa.
- Lectura del contador de horas de funcionamiento.
- Configuración del horario de verano e invierno.

- Prueba online: se indican el estado de cada uno de los contactos y de las salidas.
- Paralización del programa desde la PC (STOP).



Figura 12. LOGO!Soft Comfort V6.1.

Fuente: Tomado de Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 20.

Al iniciar LOGO!Soft Comfort V6.1, se debe observar la interfaz de usuario en blanco, en la cual es necesario hacer clic para crear un nuevo programa.

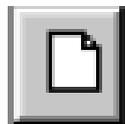


Figura 13. Icono para crear un nuevo programa en LOGO!Soft Comfort V6.1.

Fuente: Tomado de Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 20.

En la figura 14, se puede ver la interfaz de usuario completa del software LOGO!Soft Comfort V6.1. Gran parte de la pantalla está conformada por el área que corresponde al desarrollo de esquemas de conexiones. Esta área cuenta con los símbolos y enlaces del programa.

En los extremos inferior y derecho, la interfaz de programación cuenta con barras de deslizamiento, las cuales se indican a continuación:

- ① Barra de menús
- ② Barra de herramientas "Estándar"
- ③ Interfaz de programación
- ④ Ventana de información
- ⑤ Barra de estado
 - Constantes y conectores
 - Funciones básicas (sólo editores FUP y UDF)
- ⑥
 - Funciones especiales
 - Perfil de registro de datos (sólo editores FUP y KOP)
 - UDF (sólo editores FUP y UDF)
- ⑦ Barra de herramientas "Herramientas"

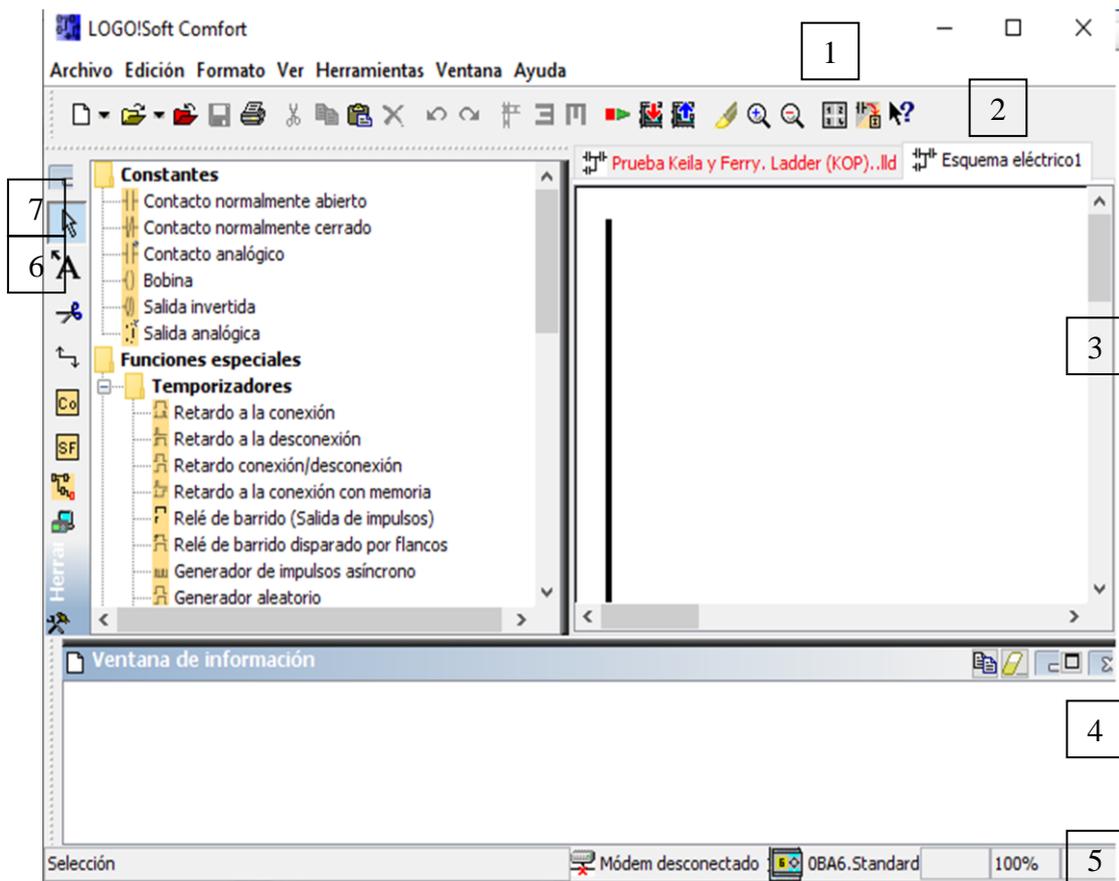


Figura 14. Interfaz de usuario del software LOGO!Soft Comfort V6.1.

Fuente: Modificado de Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 330.

- **Barra de menús**

En esta barra se localizan los diferentes comandos, los cuales hacen posible la edición y gestión de los programas. También forman parte de esta barra, los ajustes y funciones para transferir información desde una PC al PLC (figura 15).

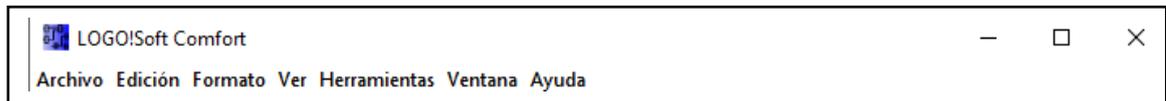


Figura 15. Barra de menús del software LOGO!Soft Comfort V6.1.

Fuente: Elaboración propia.

- **Barra de herramientas “Herramientas”**

Esta barra está situada en el borde izquierdo de la pantalla y la conforman los botones que admiten cambiar a las distintas formas de publicación para diseñar o ejecutar programas de manera fácil y ágil. A esta barra es posible seleccionarla por medio del puntero del ratón (figura 16).



Figura 16. Vista general de la barra de herramientas “Herramientas”.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 22.

- **Barra de herramientas “Estándar”**

Esta barra está ubicada en la parte superior de la interfaz de programación y permite el ingreso a las funciones principales del software LOGO! Soft Comfort V6.1. Cabe mencionar que, esta barra aparece inmediatamente al ingresar a un programa para su respectiva edición en la interfaz de programación (figura 17).

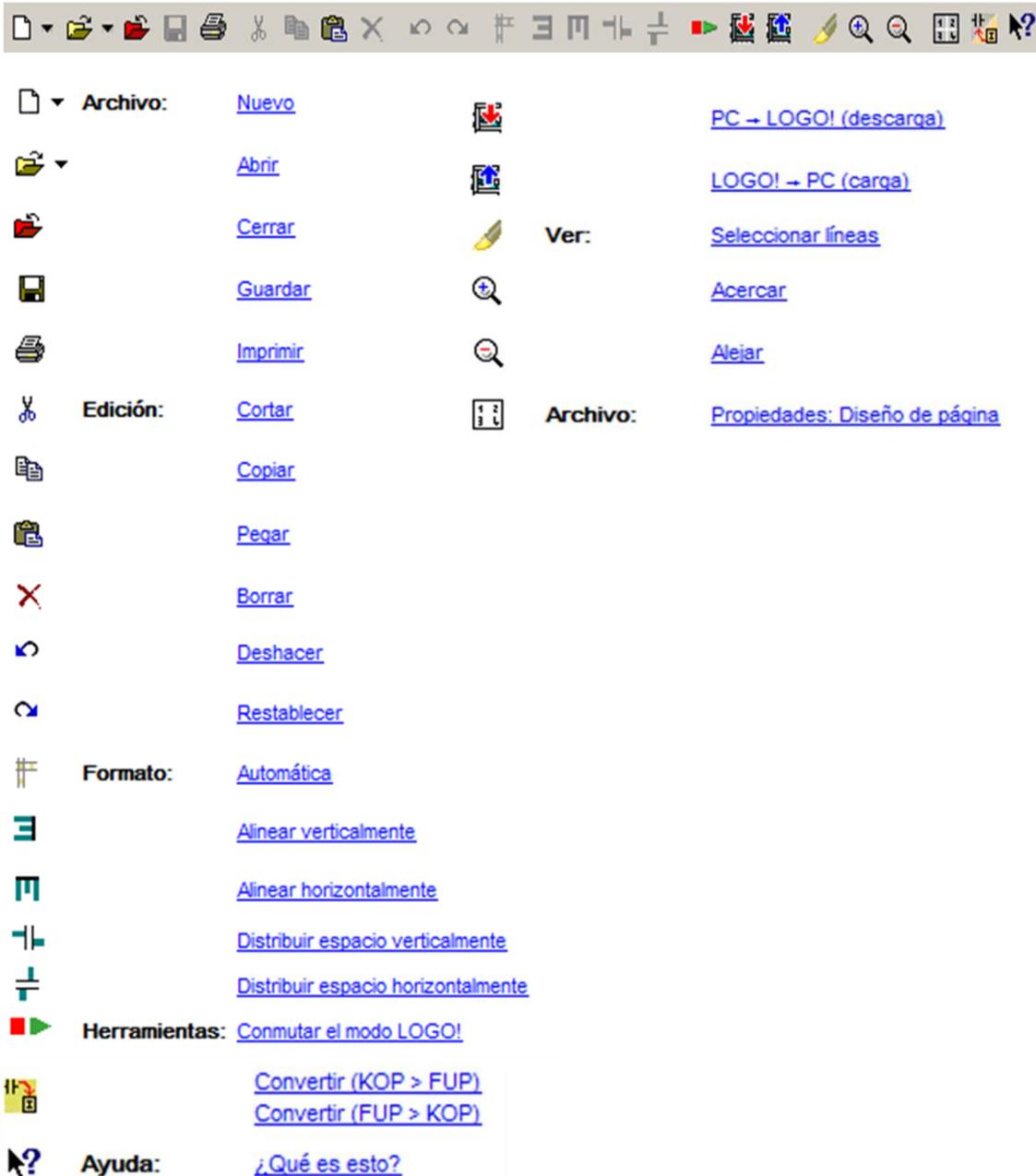


Figura 17. Vista general de la barra de herramientas “Estándar”.

Fuente: Elaboración propia.

- **Herramienta de selección**

Con esta herramienta se puede seleccionar y desplazar bloques, textos y líneas de conexión, pero para esto primeramente se debe seleccionarlos. Asimismo, es posible activar la herramienta de selección apretando la tecla [ESC]. Para seleccionar un bloque o línea de conexión es suficiente hacer un clic. Cuando se requiere enlazar a varios bloques o líneas, es necesario utilizar el puntero izquierdo del ratón. En este caso, también se puede mantener presionado el puntero del ratón para crear un marco entorno de los objetos que se quiere elegir.



Figura 18. Vista de la herramienta de selección.

Fuente: Elaboración propia.

Al seleccionar los objetos enlazados, deben aparecer pequeños cuadros de color rojo, tal como se muestra en la figura 19.

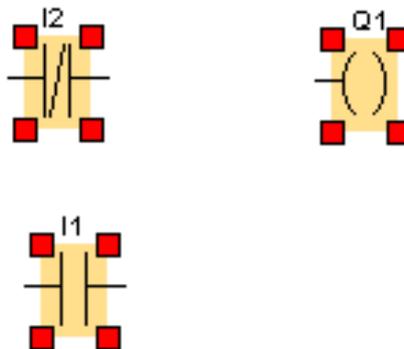


Figura 19. Uso de la herramienta de selección.

Fuente: Elaboración propia.

- **Herramienta de texto**

Esta herramienta, es útil fundamentalmente para crear rótulos que no están asociados a un bloque; para esto, es suficiente hacer clic en la herramienta de texto. Con esta herramienta es posible abrir un área de ingreso de texto, simplemente haciendo un

clic en el área libre de la interfaz de programación o en un bloque, pero para eso es necesario que esté prendido el botón que simboliza a esta herramienta (figura 20). También, después de haber ingresado el texto del rótulo, es posible hacer clic en algún lugar afuera de la ventana del rótulo, simplemente apretando la tecla [ESC].



Figura 20. Vista de la herramienta de texto.

Fuente: Elaboración propia.

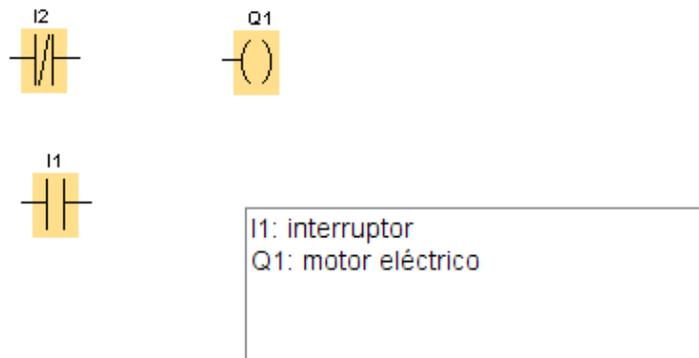


Figura 21. Uso de la herramienta de texto.

Fuente: Elaboración propia.

Herramienta de conexiones.

El icono de la herramienta de conexiones, se muestra en la figura 22. Para emplear esta herramienta, se debe ubicar el puntero del ratón sobre el conector del bloque y a continuación se debe presionarlo y mantenerlo así para que seguidamente se desplace hasta el conector que se quiere enlazar con el primer conector. A continuación, se libera el botón del ratón, uniendo de esta manera a los dos conectores (véase la figura 23).



Figura 22. Icono de la herramienta de conexiones.

Fuente: Elaboración propia.

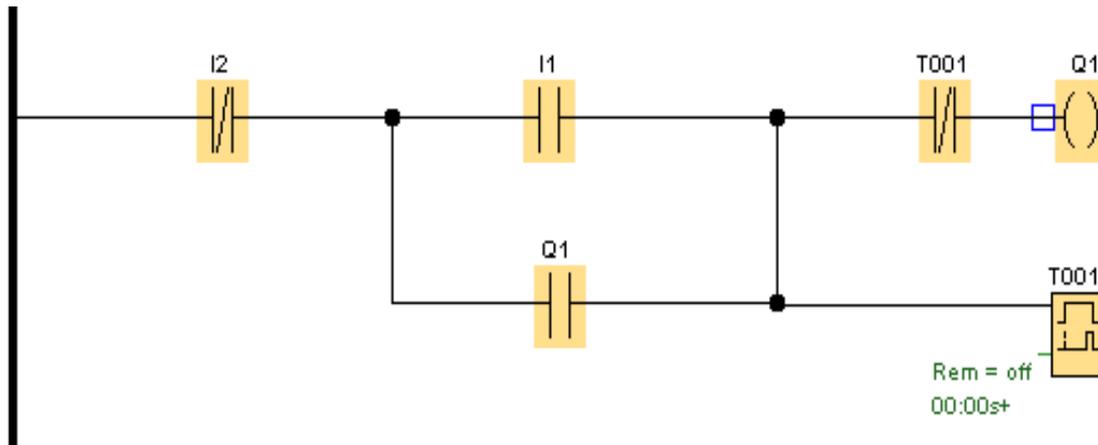


Figura 23. Uso de la herramienta de conexiones.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, es posible optar en el menú contextual el comando conectar con bloque, con lo cual se mostrará una lista de todos los bloques utilizables para la conexión (véase la figura 24).

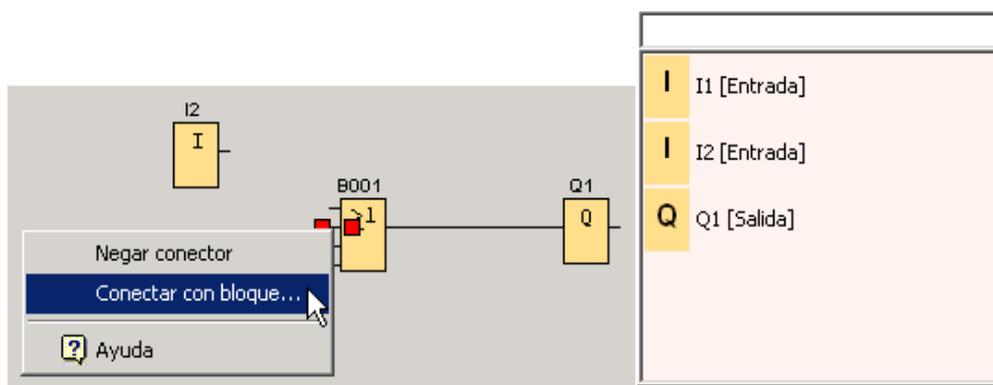


Figura 24. Uso del comando Conectar con bloque.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 26.

Constantes y conectores

Esta herramienta cumple la finalidad de ubicar a los diferentes bloques (entrada, salida, marcas, etc.). Su icono se puede ver en la figura 25. En la figura 26, se muestra una vista general de las constantes y conectores en los lenguajes FUP, KOP y UDF.



Figura 25. Icono de la herramienta de constantes y conectores.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 27.

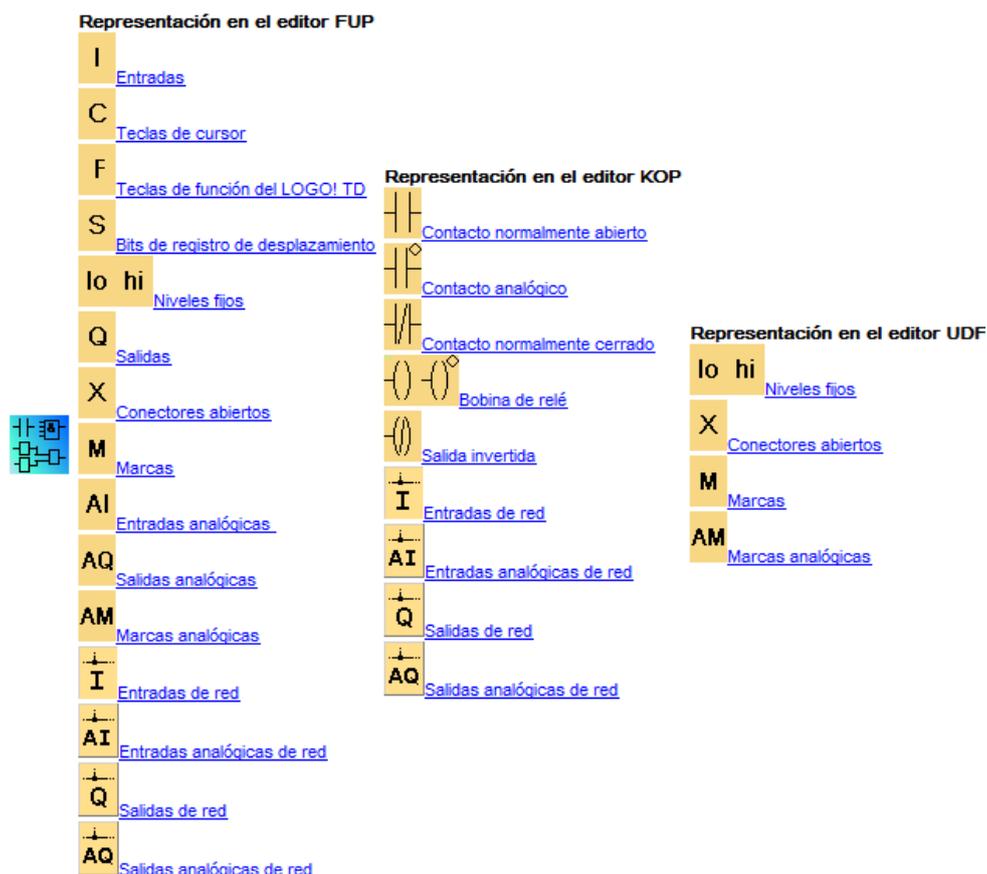


Figura 26. Vista general de constantes y conectores.

Fuente: Elaboración propia.

- **Funciones básicas**

La figura 27, muestra el icono de la herramienta Funciones básicas, la cual contiene a todos los bloques funcionales tales como AND, OR, XOR, NOT, etc. La selección de un bloque funcional se realiza, simplemente haciendo un clic sobre el icono que lo representa (véase las figuras 27 y 28).



Figura 27. Icono que representa a la herramienta Funciones básicas.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 340.

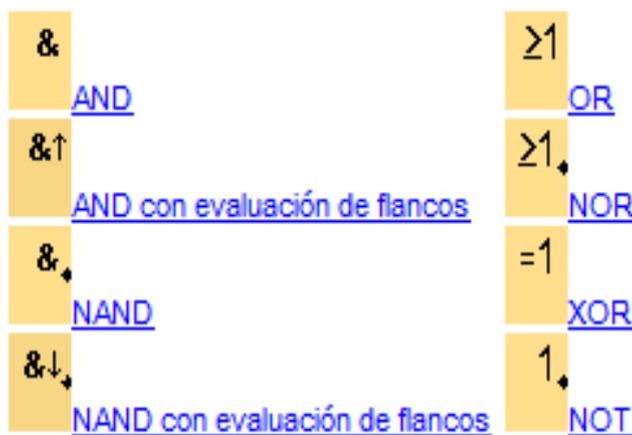


Figura 28. Vista general de la herramienta Funciones básicas.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 27.

- **Funciones especiales**

Esta herramienta está conformada por todos los bloques complementarios encargados de controlar el tiempo o los impulsos, tales como los temporizadores y contadores, analógicos y otros. La selección de un bloque de función especial, se puede realizar, simplemente con hacer un clic sobre el icono que lo representa (véase las figuras 29 y 30).



Figura 29. Icono que representa a la herramienta Funciones especiales.

Fuente: Elaboración propia.

Temporizadores		Analógico	
	Retardo a la conexión		Conmutador analógico de valor umbral
	Retardo a la desconexión		Conmutador analógico de valor umbral diferencial
	Retardo a la conexión/desconexión		Comparador analógico
	Retardo a la conexión con memoria		Vigilancia del valor analógico
	Relé de barrido (salida de impulsos)		Amplificador analógico
	Relé de barrido activado por flancos		Multiplexor analógico
	Reloj simétrico		Modulación de ancho de impulsos (PWM)
	Generador de impulsos asíncrono		Instrucción aritmética
	Generador aleatorio		Regulador PI
	Interruptor de alumbrado para escalera		Rampa analógica
	Interruptor bifuncional		Filtro analógico (sólo 0BA7)
	Temporizador semanal		Máx/Mín (sólo 0BA7)
	Temporizador anual		Valor medio (sólo 0BA7)
	Reloj astronómico (sólo 0BA7)	Otros	
	Cronómetro (sólo 0BA7)		Relé autoenclavador
Contadores			Relé de impulsos
	Contador adelante/atrás		Texto de aviso (LOGO! 0BA6 y LOGO! 0BA7)
	Contador de horas de funcionamiento		Interruptor software
	Selector de umbral		Registro de desplazamiento (0BA4 a 0BA6)
			Detección de error de la instrucción aritmética

Figura 30. Vista general de la herramienta Funciones especiales.

Fuente: Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, pp. 341-342.

- **Simulación**

Esta herramienta se emplea con el propósito de comprobar el apropiado funcionamiento de los programas y de este modo ajustar los parámetros de los bloques antes de que un programa sea transferido desde una PC al PLC. De esta manera se garantiza de que el programa sea ejecutado correctamente por el PLC. El icono de esta herramienta se muestra en la figura 31. Para empezar la simulación de un programa, es suficiente hacer clic en el botón simulación de la barra de herramientas "Herramientas", lo cual hace que se cambie al modo simulación apareciendo la barra que se indica en la figura 32.



Figura 31. Icono que representa a la herramienta simulación.

Fuente: Elaboración propia.

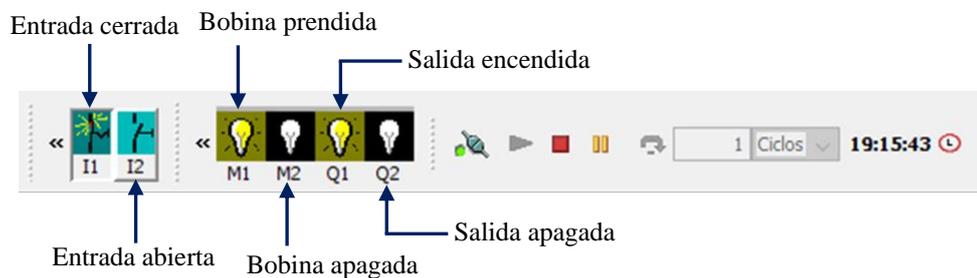


Figura 32. Barra de Simulación.

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 30.

En la barra de simulación las entradas del PLC, se simbolizan como pulsadores o interruptores (figura 32). Se puede ver en la figura 32, que el nombre que corresponde a una entrada se muestra debajo del icono, para tal caso son las entradas I1 e I2. Asimismo, se puede ver el estado de las entradas; es decir, I1 se encuentra cerrado e I2 se encuentra abierto.

De la misma forma, una bobina interna o una salida física, se simbolizan en la barra de simulación como bombillas, las cuales pueden estar prendidas o apagadas.

En este caso, se puede notar que la marca o bobina interna M1 y la salida Q1 están prendidas y la marca M2 con la salida Q2 están apagadas. De igual manera que para las entradas, el nombre que corresponde a una salida se muestra debajo del icono respectivo.

- **Test online**

Haciendo uso de esta herramienta es posible ver en tiempo real la ejecución de un programa y a su vez se puede visualizar la situación de cada uno de los contactos y salidas. Su simbolización se muestra en la figura 33. Para hacer uso de esta herramienta, es necesario que el PLC esté conectado con una PC, por medio de un cable de transmisión de datos.

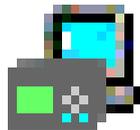


Figura 33. Icono que representa a la herramienta Test online.

Fuente: Elaboración propia.

Del Águila y Haquiwara (2022, p. 31), dan a conocer el siguiente procedimiento para utilizar el Test online:

- Se elige el comando de menú Herramientas → Test online.
- Al estar el PLC LOGO! en modo STOP, se tiene que prenderlo, para lo cual se

hace clic en el botón "Inicio"  y de esta forma el PLC LOGO! iniciará el programa.

- Se empieza el modo de observación .
- Se elige los bloques cuya situación se quiere verificar, con lo cual se puede ver "en tiempo real" cómo va cambiando la situación de los bloques seleccionados.

Si se requiere cambiar el PLC LOGO! a modo STOP desde una PC, es suficiente hacer clic en el botón "Stop" .

1.2.7. Electroválvula

Es un dispositivo electromecánico que posee interiormente una bobina solenoide, la misma que es prendida al recibir una señal eléctrica por medio de un pulsador o interruptor. La aplicación que se le da a este dispositivo, básicamente es ceder el paso de un fluido a través de un conducto (Quispe, 2018, p. 41; Honorio y Molina, 2023, p. 17).

Al no estar prendida la electroválvula se encuentra en posición de normalmente cerrada. La electroválvula se prende cuando se accede la corriente eléctrica hacia ella, lo cual hace que su posición sea normalmente abierta. En la figura 34, se muestra la estructura de una electroválvula, la cual está conformada por una aguja que se encuentra conectada en la sección inferior de un émbolo. Cuando la electroválvula está prendida, el émbolo se mueve hasta llegar al centro de la bobina, permitiendo de este modo que el fluido se mueva desde la entrada hacia la salida de la electroválvula. De la misma forma, al apagarse la bobina solenoide, el émbolo se cae por gravedad, volviendo a su posición original, de manera que la electroválvula queda completamente cerrada impidiendo el flujo de fluido (Saravia, 2019, pp. 22-23; Honorio y Molina, 2023, p. 17).

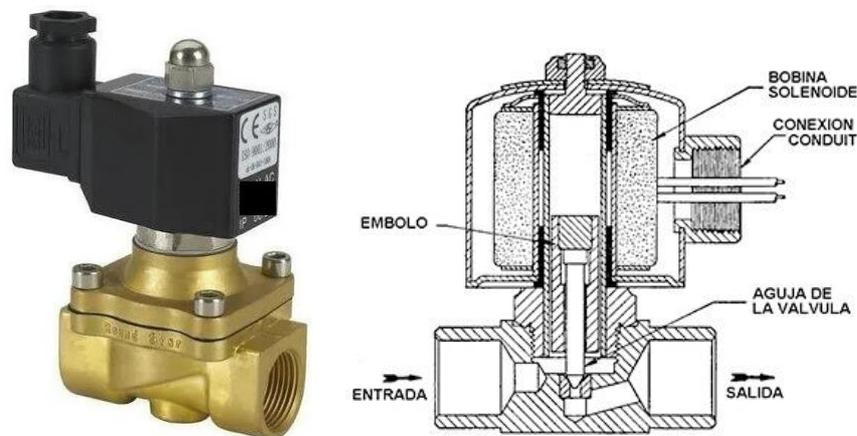


Figura 34. Electroválvula.

Fuente: Honorio y Molina, 2023, p. 17.

1.2.8. Electrobomba

Fabian (2021, p. 18), menciona que una electrobomba es una máquina electromecánica, que está conformado principalmente de dos elementos: una bomba hidráulica y un motor eléctrico.

La bomba recibe energía del motor eléctrico mediante un eje, lo cual hace que se produzca una diferencia de presión entre la entrada y salida de la bomba hidráulica, haciendo de este modo que el fluido fluya de un punto a otro (véase la figura 35). Dicha diferencia de presión se relaciona con el caudal del fluido y la potencia de la bomba (Honorio y Molina, 2023, p. 17).

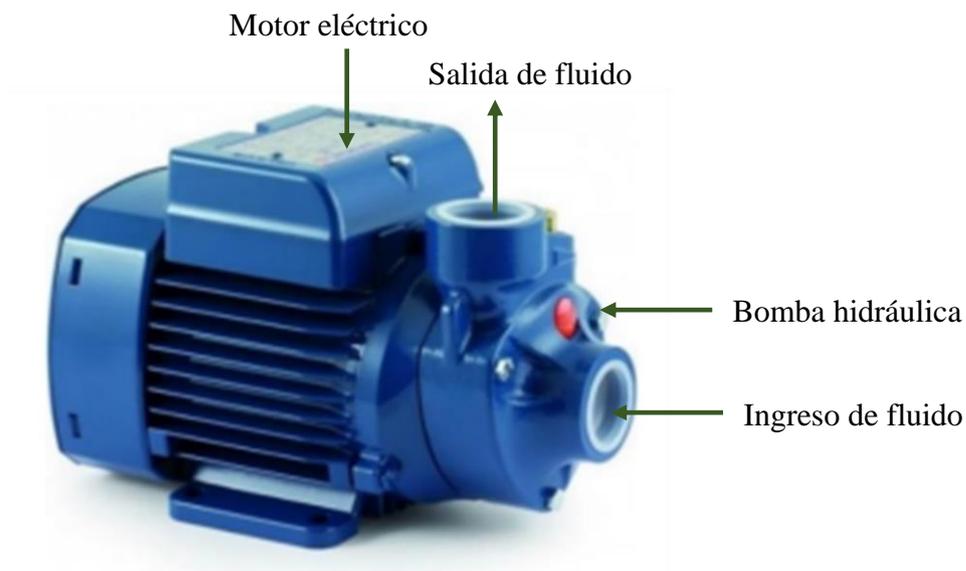


Figura 35. Electrobomba.

Fuente: Tomado de Honorio y Molina, 2023, p. 17.

1.3. Definición de términos básicos

1.3.1. Variables del sistema automatizado

Lo representan específicamente la condición de las entradas y la situación de las salidas físicas que se hacen uso del PLC, las cuales se indican seguidamente:

- **Condición de las entradas del PLC que se acoplan a los pulsadores I1, I2 e I3**

Vienen a ser las cantidades binarias (0 o 1) que precisan el estado o situación (abierto o cerrado) de las entradas 1, 2 y 3 del PLC, respectivamente (Dávila y Grández, 2024, p. 15).

- **Situación de la salida física Q1**

Lo representan las cantidades binarias (0 o 1) que dan a conocer el estado

(apagado o prendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 1 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).

- **Situación de la salida física Q2**

Son las cantidades binarias (0 o 1) que muestran el estado (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 2 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).

- **Situación de la salida física Q3**

Son las cantidades binarias (0 o 1) que indican el estado (desactivado o encendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 3 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).

- **Situación de la salida física Q4**

Son las cantidades binarias (0 o 1) que indican el estado (desactivado o encendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electrobomba de llenado (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).

1.3.2. Variables y parámetros del llenado de botellones

Son exclusivamente las que están relacionadas con el tiempo de llenado, el caudal y el volumen de cada botellón.

- **Masa del botellón vacío**

Viene a ser la cantidad en kilogramos o en gramos de un botellón vacío. Se simboliza como M_{bv} y para medirla se hace uso de una balanza digital (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).

- **Masa del botellón con agua**

Es la cantidad en kilogramos o en gramos de un botellón lleno con agua. Se simboliza como M_{bca} y para medirlo también se hace uso de una balanza digital (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).

- **Masa del agua**

Se define como la cantidad de agua en kilogramos o en gramos contenida en un botellón (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33). Se simboliza como M_{ab} y se puede evaluarla con la ecuación siguiente:

$$M_{ab} = M_{bca} - M_{bv}. \quad (6)$$

- **Densidad del agua**

Relaciona a la masa con el volumen del agua contenida en un botellón. Se simboliza como ρ_a y se mide en kg/L (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34).

- **Volumen teórico**

Es el valor nominal o el que se indica en la etiqueta del botellón. Se representa por V_T y se mide en litros (L) (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34).

- **Volumen experimental**

Se refiere específicamente al volumen de agua real u observado que contiene un botellón. Se representa por V_E y se mide en litros (L) (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34). El valor de V_E se determina mediante la división de la masa de agua en el botellón (M_{ab}) con la densidad (ρ_a), es decir:

$$V_E = \frac{M_{ab}}{\rho_a}. \quad (7)$$

- **Caudal generado por la electrobomba de llenado**

También se denomina flujo volumétrico y viene a ser la cantidad de volumen que fluye en una unidad de tiempo, a través de todo el conjunto de tuberías, accesorios, filtros y electroválvulas. Se simboliza como Q_{GPE} y se mide en L/s, L/min, etc. (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34). Al funcionar en forma alterna tres electroválvulas, se debe tener en cuenta que el caudal generado por la electrobomba de llenado, no será exactamente el mismo a través de cada uno de ellas, lo cual se debe a que las tres electroválvulas no se encontrarán a la misma distancia de la electrobomba de llenado.

Por tanto, para cada electroválvula se debe evaluar dicho caudal.

- **Tiempo de llenado**

Viene a ser el periodo que se necesita que una electroválvula se encuentre prendida para llenar a un botellón, conforme al volumen de la etiqueta (Dávila y Grández, 2024, p. 10; Chong y Ferreyra, 2023, p. 34). Este tiempo se debe programar en los temporizadores del PLC y para su evaluación se debe emplear la siguiente ecuación:

$$t_{LL} = \frac{V_T}{Q_{GPE}}. \quad (8)$$

Donde t_{LL} es el tiempo de llenado de un botellón con agua en s.

Al tener tres electroválvulas, indica que se va a llenar tres botellones de forma alterna; por tanto, se debe evaluar el tiempo de llenado para cada uno de los botellones, es decir:

$$t_{LL1} = \frac{V_T}{Q_{GPE1}}. \quad (9)$$

$$t_{LL2} = \frac{V_T}{Q_{GPE2}}. \quad (10)$$

$$t_{LL3} = \frac{V_T}{Q_{GPE3}}. \quad (11)$$

Donde t_{LL1} , t_{LL2} y t_{LL3} , son los tiempos de llenado de los botellones, 1, 2 y 3, respectivamente.

Del mismo modo, las cantidades Q_{GPE1} , Q_{GPE2} y Q_{GPE3} , son los caudales que genera la electrobomba, cuando se realiza el llenado de los botellones 1, 2 y 3, respectivamente. También, es preciso indicar, que dichos botellones tendrán el mismo volumen teórico.

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

a. Hipótesis general

La optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se realiza mediante la implementación de un sistema automatizado, el mismo que está conformado por un PLC, una electrobomba y tres electroválvulas.

b. Hipótesis específicas

- El algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, es un diagrama tipo ladder.
- Sí, existe relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.
- El tiempo de llenado de cada botellón con agua, se evalúa mediante la división del volumen teórico con el caudal generado por la electrobomba.

2.2. Variables y su operacionalización

• En el control automático

Variables independientes: condición de las entradas del PLC que se acoplan a los pulsadores I1, I2, e I3.

Variables dependientes: situación de las salidas físicas del PLC que se acoplan a las electroválvulas 1, 2 y 3 y a la electrobomba de llenado.

• En el llenado de botellones

Variables independientes: volumen teórico (V_T) y caudales generados por la electrobomba en los botellones 1, 2 y 3 (Q_{GPE1} , Q_{GPE2} y Q_{GPE3}).

Variables dependientes: tiempos de llenado de los botellones 1, 2 y 3 (t_{LL1} , t_{LL2} y t_{LL3}).

Tabla 2. Operacionalización de las variables en el control automático.

Variables	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independientes						
Condición de las entradas del PLC que se acoplan a los pulsadores I1, I2 e I3	I1 I2 I3	Vienen a ser las cantidades binarias (0 o 1) que precisan el estado o situación (abierto o cerrado) de las entradas 1, 2 y 3 del PLC, respectivamente (Dávila y Grández, 2024, p. 15).	Cuantitativa discreta	Abierto: 0 Cerrado: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2. • Archivo en Microsoft Excel 2023.
Dependientes						
Situación de la salida física Q1.	Q1	Lo representan las cantidades binarias (0 o 1) que dan a conocer el estado (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 1 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V 5.4.2. • Archivo en Microsoft Excel 2023.
Situación de la salida física Q2.	Q2	Son las cantidades binarias (0 o 1) que muestran el estado (apagado o prendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 2 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2. • Archivo en Microsoft Excel 2023.
Situación de la salida física Q3.	Q3	Son las cantidades binarias (0 o 1) que indican el estado (desactivado o encendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 3 (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2. • Archivo en Microsoft Excel 2023.
Situación de la salida física Q4.	Q4	Son las cantidades binarias (0 o 1) que indican el estado (desactivado o encendido) de la salida física del PLC que se acopla a la electrobomba de llenado (Dávila y Grández, 2024, pp. 15-16).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Archivo de la programación del diagrama ladder, mediante Zelio Soft 2 V5.4.2. • Archivo en Microsoft Excel 2023.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Operacionalización de las variables en el llenado de botellones.

VARIABLES	NOTACIÓN	DEFINICIÓN	TIPO POR SU NATURALEZA	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN	MEDIOS DE VERIFICACIÓN
Independientes						
Volumen teórico	V_T	Es el valor nominal o el que se indica en la etiqueta del botellón (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34). En este caso es el mismo para los tres botellones.	Cuantitativa continua	L	Razón	Archivo en Microsoft Excel 2023.
Caudales generados por la electrobomba en los botellones 1, 2 y 3.	Q_{GPE1} Q_{GPE2} Q_{GPE3}	Vienen a ser las cantidades de volumen que fluyen en una unidad de tiempo, a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, respectivamente (Chong y Ferreyra, 2023, p. 34).	Cuantitativa continua	L/s, m ³ /s	Razón	Archivo en Microsoft Excel 2023.
Dependientes						
Tiempos de llenado de los botellones 1, 2, 3.	t_{LL1} t_{LL2} t_{LL3}	Vienen a ser los periodos que se necesitan que estén prendidas las electroválvulas 1, 2 y 3, para llenar a los botellones, 1, 2 y 3, respectivamente (Dávila y Grández, 2024, p. 10; Chong y Ferreyra, 2023, p. 34).	Cuantitativa continua	s	Razón	Archivo en Microsoft Excel 2023.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

En la presente investigación, inicialmente, se efectuó una revisión detallada sobre los lenguajes que se usan en la programación de un PLC; a continuación, se realizó el diagrama ladder, con la finalidad de hacer la simulación del llenado de botellones y al mismo tiempo determinar la relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC. Seguidamente, se llevó a cabo la implementación del sistema automatizado. Por último, se procedió a llenar veinte (20) botellones, los cuales tuvieron un volumen teórico de 19 L, determinándose en cada uno el caudal generado por la electrobomba y el tiempo de llenado. Por consiguiente, afirmamos que la presente tesis tiene enfoque cuantitativo es de tipo aplicada y su diseño es correlacional. Los esquemas del diseño de investigación, se dan a conocer en las figuras 36 y 37.

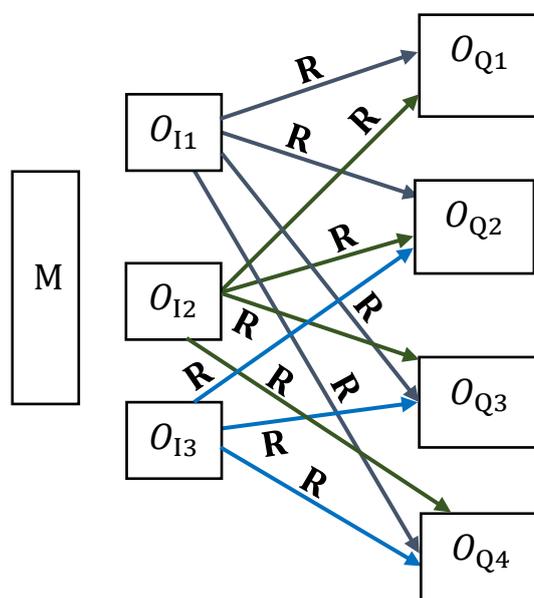


Figura 36. Esquema del diseño de investigación para el control automático.

Fuente: Elaboración propia.

Donde O_{I1} , O_{I2} , O_{I3} , O_{Q1} , O_{Q2} , O_{Q3} y O_{Q4} son las observaciones obtenidas en cada una de las siete variables (I1, I2, I3, Q1, Q2, Q3 y Q4, respectivamente), distintas de la muestra.

- I1, I2, I3 : condición de las entradas del PLC que se acoplan a los pulsadores I1, I2 e I3 (variables independientes).
- Q1 : situación de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 1 (variable dependiente).
- Q2 : situación de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 2 (variable dependiente).
- Q3 : situación de la salida física del PLC que se acopla a la electroválvula 3 (variable dependiente).
- Q4 : situación de la salida física del PLC que se acopla a la electrobomba de llenado (variable dependiente).
- M : muestra.
- R : relación entre las variables.

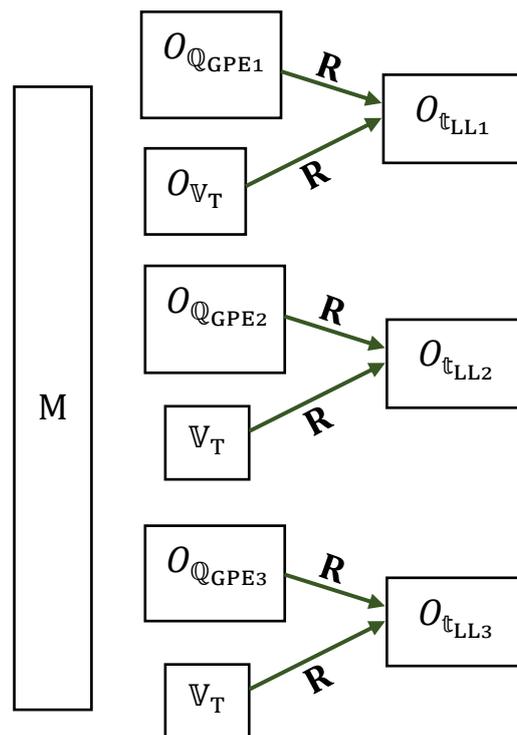


Figura 37. Esquema del diseño de investigación para el llenado.

Fuente: Elaboración propia.

Donde O_{V_T} , $O_{Q_{GPE1}}$, $O_{Q_{GPE2}}$, $O_{Q_{GPE3}}$, $O_{t_{LL1}}$, $O_{t_{LL2}}$ y $O_{t_{LL3}}$, son las observaciones obtenidas en cada una de las siete variables (V_T , Q_{GPE1} , Q_{GPE2} , Q_{GPE3} , t_{LL1} , t_{LL2} y t_{LL3} , respectivamente), diferentes en la muestra.

- V_T : volumen teórico (variable independiente).
- Q_{GPE1} : caudal generado por la electrobomba en el botellón 1 (variable independiente).
- Q_{GPE2} : caudal generado por la electrobomba en el botellón 2 (variable independiente).
- Q_{GPE3} : caudal generado por la electrobomba en el botellón 3 (variable independiente).
- t_{LL1} : tiempo de llenado del botellón 1 (variable dependiente).
- t_{LL2} : tiempo de llenado del botellón 2 (variable dependiente).
- t_{LL3} : tiempo de llenado del botellón 3 (variable dependiente).

3.1.1. Propuesta para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP

En la figura 38, se muestra un esquema del sistema automatizado a implementarse en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, para la optimización del llenado de botellones con agua. Como puede observarse en esta figura, los componentes principales del mencionado sistema son: tres electroválvulas, una electrobomba de llenado, un controlador lógico programable (PLC), tres pulsadores, cuatro leds y una llave térmica con su enchufe bipolar, los cuales cumplen funciones específicas en el momento que se lleva a cabo el llenado de botellones con agua.

La operación de llenado de botellones, se realiza del siguiente modo:

- Primeramente, el operador presiona el pulsador I2, prendiendo en ese mismo instante el led rojo (Q1), indicándose de esta manera que la electroválvula 1 (EVA1) ha sido prendida.
- Seguidamente, se presiona el pulsador I3 para encender a la electrobomba de llenado (EBLL), lo cual se indicará mediante el encendido del led azul (Q4). En consecuencia, se inicia la operación de llenado con el botellón 1 (BTLL1). La EVA1 permanecerá prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL1.
- Al instante que se termina de llenar al BTLL1, automáticamente se apagará la EVA1 y se prenderá la electroválvula 2 (EVA2), los cuales se indicarán al apagarse el led rojo (Q1) y prenderse el led verde (Q2), respectivamente,

iniciándose de este modo el llenado del botellón 2 (BTLL2). La EVA2 estará prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL2.

- En el mismo instante que se termina de llenar al BTLL2, automáticamente se apagará la EVA2 y se prenderá la electroválvula 3 (EVA3), los mismos que se mostrarán al apagarse el led verde (Q2) y prenderse el led naranja (Q3), respectivamente, empezando de esta manera el llenado del botellón 3 (BTLL3). La EVA3 se encontrará prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL3.
- Al terminar de llenarse el BTLL3, instantáneamente se apagará la EVA3 y se prenderá nuevamente la EVA1, iniciándose de este modo otro ciclo de llenado.

Es preciso mencionar que el orden de acoplamientos para las entradas y salidas del PLC, debe ser el siguiente:

I1: físicamente es un pulsador normalmente abierto (NA), pero se programa como normalmente cerrado (NC), ya que es un pulsador de paro. Se acopla a la entrada 1 del PLC y al presionarse se apagan las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4.

I2: pulsador normalmente abierto (NA) que se acopla a la entrada 2 del PLC y al presionarse se prende únicamente a la EVA1.

I3: pulsador normalmente abierto (NA) que se acopla a la entrada 3 del PLC y al presionarse se prende a la EBL, iniciándose de esta forma el llenado de botellones.

Q1: salida física 1 del PLC que se representa por el led rojo y que se acopla a la EVA1.

Q2: salida física 2 del PLC que se representa por el led verde y que se acopla a la EVA2.

Q3: salida física 3 del PLC que se representa por el led naranja y que se acopla a la EVA3.

Q4: salida física 4 del PLC que se representa por el led azul y que se acopla a la EBL.

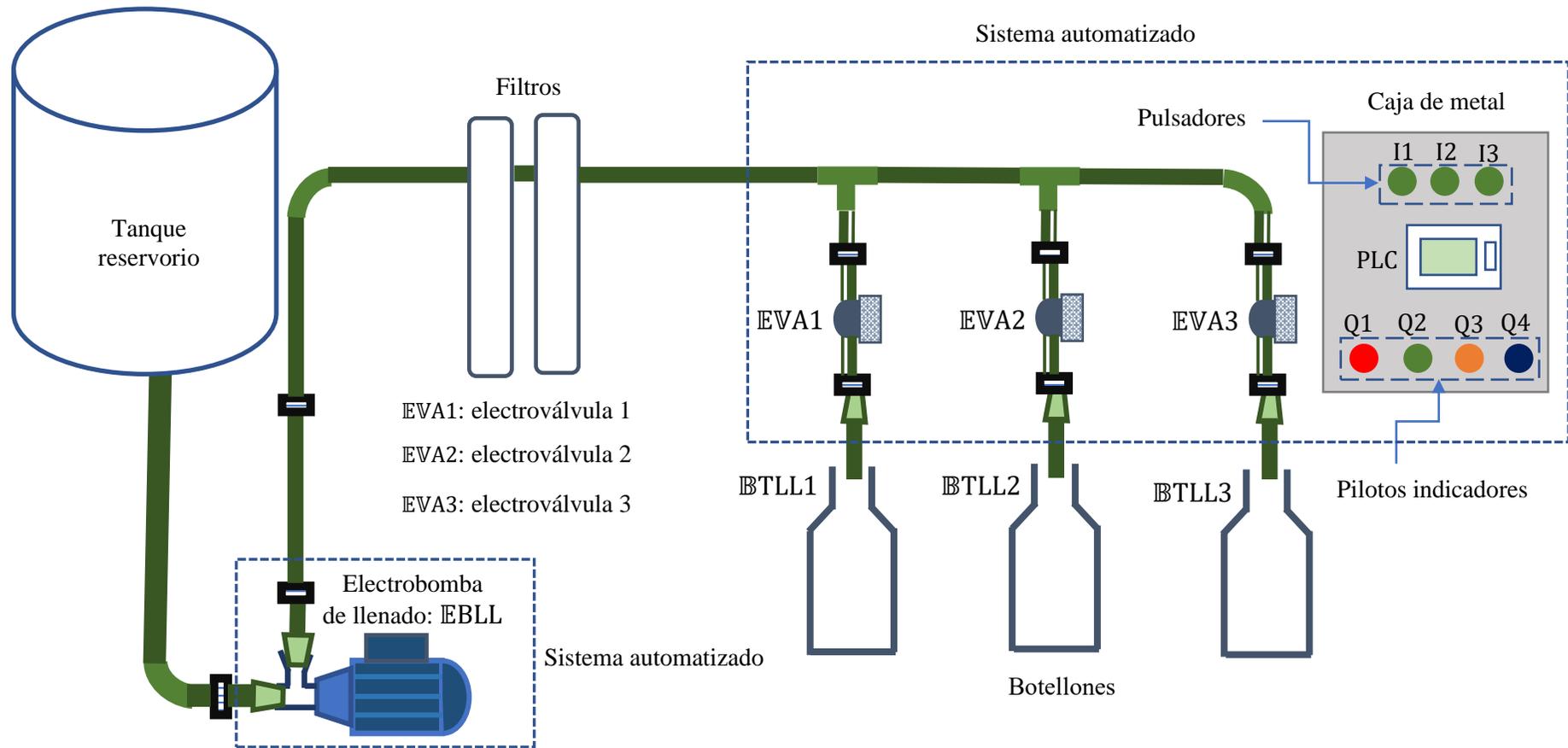


Figura 38. Propuesta para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Elaboración del algoritmo de control

El algoritmo de control que permite la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, es un diagrama tipo ladder, el mismo que está estructurado en los siguientes períodos:

- **Verificación del prendido de la electroválvula 1**

Para iniciar el llenado, primeramente, se debe verificar que la electroválvula 1 (EVA1) esté prendida, para lo cual se presiona el pulsador I2 (NA), haciendo que instantáneamente se prenda la bobina interna M1 y a su vez su contacto respectivo se quede retenido permitiendo el flujo eléctrico hacia la salida Q1, la cual se acopla a la EVA1 (figura 39).

- **Prendido de la electrobomba de llenado y del temporizador T001**

Una vez que se verifica que la EVA1 se encuentra prendida, se debe prender a la electrobomba de llenado (EBLL) y al temporizador T001, para lo cual se debe presionar el pulsador I3 (NA), haciendo que se prenda la bobina interna M2 y su contacto respectivo se quede retenido accediendo el flujo eléctrico hacia la salida Q4 (acoplada a la EBLL) y hacia el temporizador T001 (véase la figura 40).

- **Inicio del llenado de botellones con agua**

Al prenderse el temporizador T001, se inicia el llenado de botellones con agua, ya que este temporizador tiene la función de controlar el tiempo que la EVA1 debe estar prendida para llenar al botellón 1 (BTLL1) (véase la figura 40).

- **Prendido de la electroválvula 2 y del temporizador T002**

Cuando el temporizador T001 termina de contar su tiempo respectivo, su contacto normalmente cerrado ($\overline{T001}$) se abre apagando a la salida Q1 (acoplada a la EVA1) y su contacto normalmente abierto (T001) se cierra prendiendo a la salida Q2 que está acoplada a la electroválvula 2 (EVA2) y al temporizador T002. Asimismo, el temporizador T002 inicia el conteo del tiempo que se encontrará prendida la EVA2 (véase las figura 41).

- **Prendido de la electroválvula 3 y del temporizador T003**

Al terminar el temporizador T002 de contar su tiempo respectivo, su contacto normalmente cerrado ($\overline{T002}$) se abre apagando a la salida Q2 (acoplada a la EVA2) y su contacto normalmente abierto (T002) se cierra prendiendo a la salida Q3 (acoplada a la EVA3), a la bobina interna M4 y al temporizador T003, dando inicio de esta manera al conteo del tiempo que estará prendida la EVA3 (véase la figura 42). Cuando el temporizador T003, termina de contar su tiempo respectivo, su contacto cerrado $\overline{T003}$ se abre apagando de este modo a la salida Q3 y prendiendo nuevamente a la salida Q1, dando inicio a un nuevo ciclo de llenado.

- **Programación del contador C004**

Es posible programar el contador C004, especificando la cantidad de botellones que se quiere llenar en la respectiva ventana de parámetros; es decir, cada vez que se termine de llenar un botellón con agua, se debe enviar una señal al contador C004 para su respectivo registro (véase la figura 43).

- **Reseteo del contador C004**

Cada vez que se presione el pulsador I2 (NA), se reinicia el conteo de botellones con agua; es decir, el contador C004 vuelve a cero (0) (figura 43).

- **Culminación del llenado de botellones**

Cuando la cantidad de botellones alcance el valor especificado, el contacto normalmente cerrado ($\overline{C004}$) del contador se abrirá apagando a la bobina interna M1 y de esa forma se apagarán todas las salidas del diagrama ladder (figura 39).

Además, en algún instante que se requiera interrumpir el llenado, es posible presionar el pulsador I1, interrumpiendo el flujo eléctrico hacia las salidas del diagrama ladder.

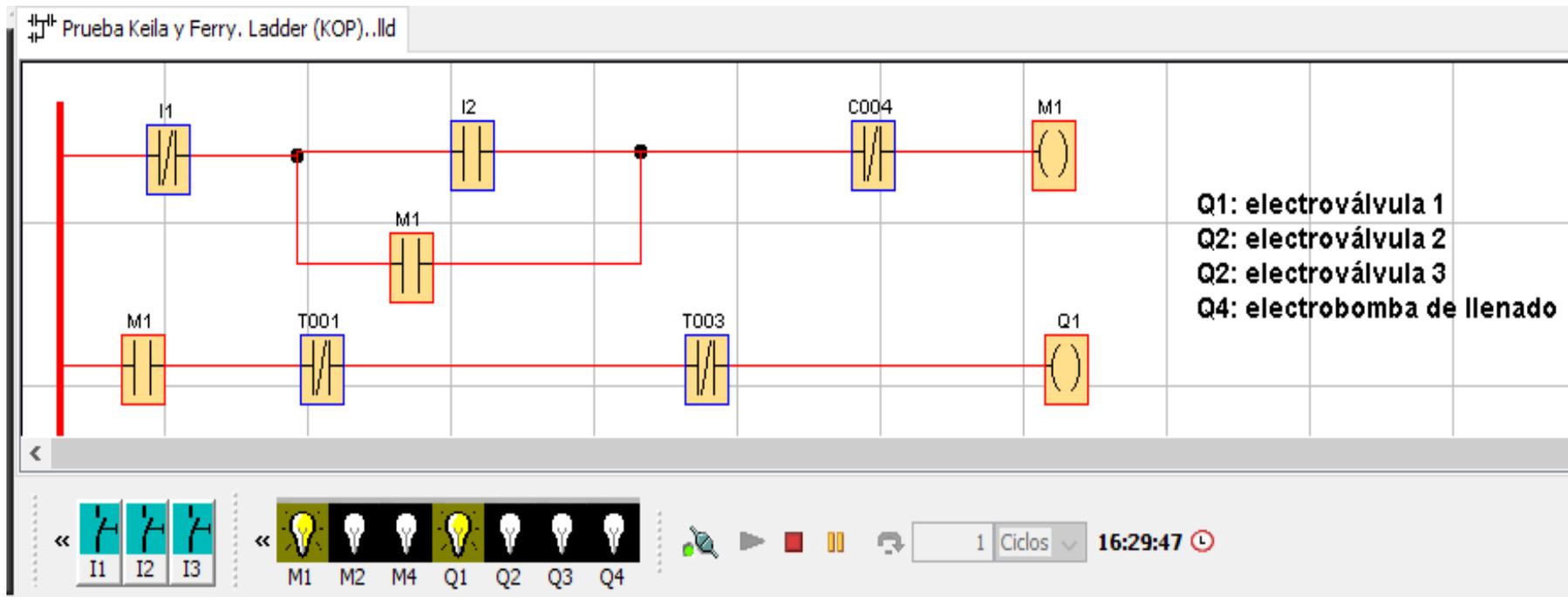


Figura 39. Verificación del prendido de la electroválvula 1.

Fuente: Elaboración propia.

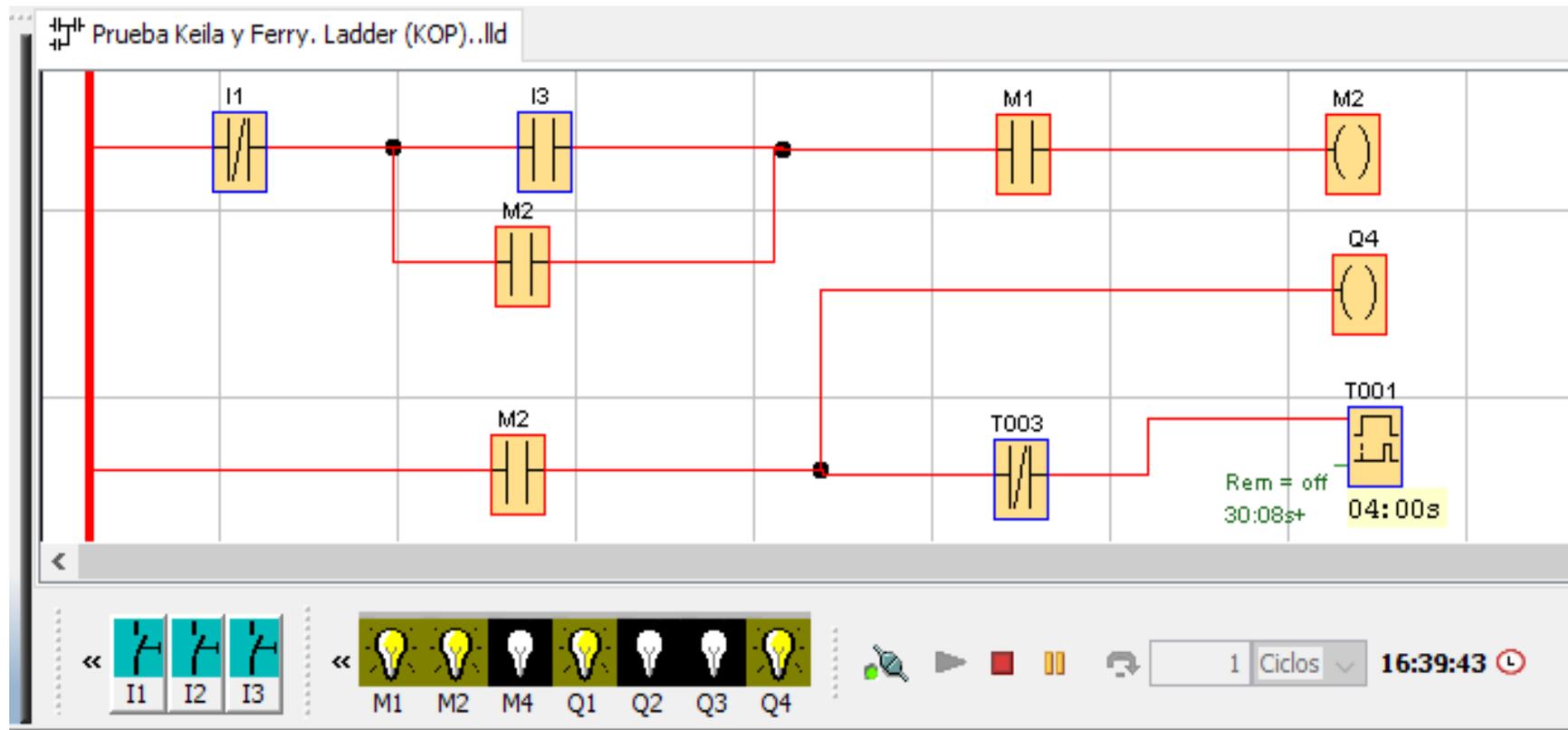


Figura 40. Prendido de la electrobomba de llenado y del temporizador T001.

Fuente: Elaboración propia.

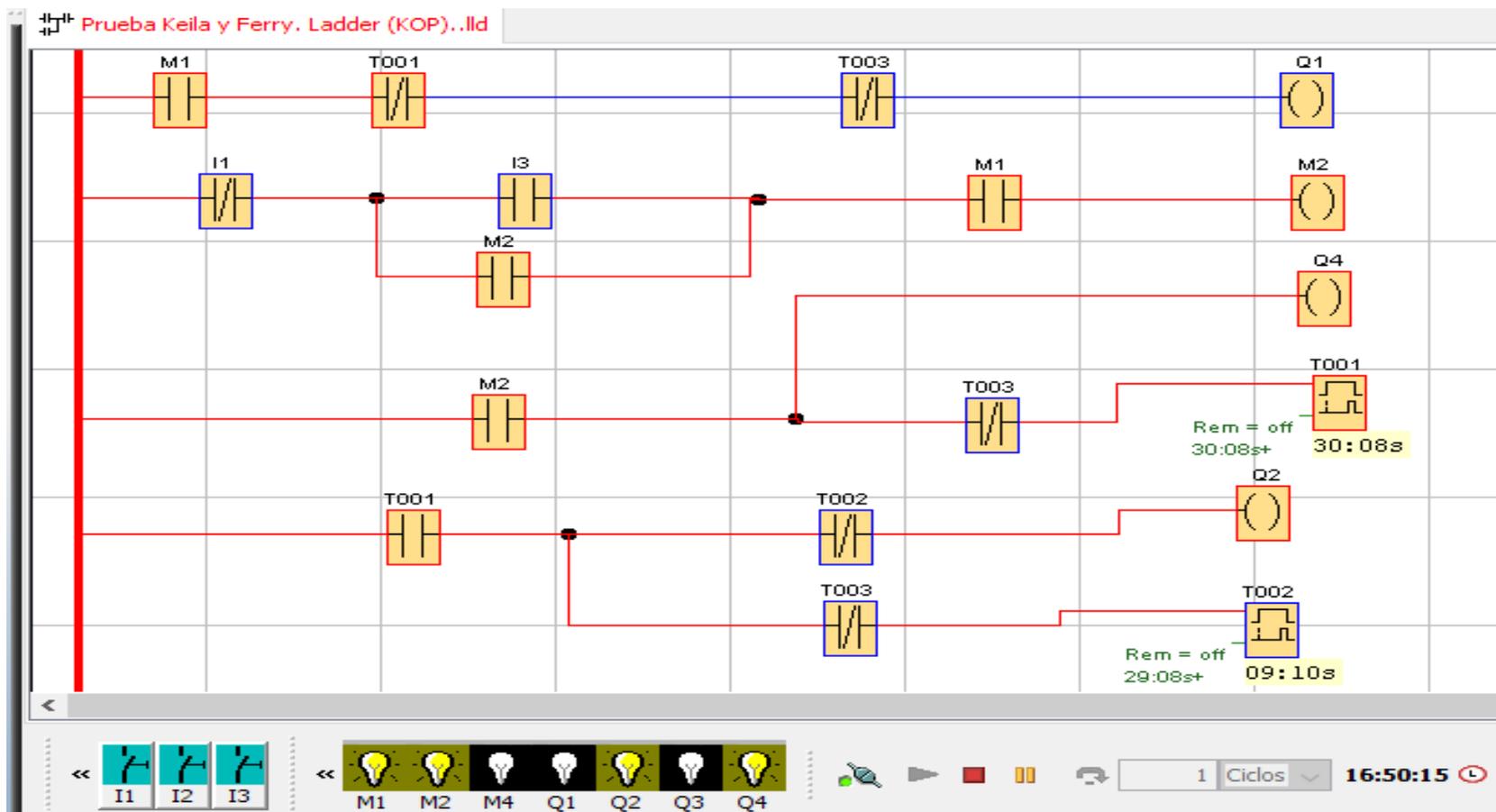


Figura 41. Prendido de la electroválvula 2 y del temporizador T002.

Fuente: Elaboración propia.

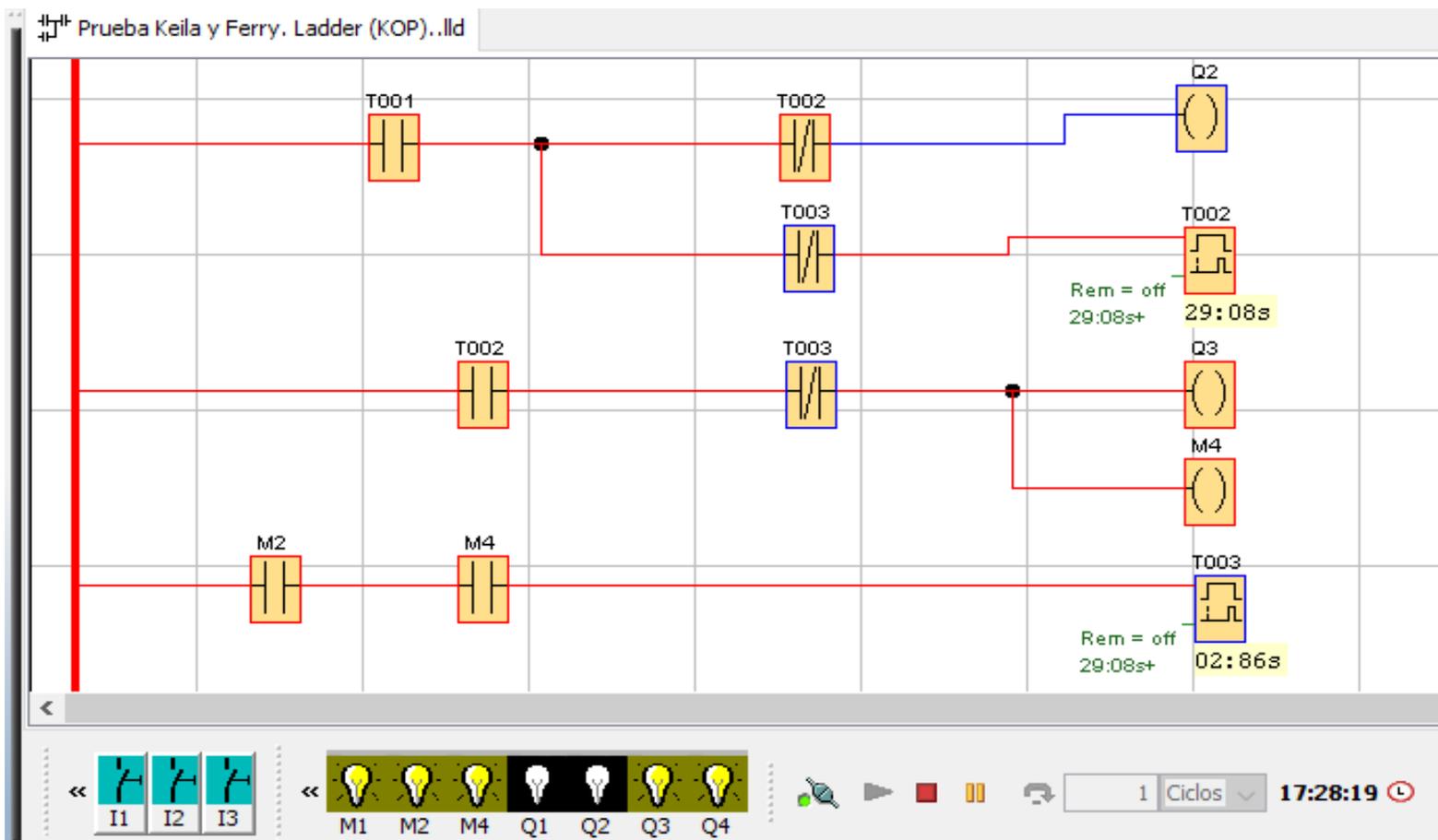


Figura 42. Prendido de la electroválvula 3 y del temporizador T003.

Fuente: Elaboración propia.

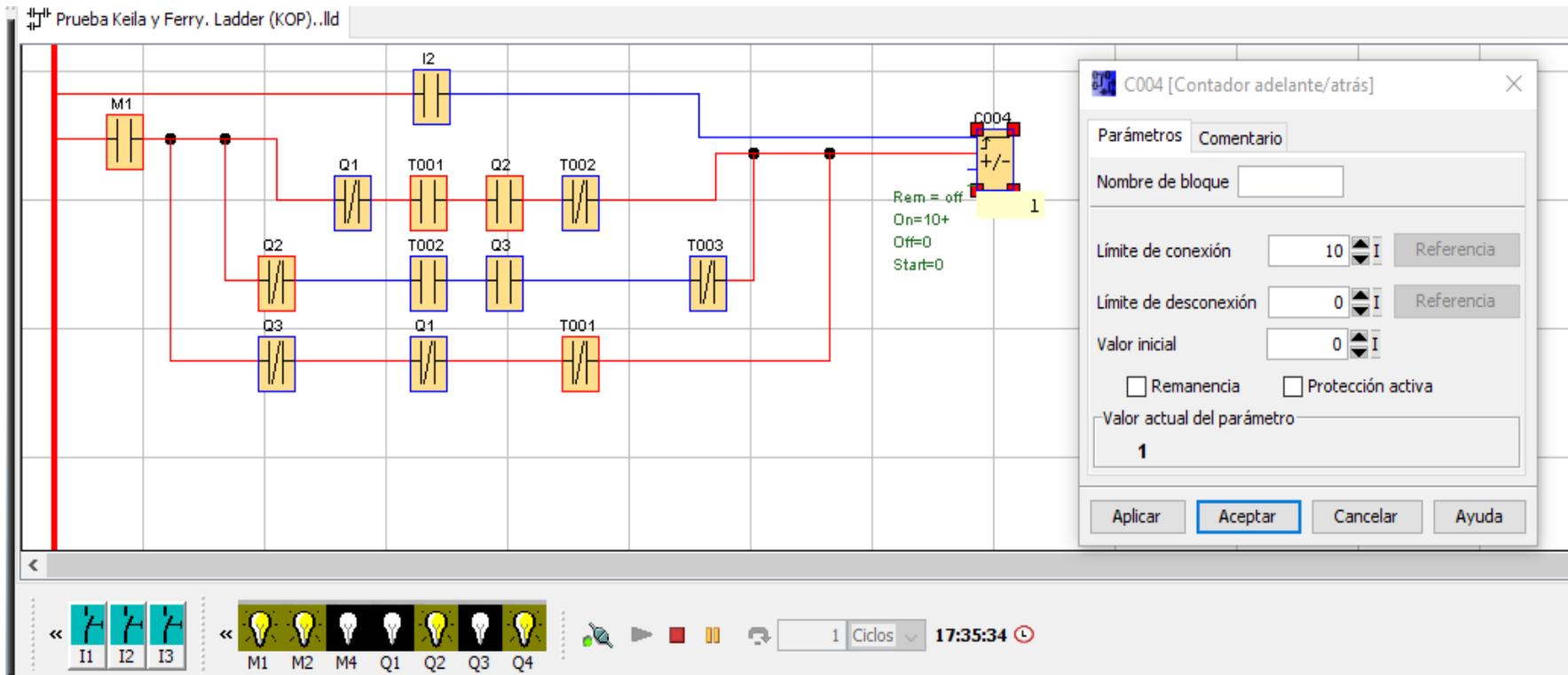


Figura 43. Programación y reseteo del contador C004.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas del PLC

La relación o vínculo que existe entre la condición de las entradas (I1, I2, e I3) con la situación de cada una de las salidas físicas (Q1, Q2, Q3 y Q4) del PLC, se pueden representar por medio de un conjunto de igualdades que se deducen del algoritmo de control, las cuales son:

$$\overline{I1} * (I2 + M1) * \overline{C004} = M1. \quad (12)$$

$$M1 * \overline{T001} * \overline{T003} = Q1. \quad (13)$$

$$\overline{I1} * (I3 + M2) * M1 = M2. \quad (14)$$

$$M2 = Q4. \quad (15)$$

$$M2 * \overline{T003} = T001. \quad (16)$$

$$T001 * \overline{T002} = Q2. \quad (17)$$

$$T001 * \overline{T003} = T002 \quad (18)$$

$$T002 * \overline{T003} = Q3. \quad (19)$$

$$T002 * \overline{T003} = M4. \quad (20)$$

$$M2 * M4 = T003. \quad (21)$$

$$I2 = RC004. \quad (22)$$

$$M1 * (\overline{Q1} * T001 * Q2 * \overline{T002} + \overline{Q2} * T002 * Q3 * \overline{T003} + \overline{Q3} * \overline{Q1} * \overline{T001}) = C004. \quad (23)$$

La igualdad (12), es la representación matemática de la correspondencia o relación entre la condición de las entradas (I1 e I2) con la situación de la bobina interna M1, lo

cual indica que M1 se prenderá, siempre y cuando se presione el pulsador I2 y el pulsador I1 se encuentre como normalmente cerrado.

La igualdad (13), representa a la relación que existe entre la condición de los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$, con la situación de la salida Q1. Es decir, para que Q1 se encuentre prendida, necesariamente los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$ deben encontrarse cerrados.

La igualdad (14), da a conocer la relación que existe entre la condición de los contactos I1, I3, M1 y M2, con la situación de la bobina interna M2; lo cual indica que para prender a la bobina interna M2 y mantenerla así, previamente se tiene que presionar el pulsador I3 normalmente abierto y necesariamente los contactos I1, M1 y M2 deben encontrarse cerrados.

La igualdad (15), indica la relación entre la condición del contacto M2 con la situación de la salida Q4. En consecuencia, la salida Q4, en todo momento se encontrará en la misma situación que la bobina interna M2.

La igualdad (16), muestra que existe relación entre la condición de los contactos M2 y $\overline{T003}$, con la situación del temporizador T001, lo cual indica que el temporizador T001 se encontrará prendido, necesariamente si los contactos M2 y $\overline{T003}$ se encuentran cerrados.

Con la igualdad (17), se indica que existe relación entre la condición de los contactos T001 y $\overline{T002}$, con la situación de la salida Q2; en consecuencia, la salida Q2 se encontrará prendida siempre y cuando los contactos T001 y $\overline{T002}$ se encuentren cerrados.

La igualdad (18), da a conocer que existe relación entre la condición de los contactos T001 y $\overline{T003}$, con la situación del temporizador T002, lo cual muestra que el temporizador T002 se encontrará prendido, necesariamente si los contactos T001 y $\overline{T003}$ se encuentran cerrados.

La igualdad **(19)**, representa a la relación que existe entre la condición de los contactos T002 y $\overline{T003}$, con la situación de la salida Q3. Es decir, para que Q3 se halle prendida, obligatoriamente los contactos T002 y $\overline{T003}$ deben encontrarse cerrados. La igualdad **(20)**, indica que la bobina interna M4, en todo instante se hallará en la misma situación que la salida Q3.

Mediante la igualdad **(21)**, se comprueba que existe relación entre la condición de los contactos M2 y M4, con la situación del temporizador T003, lo cual muestra que el temporizador T003 se encontrará prendido, siempre y cuando los contactos M2 y M4 se encuentran cerrados.

La igualdad **(22)**, indica que el contador C004, se reseteará siempre y cuando se presione el pulsador I2; es decir, al presionarse el pulsador I2, el contador iniciará nuevamente el conteo de la cantidad de botellones especificada en su ventana de parámetros, lo cual también se puede realizar antes de que se llegue a dicha cantidad. Por ejemplo, si la cantidad especificada es 10 y se decide presionar el pulsador I2 cuando el contador C004 haya contado 6 botellones, automáticamente el conteo de botellones volverá a cero (0), para dar inicio nuevamente el conteo hasta llegar a la cantidad especificada.

La igualdad **(23)**, muestra la relación entre la condición del contacto M1 con la situación del contador C004; es decir, el contador C004 se encontrará prendido siempre y cuando la bobina M1 se encuentre prendida. Además, mediante esta igualdad se puede observar que el contador C004 realizará el conteo cada vez que se termina de llenar a un botellón. Por ejemplo, cuando se termine de llenar el botellón 1, se debe apagar la salida Q1, haciendo que el contacto $\overline{Q1}$ se cierre enviándose una señal al contador C004, lo cual se cuenta como un botellón lleno. Lo mismo ocurre cuando se terminan de llenar los botellones 2 y 3.

También, cuando el contador C004 termine de contar la cantidad de botellones especificada en su ventana de parámetros, su contacto cerrado $\overline{C004}$ se debe abrir impidiendo el flujo eléctrico hacia la bobina interna M1 y de esa forma se apaguen automáticamente a las cuatro salidas físicas del PLC (Q1, Q2, Q3 y Q4).

3.1.4. Acoplamiento eléctrico para el PLC

Los acoplamiento eléctrico para el PLC, se hacen en referencia a lo indicado en las secciones 3.1.1 y 3.1.2, lo cual se muestra en detalle en la figura 44. También, en la figura 44, se puede ver que el PLC posee ocho entradas (8), de las cuales solo se utilizan tres (3).

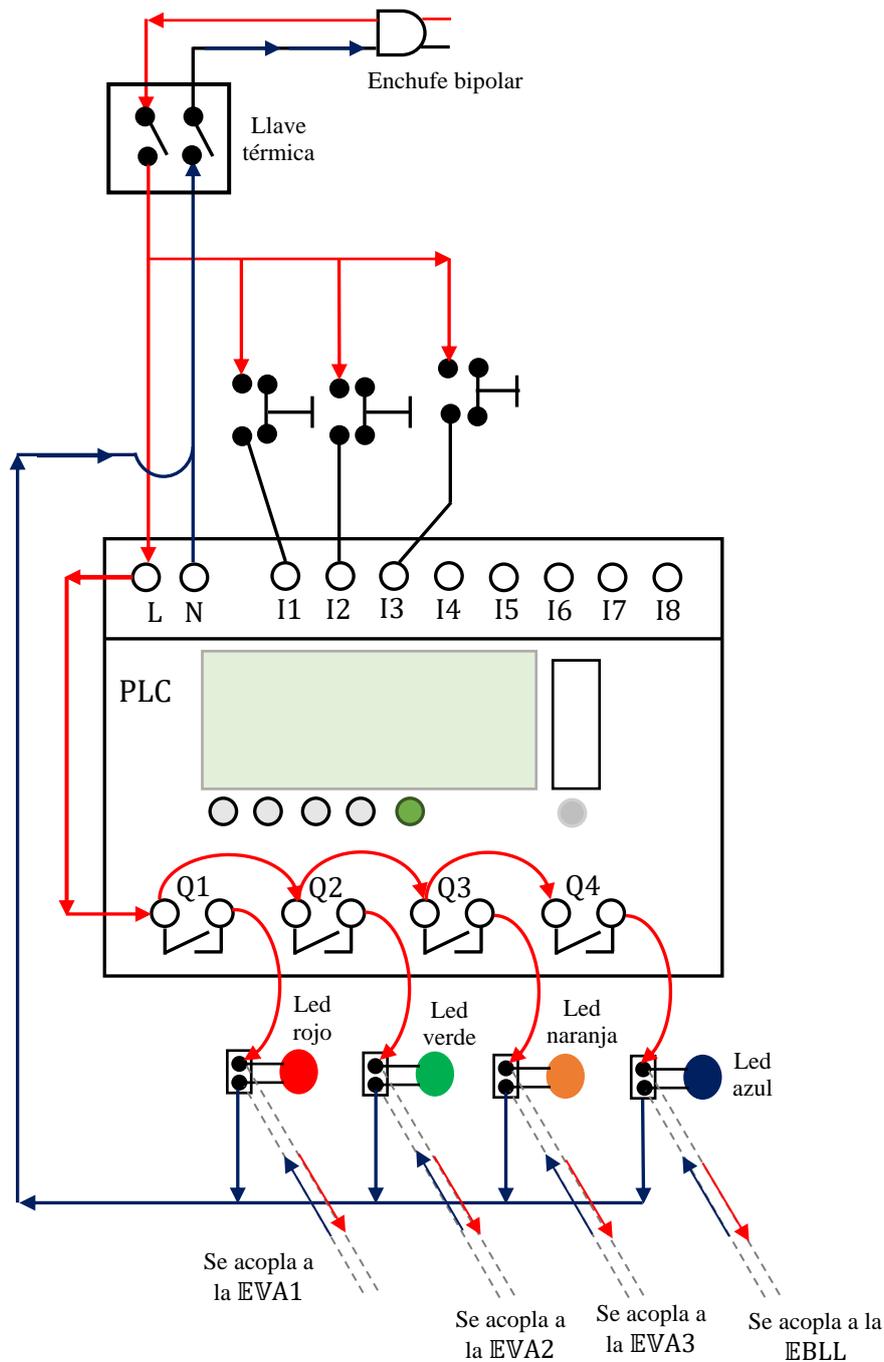


Figura 44. Acoplamiento eléctrico para el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Implementación del sistema automatizado para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP

La implementación del sistema automatizado para la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, se ha llevado a cabo de acuerdo a lo descrito en las secciones 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4, el mismo que se muestra en las figuras siguientes.

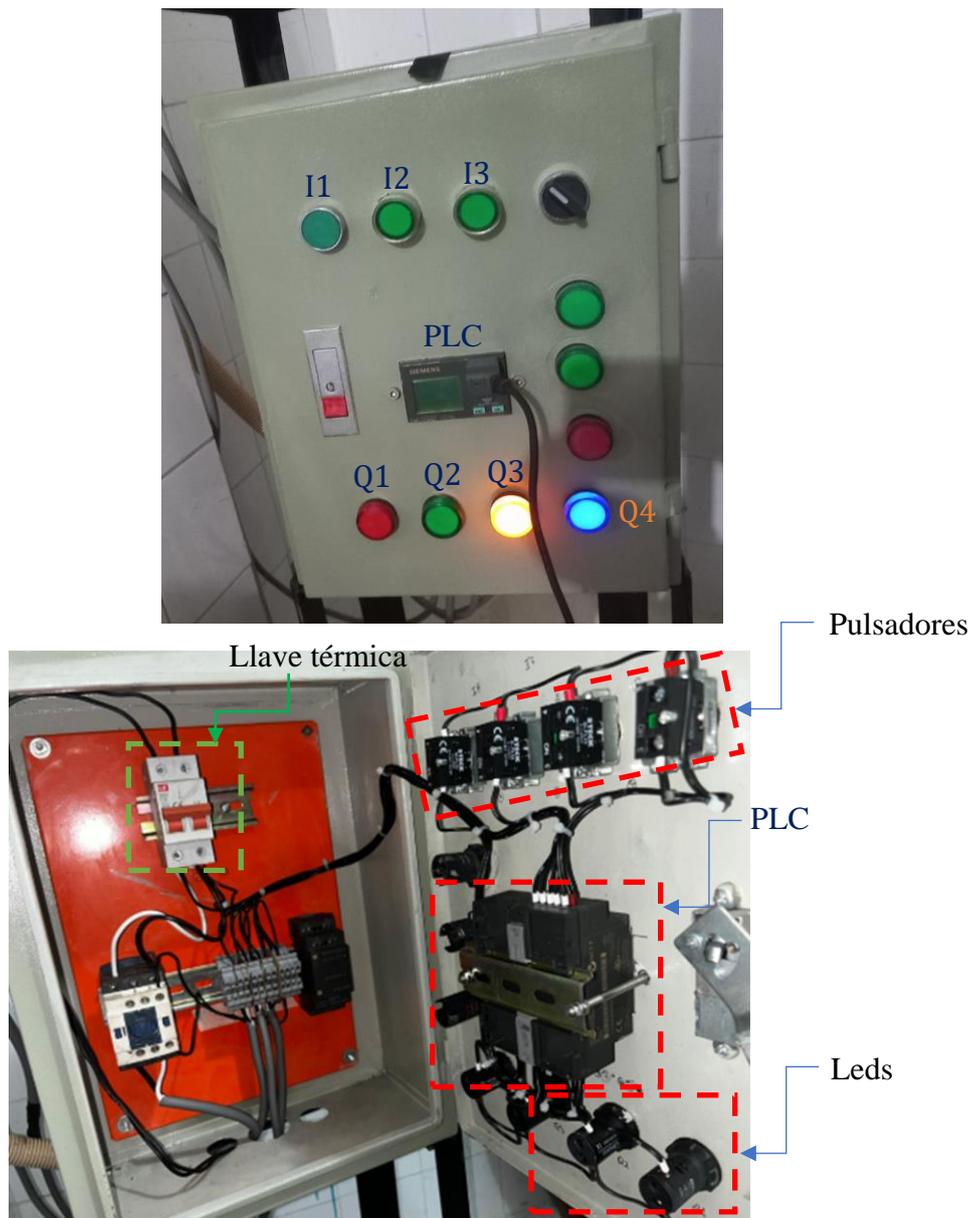


Figura 45. Imagen real del sistema automatizado: PLC, leds, pulsadores y llave térmica.

Fuente: Elaboración propia.

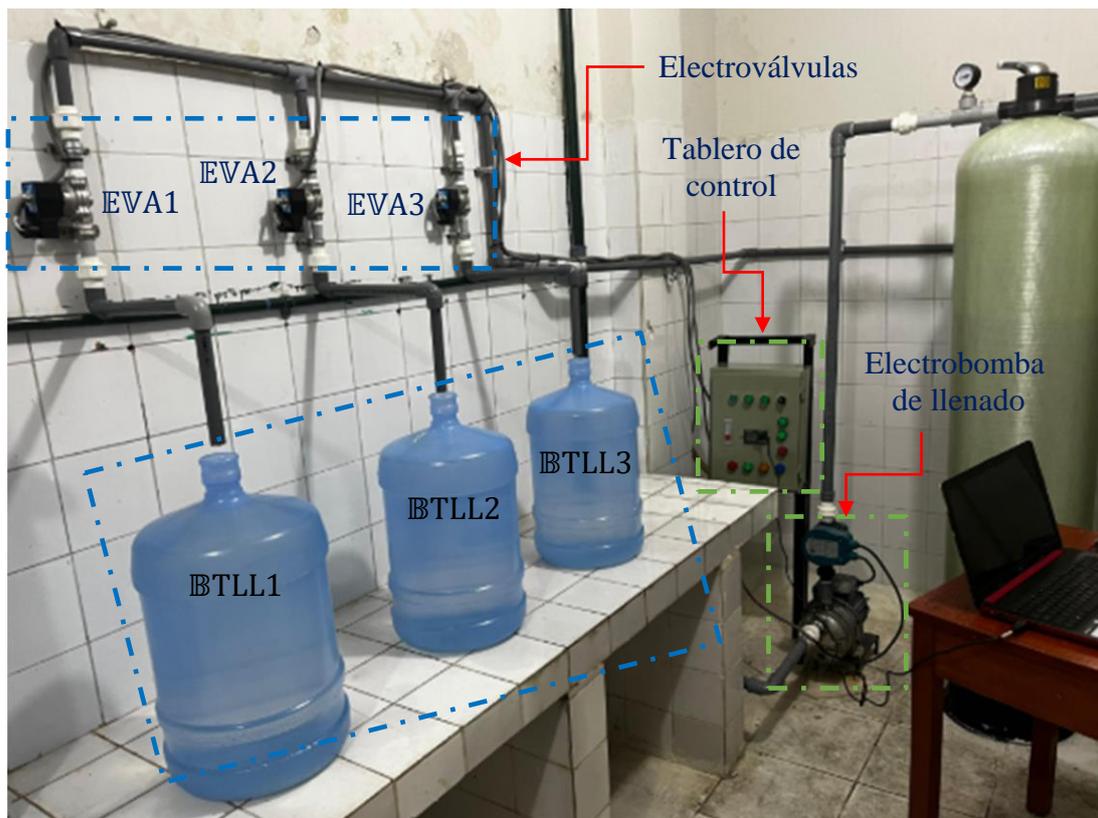


Figura 46. Imagen real del sistema automatizado completo.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño muestral

En el control automático, la población lo conforman el número total de elementos del algoritmo de control, esto es:

$$\text{Población} = \text{NBi} + \text{NSf} + \text{NTPs} + \text{NCTs} + \text{NCDs}. \quad (24)$$

Donde:

NBi : número de bobinas internas.

NSf : número de salidas físicas.

NTPs : número de temporizadores.

NCTs : número de contactos.

NCDs : número de contadores.

Entonces, en referencia a lo descrito en la sección 3.1.2, se tiene que:

$$N_{Bi} = 3, N_{Sf} = 4, N_{TPs} = 3, N_{CTs} = 17 \text{ y } N_{CDs} = 1.$$

$$\text{Población} = 3 + 4 + 3 + 17 + 1 = 28.$$

El muestreo en el control automático es a criterio de los investigadores, incluyéndose en este caso solamente a las salidas físicas (Q1, Q2, Q3 y Q4) que se emplearon en el PLC; por lo cual, el tamaño de muestra es igual a cuatro (4).

En el llenado de botellones, el tamaño de población puede considerarse bastante grande, ya que en el PLC se puede programar para llenar hasta 1000 botellones con prender a la electrobomba una sola vez. Sin embargo, como muestra se ha considerado a veinte botellones, los cuales tienen un volumen teórico de 19 L. De este modo, el tamaño de muestra para el llenado resulta igual a veinte (20).

3.3. Procedimientos de recolección de datos

Para la recolección de datos, se han efectuado los siguientes procedimientos:

- **Determinación del número de entradas y salidas físicas empleadas en el PLC**

Este procedimiento se llevó a cabo de acuerdo a lo mostrado en el algoritmo de control, resultando: tres entradas (I1, I2, e I3) y cuatro salidas físicas (Q1, Q2, Q3 y Q4).

- **Determinación de la densidad del agua**

La densidad se determinó como un valor promedio entre 25 a 30 °C, resultado el siguiente valor:

$$\rho_a \approx 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ kg/L. (Chong y Ferreyra, 2023, p. 58).}$$

- **Determinación del caudal generado por la electrobomba a través de las electroválvulas 1, 2 y 3**

Este procedimiento se ha llevado a cabo independientemente en cada una de las electroválvulas, realizándose inicialmente la medición de la masa de cada uno de los veinte botellones vacíos que se tomaron como muestra, de lo cual ha resultado que todos

tienen 850 g = 0.850 kg. A continuación, se realizó el llenado de los tres botellones, para lo cual se programó en el PLC un tiempo de 30 s para cada uno. Luego, se realizó la medida de la masa de cada botellón lleno con agua y se determinó por diferencia con la masa del botellón vacío la masa del agua en cada botellón, haciéndose uso de la ecuación (6). Seguidamente, se aplicó la ecuación (7) para determinar el volumen de agua experimental en cada botellón. Finalmente, se hicieron uso de las ecuaciones (9), (10) y (11) para determinar el caudal generado por la electrobomba a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, respectivamente. En las tablas 4, 5 y 6, se puede ver los datos que se han requerido para determinar el caudal generado por la electrobomba a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, respectivamente.

Tabla 4. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 1.

M_{b1v}	M_{b1ca}	M_{ab1}	ρ_a
g	kg	kg	kg/L
850	0.850	19.35	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

M_{b1v} = masa del botellón 1 vacío, 0.850 kg.

M_{b1ca} = masa del botellón 1 con agua, 19.35 kg.

M_{ab1} = masa de agua en el botellón 1, 18.50 kg.

ρ_a = densidad del agua, 1 kg/L.

Tabla 5. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 2.

M_{b2v}	M_{b2ca}	M_{ab2}	ρ_a
g	kg	kg	kg/L
850	0.850	19.85	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$M_{\text{b}2\text{v}}$ = masa del botellón 2 vacío, 0.850 kg.

$M_{\text{b}2\text{ca}}$ = masa del botellón 2 con agua, 19.85 kg.

$M_{\text{ab}2}$ = masa de agua en el botellón 2, 19 kg.

ρ_a = densidad del agua, 1 kg/L.

Tabla 6. Datos necesarios para la determinación del caudal producido por la electrobomba a través de la electroválvula 3.

$M_{\text{b}3\text{v}}$	$M_{\text{b}3\text{ca}}$	$M_{\text{ab}3}$	ρ_a
g	kg	kg	kg/L
850	0.850	19.8	1.0

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

$M_{\text{b}3\text{v}}$ = masa del botellón 3 vacío, 0.850 kg.

$M_{\text{b}3\text{ca}}$ = masa del botellón 3 con agua, 19.8 kg.

$M_{\text{ab}3}$ = masa de agua en el botellón 3, 18.95 kg.

ρ_a = densidad del agua, 1 kg/L.

La aplicación de la ecuación (6), se indica a continuación:

$$M_{\text{ab}1} = M_{\text{b}1\text{ca}} - M_{\text{b}1\text{v}} = (19.35 - 0.850) \text{ kg} = 18.50 \text{ kg.}$$

$$M_{\text{ab}2} = M_{\text{b}2\text{ca}} - M_{\text{b}2\text{v}} = (19.85 - 0.850) \text{ kg} = 19 \text{ kg.}$$

$$M_{\text{ab}3} = M_{\text{b}3\text{ca}} - M_{\text{b}3\text{v}} = (19.8 - 0.850) \text{ kg} = 18.95 \text{ kg.}$$

Para determinar el volumen de agua experimental en cada uno de los tres botellones ($V_{\text{Eb}1}$, $V_{\text{Eb}2}$ y $V_{\text{Eb}3}$), se hace la aplicación de la ecuación (7), lo cual se muestra en detalle a continuación:

$$V_{\text{Eb}1} = \frac{M_{\text{ab}1}}{\rho_a} = \frac{18.50 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 18.50 \text{ L.}$$

$$V_{Eb2} = \frac{M_{ab2}}{\rho_a} = \frac{19 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 19 \text{ L.}$$

$$V_{Eb3} = \frac{M_{ab3}}{\rho_a} = \frac{18.95 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 18.95 \text{ L.}$$

Para determinar el caudal generado por la electrobomba a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, se aplica las ecuaciones (9), (10) y (11), respectivamente; pero, considerando el volumen de agua experimental en cada uno de los tres botellones:

$$Q_{GPE1} = \frac{V_{Eb1}}{t_{LL1}} = \frac{18.50 \text{ L}}{30 \text{ s}} = 0.617 \text{ L/s.}$$

$$Q_{GPE2} = \frac{V_{Eb2}}{t_{LL2}} = \frac{19 \text{ L}}{30 \text{ s}} = 0.633 \text{ L/s.}$$

$$Q_{GPE3} = \frac{V_{Eb3}}{t_{LL3}} = \frac{18.95 \text{ L}}{30 \text{ s}} = 0.632 \text{ L/s.}$$

Note que, para este caso, el tiempo de llenado fue el mismo para cada uno de los tres botellones, es decir: $t_{LL1} = t_{LL2} = t_{LL3} = 30 \text{ s}$.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis se datos, se han realizado los procedimientos que se mencionan a continuación:

- **Programación de ecuaciones en las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2023**
 - Para determinar la masa de agua contenida en cada botellón, se programó la ecuación (6).
 - La ecuación (7) se programó para determinar el volumen de agua experimental en cada botellón.
 - Las ecuaciones (9), (10) y (11), se programaron para determinar el caudal generado por la electrobomba a través de las electroválvulas 1, 2 y 3, respectivamente; pero, considerando el volumen de agua experimental en cada

uno de los tres botellones.

- Las ecuaciones (9), (10) y (11), se programaron para evaluar el tiempo de llenado de los botellones 1, 2 y 3, respectivamente; pero, considerándose el volumen teórico de cada botellón.

- **Aplicación del software LOGO!Soft Comfort V6.1**

- Elaboración y simulación del algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP.
- Transferencia de datos de una PC al PLC, lo cual se muestra en la figura 47 (se utiliza el comando Herramientas y luego la opción transferir PC→ LOGO!).

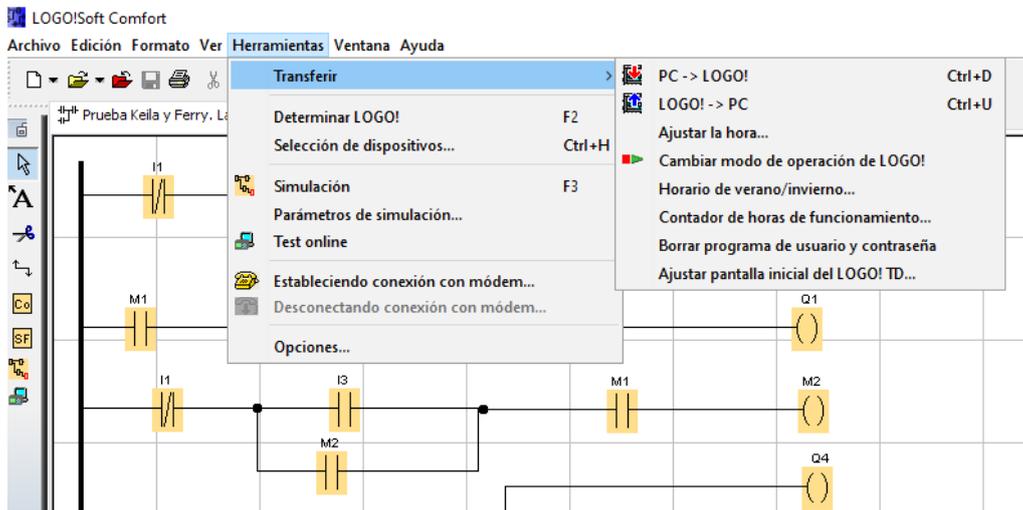


Figura 47. Transferencia de datos de una PC al PLC LOGO! de Siemens.

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Aspectos éticos

Como tesis y egresados de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, manifestamos que, en el presente trabajo de tesis no existe plagio de ningún tipo de otro trabajo de tesis o artículo científico, indicando evidencia clara y precisa con respecto a cada una de las fuentes de información que se nombraron en las bases teóricas. Además, expresamos nuestro compromiso de legitimidad de los resultados obtenidos referentes al tiempo de llenado y al volumen experimental, en los veinte botellones utilizados.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tabla 7. Masa de agua en cada uno de los veinte botellones utilizados.

Botellón	M_{bv}	M_{bca}	M_{ab}
N°	kg	kg	kg
1	0.850	19.60	18.75
2	0.850	19.75	18.90
3	0.850	19.80	19.95
4	0.850	19.62	18.77
5	0.850	19.75	18.90
6	0.850	19.80	18.95
7	0.850	19.60	18.77
8	0.850	19.75	18.90
9	0.850	19.80	18.95
10	0.850	19.60	18.75
11	0.850	19.75	18.90
12	0.850	19.80	18.95
13	0.850	19.65	18.80
14	0.850	19.75	18.90
15	0.850	19.80	18.95
16	0.850	19.65	18.80
17	0.850	19.75	18.90
18	0.850	19.80	18.95
19	0.850	19.65	18.80
20	0.850	19.75	18.90

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 7, se indican la masa de agua en cada uno de los veinte botellones utilizados, la cual se ha obtenido mediante la aplicación de la ecuación (6). Por ejemplo, para obtener el valor 18.90 kg, correspondiente para el quinto botellón, el cálculo fue el siguiente:

$$M_{\text{ab}} = M_{\text{bca}} - M_{\text{bv}} = (19.75 - 0.850) \text{ kg} = 18.90 \text{ kg.}$$

Tabla 8. Tiempo de llenado para cada uno de los veinte botellones utilizados.

Botellón N°	V_T L	t_{LL1} s	t_{LL2} s	t_{LL3} S	V_E L	Residuo L	Error %
1	19.00	30.8	–	–	18.75	0.25	1.32 %
2	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
3	19.00	–	–	30.1	19.95	0.05	0.26 %
4	19.00	30.8	–	–	18.77	0.23	1.21 %
5	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
6	19.00	–	–	30.1	18.95	0.05	0.26 %
7	19.00	30.8	–	–	18.77	0.23	1.21 %
8	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
9	19.00	–	–	30.1	18.95	0.05	0.26 %
10	19.00	30.8	–	–	18.75	0.25	1.32 %
11	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
12	19.00	–	–	30.1	18.95	0.05	0.26 %
13	19.00	30.8	–	–	18.80	0.20	1.05 %
14	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
15	19.00	–	–	30.1	18.95	0.05	0.26 %
16	19.00	30.8	–	–	18.80	0.20	1.05 %
17	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %
18	19.00	–	–	30.1	18.95	0.05	0.26 %
19	19.00	30.8	–	–	18.80	0.20	1.05 %
20	19.00	–	30.0	–	18.90	0.10	0.53 %

Fuente: Elaboración propia.

En las columnas 3, 4 y 5, se muestran los resultados del tiempo de llenado para los veinte botellones utilizados, los cuales se han obtenido haciéndose uso de las ecuaciones (9), (10) y (11), respectivamente. Cabe mencionar que el tiempo de llenado para los botellones 1, 4, 7, 10, 13, 16 y 19 es: $t_{LL1} = 30.8$ s. De la misma forma, el tiempo de llenado para los botellones 2, 5, 8, 11, 14, 17 y 20 es: $t_{LL2} = 30.0$ s. Asimismo, el tiempo de llenado para los botellones 3, 6, 9, 12, 15 y 18 es: $t_{LL3} = 30.1$ s. Por lo tanto, para determinar el tiempo de llenado del botellón 6, se utilizó la ecuación (11) tal como se indica a continuación:

$$t_{LL3} = \frac{V_T}{Q_{GPE3}} = \frac{19 \text{ L}}{0.632 \text{ L/s}} = 30.1 \text{ s.}$$

También, en la columna 6 de la tabla 8, se dan a conocer los resultados del volumen experimental en cada uno de los veinte botellones utilizados, los mismos que se obtuvieron mediante la aplicación de la ecuación (7). Por ejemplo, para obtener el volumen de agua experimental en el botellón 6, el cálculo fue el siguiente:

$$V_E = \frac{M_{ab}}{\rho_a} = \frac{18.95 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 18.95 \text{ L.}$$

El residuo del volumen de agua en los veinte botellones utilizados, se indica en la columna 7 de la tabla 8, lo cual se ha determinado restando el volumen de agua teórico con el volumen de agua experimental de cada botellón, es decir: $V_T - V_E$. Por ejemplo, para el botellón 6, el cálculo fue: Residuo = $V_T - V_E = (19.00 - 18.95) \text{ L} = 0.05 \text{ L}$, lo cual dio un error del 0.26 % con respecto al volumen teórico.

Tabla 9. Situación de la electroválvula 1 en relación a la condición de los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$.

M1	Contactos		Salida Q1	Situación de la electroválvula 1
	$\overline{T001}$	$\overline{T003}$		
1	1	1	1	Prendido
1	1	0	0	Apagado
1	0	0	0	Apagado
0	0	0	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Situación de la electrobomba en relación a la condición del contacto M2.

Contacto M2	Salida Q4	Situación de la electrobomba
1	1	Prendido
0	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Situación de la electroválvula 2 en relación a la condición de los contactos T001 y $\overline{T002}$.

Contactos		Salida	Situación de la electroválvula 2
T001	$\overline{T002}$	Q2	
1	1	1	Prendido
1	0	0	Apagado
0	0	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Situación de la electroválvula 3 en relación a la condición de los contactos T002 y $\overline{T003}$.

Contactos		Salida	Situación de la electroválvula 3
T002	$\overline{T003}$	Q3	
1	1	1	Prendido
1	0	0	Apagado
0	0	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 9, se muestra la situación de la electroválvula 1 en relación a la condición de los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$, la cual ha sido determinada mediante la ecuación (13).

En la tabla 10, se da a conocer la situación de la electrobomba en relación a la condición del contacto M2, la cual se ha determinado haciendo uso de la ecuación (15).

En la tabla 11, se indica la situación de la electroválvula 2 en relación a la condición de los contactos T001 y $\overline{T002}$, lo que a su vez se determinó mediante la ecuación (17).

En la tabla 12, se muestra la situación de la electroválvula 3 en relación a la condición de los contactos T002 y $\overline{T003}$, la misma que se evaluó con la ecuación (19).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

La tabla 9, muestra que la electroválvula 1 se encontrará prendida, siempre y cuando los contactos M1, $\overline{T001}$ y $\overline{T003}$, se encuentren cerrados. Es decir, la bobina interna M1 y el temporizador T001 deben encontrarse prendidos y el temporizador T003 debe estar apagado. Además, para encender a la bobina M1, necesariamente debe presionarse el pulsador I2 y el pulsador I1 es obligatorio que se encuentre como normalmente cerrado. Por lo tanto, se puede decir que existe relación entre la situación de la salida Q1 con la condición de las entradas I1 e I2.

La tabla 10, indica que la electrobomba se encontrará prendida, necesariamente si el contacto M2 se encuentra cerrado. También, para prender a la bobina interna M2, es necesario que se presionen los pulsadores I2 e I3 y el pulsador I1 debe hallarse como normalmente cerrado. Por lo tanto, se puede decir que existe relación entre la situación de la salida Q4 con la condición de las entradas I1, I2 e I3.

En la tabla 11, se puede ver que la electroválvula 2 se encontrará prendida, siempre y cuando los contactos T001 y $\overline{T002}$, se encuentren cerrados. Los contactos T001 y $\overline{T002}$ estarán cerrados, necesariamente si se presionan los pulsadores I2 e I3 y el pulsador I1 se encuentra como normalmente cerrado. En consecuencia, se puede decir que existe relación entre la situación de la salida Q2 con la condición de las entradas I1, I2 e I3.

En la tabla 12, es notorio que la electroválvula 3 se encontrará prendida, siempre y cuando los contactos T002 y $\overline{T003}$, se encuentren cerrados. Los contactos T002 y $\overline{T003}$ estarán cerrados, siempre y cuando se presionen los pulsadores I2 e I3 y el pulsador I1 se encuentre como normalmente cerrado. En consecuencia, se puede decir que existe relación entre la situación de la salida Q3 con la condición de las entradas I1, I2 e I3.

Chong y Ferreyra (2023, p. 71), hacen mención que el residuo del volumen de agua en un botellón, no debe exceder el 2 % del volumen teórico. En la columna 8 de la tabla 8, se puede ver que ninguno de los veinte valores es mayor que el 2 %; en conclusión, se puede decir que el sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, funciona eficientemente haciendo que el llenado de botellones sea óptimo.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- En la sección 3.1.2, se ha elaborado el algoritmo de control, el mismo que hizo posible realizar la simulación del llenado de botellones con agua y la determinación del orden de acoplamientos para las entradas y salidas físicas utilizadas en el PLC, lográndose de esta forma el primer objetivo específico y simultáneamente probándose la primera hipótesis específica.
- En la sección 3.1.3, se ha expresado mediante un conjunto de igualdades el algoritmo de control, las cuales representan a la relación entre la condición de las tres entradas (I1, I2 e I3), con la situación de cada una de las cuatro salidas físicas (Q1, Q2, Q3 y Q4) utilizadas del PLC, comprobándose matemáticamente la situación de las electroválvulas 1, 2 y 3 y de la electrobomba de llenado, de acuerdo a lo establecido en el algoritmo de control. Por lo tanto, se hace mención que se ha cumplido con el segundo objetivo específico y en forma paralela se ha probado la segunda hipótesis específica.
- Se ha evaluado el tiempo que cada una de las tres electroválvulas deben estar prendidas para llenar a los respectivos botellones. En este caso los botellones 1, 4, 7, 10, 13, 16 y 19, se llenaron mediante la electroválvula 1; los botellones 2, 5, 8, 11, 14, 17 y 20, se llenaron mediante la electroválvula 2; y los botellones 3, 6, 9, 12, 15 y 18, se llenaron mediante la electroválvula 3. En consecuencia, se manifiesta que se ha logrado el tercer objetivo específico y a su vez se ha probado la hipótesis específica correspondiente.
- Los resultados del residuo del volumen de agua en los veinte botellones utilizados, indican que la diferencia entre el volumen de agua teórico con el volumen de agua experimental no supera al 2 % del volumen de agua teórico; mostrándose de esta manera, que el sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP tiene una eficiencia mayor al 98 %, lo cual representa a la optimización del llenado de botellones en dicha Planta. De esta manera, se concluye el presente trabajo de tesis, cumpliéndose con los tres objetivos específicos y el objetivo general, e igualmente comprobándose cada una de las hipótesis correspondientes.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- En el caso de implementar un sistema automatizado para el llenado de botellones con agua, se recomienda utilizar el algoritmo de control elaborado en el presente trabajo de tesis.
- Se recomienda hacer uso de la ecuación (6) y el procedimiento indicado en la sección 3.3, para determinar la masa de agua contenida en cada botellón.
- Para determinar el volumen experimental de agua en cada botellón, se recomienda aplicar la ecuación (7), de la misma manera que se indicó en la sección 3.3.
- Se recomienda hacer uso de las ecuaciones (9), (10) y (11), para determinar el tiempo de funcionamiento de las electroválvulas 1, 2 y 3, respectivamente.
- Al incrementar la potencia de la electrobomba, se recomienda hacer uso de las ecuaciones (9), (10) y (11), para determinar de nuevo el caudal que esta genera a través de cada una de las tres electroválvulas.
- Es recomendable realizar inspecciones cada cierto tiempo a las conexiones eléctricas, la electrobomba de llenado y al PLC, con la finalidad de prevenir cualquier situación que pueda cambiar la eficiencia del sistema automatizado.
- Se recomienda que, al momento de realizar los acoplamientos o conexiones en las entradas y salidas físicas del PLC, hacerlo de acuerdo al orden indicado en el algoritmo de control.
- Se recomienda a los docentes encargados del dictado de las asignaturas de automatización de procesos químicos, mecánica de fluidos y tratamiento de aguas en la FIQ-UNAP, que motiven a los egresados para que se continúen realizando proyectos de tesis referidos a la automatización de equipos mediante la implementación de sistemas automatizados en donde se apliquen las bases teóricas de los mencionados cursos, los cuales servirán para la implementación del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de dicha facultad.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- CHONG, Pablo y FERREYRA, Juan. Construcción e instalación de un prototipo para llenado de botellones con agua y su implementación con un controlador lógico programable. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. pp. xii, 1-72.
- DÁVILA, Leonardo y GRÁNDEZ, David. Implementación de un sistema automatizado para el llenado y vaciado de un líquido en un tanque cilíndrico horizontal. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2024. pp. 10, 13, 15-16.
- DEL ÁGUILA, Jesús y HAQUIWARA, Irma. Diseño, construcción e instalación de un prototipo con controlador lógico programable para automatizar el tiempo de funcionamiento de cuatro electrobombas. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2022. pp. xii, 1-79.
- DÍAZ, José y MOREY, Derwin. Construcción e instalación de un prototipo para envasado y sellado de agua de mesa automatizado con Arduino. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2024. pp. x, 1-52.
- FABIAN, Jack. Implementación de un sistema de automatización para el control de pozas de tratamiento de agua aplicado en la zona de Ciénaga Norte y Tantahuatay en la Compañía Minera Coimolache. Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2021. 18 p.
- GÓMEZ, Hadryan y HUAYAS, Milagros. Mejoramiento del control automático de dos equipos del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la

Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana-2023. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2024. pp. 5-8, 10.

- HONORIO, José y MOLINA, Jhonatan. Diseño, construcción e instalación de un equipo para el estudio del control automático del nivel de líquido en dos tanques. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. 17 p.
- QUISPE, Esmelin. Diseño y automatización de un SCADA para una planta de cal en RSVIEW32, aplicando una red industrial Ethernet TCP/IP. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero de Sistemas. Arequipa, Perú: Universidad Católica Santa María, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, 2018. 41 p.
- RODRÍGUEZ, Julián; CERDÁ, Luis y BEZOS, Roberto. Automatismos Industriales. 2a. ed. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 2022. pp. 322, 339-342, 353.
ISBN 13: 978-84-1366-161-2.
- SARAVIA, Edgar. Diseño de un módulo educativo para mejorar la enseñanza en el área de control y automatización de la Universidad de Ciencias y Humanidades. Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico con mención en Telecomunicaciones. Lima, Perú: Universidad de Ciencias y Humanidades, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica con mención en Telecomunicaciones, 2019. pp. 22-23.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿Cómo se realiza la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana?</p> <p>Problemas específicos</p> <p>➤ ¿Cuál es el algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana?</p> <p>➤ ¿Existe alguna relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC?</p> <p>➤ ¿Cómo se evalúa el tiempo de llenado de cada botellón con agua?</p>	<p>Objetivo general Optimizar el llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.</p> <p>Objetivos específicos</p> <p>➤ Elaborar el algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.</p> <p>➤ Determinar la relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.</p> <p>➤ Evaluar el tiempo de llenado de cada botellón con agua.</p>	<p>Hipótesis general La optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, se realiza mediante la implementación de un sistema automatizado, el mismo que está conformado por un PLC, una electrobomba y tres electroválvulas.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <p>➤ El algoritmo de control que hace posible la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, es un diagrama tipo ladder.</p> <p>➤ Sí, existe relación entre la condición de las entradas con la situación de cada una de las salidas físicas del PLC.</p> <p>➤ El tiempo de llenado de cada botellón con agua, se evalúa mediante la división del volumen teórico con el caudal generado por la electrobomba.</p>	<p>VARIABLES</p> <p>Variables independientes</p> <p>En el control automático I1, I2 e I3: condición de las entradas del PLC que se acoplan a los pulsadores I1, I2 e I3.</p> <p>En el llenado V_T: volumen teórico. Q_{GPE1}, Q_{GPE2} y Q_{GPE3}: caudales generados por la electrobomba en los botellones 1, 2 y 3, respectivamente.</p> <p>Variables dependientes</p> <p>En el control automático Q1, Q2, Q3 y Q4: situación de las salidas físicas del PLC que se acoplan a las electroválvulas 1, 2, y 3 y a la electrobomba de llenado, respectivamente.</p> <p>En el llenado de botellones t_{LL1}, t_{LL2} y t_{LL3}: tiempos de llenado de los botellones 1, 2 y 3, respectivamente.</p>	<p>Abierto: 0</p> <p>Cerrado: 1</p> <p>L</p> <p>L/s, m³/s</p> <p>Apagado: 0</p> <p>Prendido: 1</p> <p>s</p>	<p>Tipo de investigación La presente investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional.</p> <p>Población y muestra</p> <p>En el control automático En el control automático, la población lo conformaron el número total de elementos del algoritmo de control, lo cual resulto veintiocho (28). El muestreo en el control automático fue a criterio de los investigadores, incluyéndose en este caso solamente a las salidas físicas (Q1, Q2, Q3 y Q4) que se emplearon en el PLC; por lo cual, el tamaño de muestra es igual a cuatro (4).</p> <p>En el llenado de botellones En el llenado de botellones, el tamaño de población puede considerarse bastante grande, ya que en el PLC se puede programar para llenar hasta 1000 botellones con prender a la electrobomba una sola vez. Sin embargo, como muestra se ha considerado a veinte botellones, los cuales tienen un volumen teórico de 19 L. De este modo, el tamaño de muestra para el llenado resulta igual a veinte (20).</p>

Anexo 2. Pruebas de funcionamiento del sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP.



Anexo 3. Especificaciones técnicas de los componentes principales del sistema automatizado.

Electroválvulas 1, 2 y 3

Material: acero inoxidable.

Marca: KLQD.

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

Voltaje: 220 VAC.

Presión de fluido: 0 a 1.0 Mpa.

Electrobomba de llenado

Marca: Lowara.

Voltaje: 220 VAC.

Potencia: 745 kW.

Caudal máximo: 65 L/min.

Altura dinámica máxima: 35 m.

Frecuencia: 60 Hz.

Controlador lógico programable (PLC)

Marca: Siemens

Modelo: LOGO! 230RC 6ED1 052-1FB00-0BA6.

Alimentación: AC/DC 115–240 V.

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

Salidas digitales = 4 (Q1, ..., Q4/relé de 10 A).

Anexo 4. Instructivo para el uso del sistema automatizado implementado en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP.

En la figura A1, se muestra un esquema del sistema automatizado a implementarse en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, para la optimización del llenado de botellones con agua. Como puede observarse en esta figura, los componentes principales del mencionado sistema son: tres electroválvulas, una electrobomba de llenado, un controlador lógico programable (PLC), tres pulsadores, cuatro leds y una llave térmica con su enchufe bipolar, los cuales cumplen funciones específicas en el momento que se lleva a cabo el llenado de botellones con agua.

La operación de llenado de botellones, se realiza del siguiente modo:

- Primeramente, el operador presiona el pulsador I2, prendiendo en ese mismo instante el led rojo (Q1), indicándose de esta manera que la electroválvula 1 (EVA1) ha sido prendida (figura A2).
- Seguidamente, se presiona el pulsador I3 para encender a la electrobomba de llenado (EBLL), lo cual se indicará mediante el encendido del led azul (Q4). En consecuencia, se inicia la operación de llenado con el botellón 1 (BTLL1). La EVA1 permanecerá prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL1 (figura A2).
- Al instante que se termina de llenar al BTLL1, automáticamente se apagará la EVA1 y se prenderá la electroválvula 2 (EVA2), los cuales se indicarán al apagarse el led rojo (Q1) y prenderse el led verde (Q2), respectivamente, iniciándose de este modo el llenado del botellón 2 (BTLL2). La EVA2 estará prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL2 (figura A2).
- En el mismo instante que se termina de llenar al BTLL2, automáticamente se apagará la EVA2 y se prenderá la electroválvula 3 (EVA3), los mismos que se mostrarán al apagarse el led verde (Q2) y prenderse el led naranja (Q3), respectivamente, empezando de esta manera el llenado del botellón 3 (BTLL3). La EVA3 se encontrará prendida todo el tiempo que se requiera para llenar al BTLL3 (figura A2).

- Al terminar de llenarse el BTL3, instantáneamente se apagará la EVA3 y se prenderá nuevamente la EVA1, iniciándose de este modo otro ciclo de llenado (figura A2).

Es preciso mencionar que el orden de acoplamientos para las entradas y salidas del PLC, es el siguiente:

- I1: físicamente es un pulsador normalmente abierto (NA), pero se programa como normalmente cerrado (NC), ya que es un pulsador de paro. Se acopla a la entrada 1 del PLC y al presionarse se apagan las salidas físicas Q1, Q2, Q3 y Q4.
- I2: pulsador normalmente abierto (NA) que se acopla a la entrada 2 del PLC y al presionarse se prende únicamente a la EVA1.
- I3: pulsador normalmente abierto (NA) que se acopla a la entrada 3 del PLC y al presionarse se prende a la EBLL, iniciándose de esta forma el llenado de botellones.
- Q1: salida física 1 del PLC que se representa por el led rojo y que se acopla a la EVA1.
- Q2: salida física 2 del PLC que se representa por el led verde y que se acopla a la EVA2.
- Q3: salida física 3 del PLC que se representa por el led naranja y que se acopla a la EVA3.
- Q4: salida física 4 del PLC que se representa por el led azul y que se acopla a la EBLL.

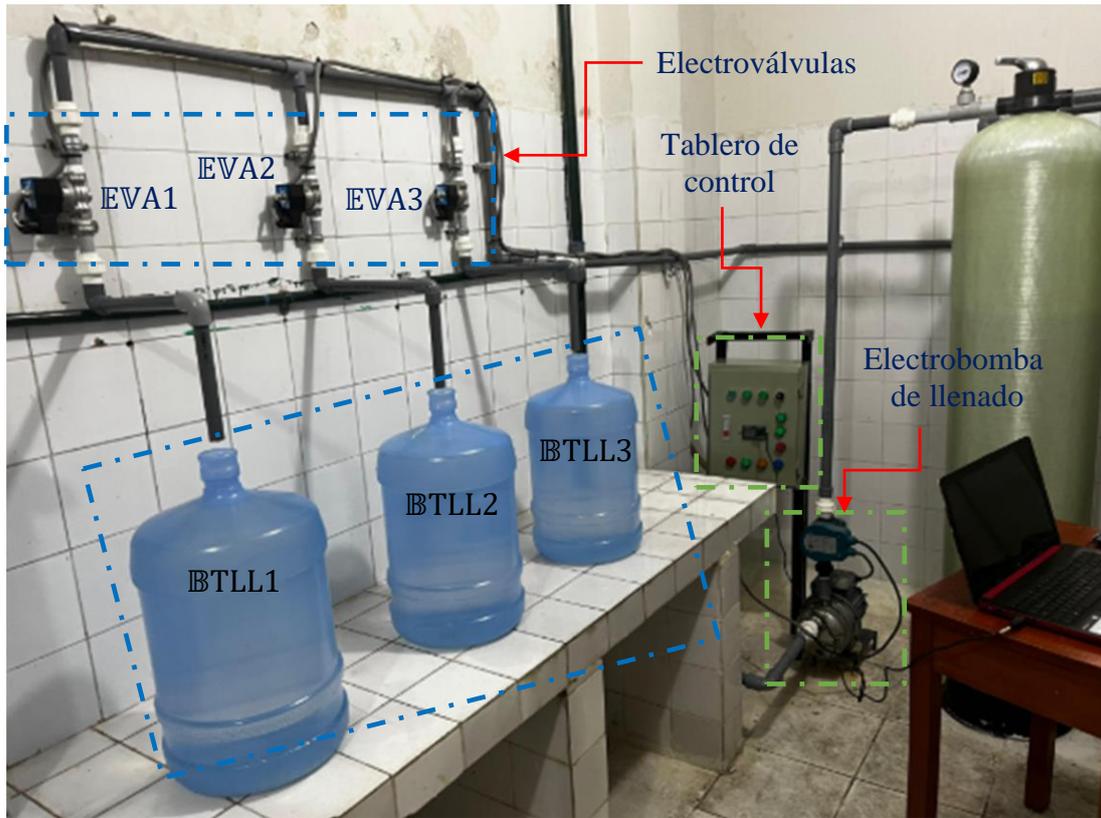


Figura A1. Imagen real del sistema automatizado completo.

Fuente: Elaboración propia.

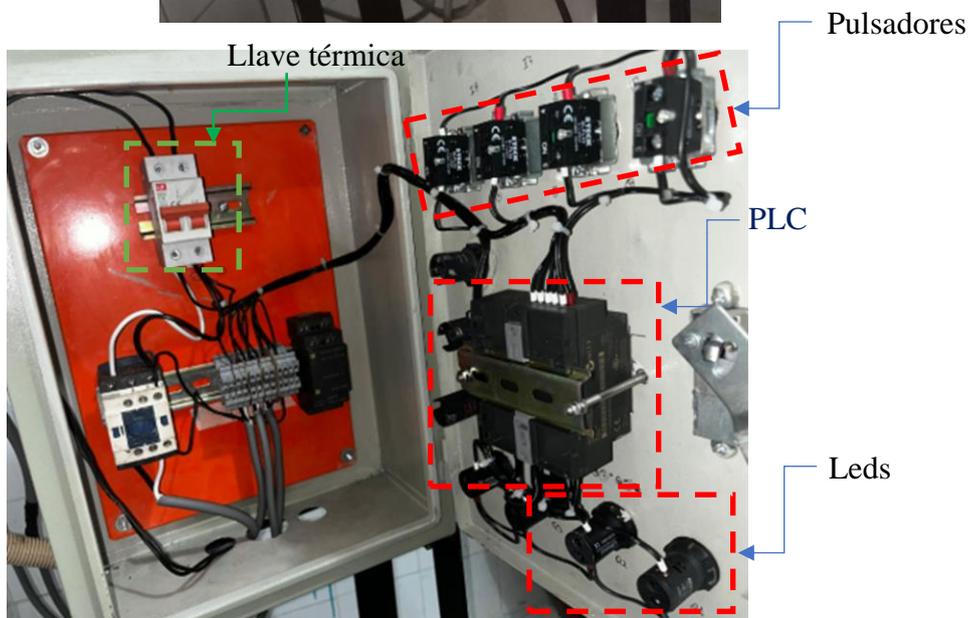


Figura A2. Componentes del sistema automatizado: PLC, leds, pulsadores y llave térmica.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5. Algoritmo de control.

El algoritmo de control que permite la optimización del llenado de botellones en la Planta de Agua de la FIQ-UNAP, es un diagrama tipo ladder, el mismo que está estructurado en los siguientes períodos:

- **Verificación del prendido de la electroválvula 1**

Para iniciar el llenado, primeramente, se debe verificar que la electroválvula 1 (EVA1) esté prendida, para lo cual se presiona el pulsador I2 (NA), haciendo que instantáneamente se prenda la bobina interna M1 y a su vez su contacto respectivo se quede retenido permitiendo el flujo eléctrico hacia la salida Q1, la cual se acopla a la EVA1.

- **Prendido de la electrobomba de llenado y del temporizador T001**

Una vez que se verifica que la EVA1 se encuentra prendida, se debe prender a la electrobomba de llenado (EBLL) y al temporizador T001, para lo cual se debe presionar el pulsador I3 (NA), haciendo que se prenda la bobina interna M2 y su contacto respectivo se quede retenido accediendo el flujo eléctrico hacia la salida Q4 que está acoplada a la EBLL y hacia el temporizador T001.

- **Inicio del llenado de botellones con agua**

Al prenderse el temporizador T001, se inicia el llenado de botellones con agua, ya que este temporizador tiene la función de controlar el tiempo que la EVA1 debe estar prendida para llenar al botellón 1 (BTLL1).

- **Prendido de la electroválvula 2 y del temporizador T002**

Cuando el temporizador T001 termina de contar su tiempo respectivo, su contacto normalmente cerrado ($\overline{T001}$) se abre apagando a la salida Q1 (acoplada a la EVA1) y su contacto normalmente abierto (T001) se cierra prendiendo a la salida Q2 que está acoplada a la electroválvula 2 (EVA2) y al temporizador T002. Asimismo, el temporizador T002 inicia el conteo del tiempo que se encontrará prendida la EVA2.

- **Prendido de la electroválvula 3 y del temporizador T003**

Al terminar el temporizador T002 de contar su tiempo respectivo, su contacto normalmente cerrado ($\overline{T002}$) se abre apagando a la salida Q2 (acoplada a la EVA2) y su contacto normalmente abierto (T002) se cierra prendiendo a la salida Q3 (acoplada a la EVA3), a la bobina interna M4 y al temporizador T003, dando inicio de esta manera al conteo del tiempo que estará prendida la EVA3. Cuando el temporizador T003, termina de contar su tiempo respectivo, su contacto cerrado $\overline{T003}$ se abre apagando de este modo a la salida Q3 y prendiendo nuevamente a la salida Q1, dando inicio a un nuevo ciclo de llenado.

- **Programación del contador C004**

Es posible programar el contador C004, especificando la cantidad de botellones que se quiere llenar en la respectiva ventana de parámetros; es decir, cada vez que se termine de llenar un botellón con agua, se debe enviar una señal al contador C004 para su respectivo registro.

- **Reseteo del contador C004**

Cada vez que se presione el pulsador I2 (NA), se reinicia el conteo de botellones con agua; es decir, el contador C004 vuelve a cero (0).

- **Culminación del llenado de botellones**

Cuando la cantidad de botellones alcance el valor especificado, el contacto normalmente cerrado ($\overline{C004}$) del contador se abrirá apagando a la bobina interna M1 y de esa forma se apagarán todas las salidas del diagrama ladder.

Además, en algún instante que se requiera interrumpir el llenado, es posible presionar el pulsador I1, interrumpiendo el flujo eléctrico hacia las salidas del diagrama ladder.