



UNAP



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL
AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
EN SECADORES CON CALENTAMIENTO ELÉCTRICO**

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

PRESENTADO POR:

**EVER LUIS BARDALES VARGAS
MARLISA KATIUSKA ROJAS PADILLA**

ASESORES:

**Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.**

IQUITOS, PERÚ

2024



UNAP

**Facultad de Ingeniería Química
Unidad de Investigación**



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 008-CGT-FIQ-UNAP-2024

En Iquitos, en el auditorio de la Facultad de Ingeniería Química, a los 02 días del mes de MAYO de 2024, a horas 17:05, se dio inicio a la sustentación pública de la Tesis titulada: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN SECADORES CON CALENTAMIENTO ELÉCTRICO"**, aprobado con Resolución Decanal N° 104-2024-FIQ-UNAP, presentado por los Bachilleres: **Ever Luis Bardales Vargas y Marlisa Katuska Rojas Padilla**, 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° 068-2024-FIQ-UNAP está integrado por:


Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.	Presidente
Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.	Miembro
Ing. LUIS ANTONIO FLORES FLORES, Dr.	Miembro


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


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


La sustentación pública y la tesis ha sido: APROBADA con la calificación BUENA, estando los bachilleres aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Químico. Siendo las 18:20 se dio por terminado el acto de SUSTENTACION


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


Ing. JORGE ANTONIO SUÁREZ RUMICHE, Dr.
Miembro


Ing. LUIS ANTONIO FLORES FLORES, Dr.
Miembro


Ing. FERNANDO JAVIER SALAS BARRERA, MSc.
Asesor


Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.
Asesor


Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Asesor



JURADO Y ASESOR



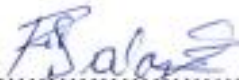
.....
Ing. JORGE ARMANDO VÁSQUEZ PINEDO, Dr.
Presidente de Jurado



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



.....
Ing. LUIS ANTONIO FLORES FLORES, Dr.
Miembro



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



.....
Ing. KARENTH ELENA RAMÍREZ ÁLVAREZ, MSc.
Asesor



.....
Ing. JORGE LUIS CARRANZA GONZALES, Mtro.
Asesor

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

NOMBRE DEL TRABAJO

**FIQ_TESIS_BARDALES VARGAS_ROJAS
PADILLA.pdf**

AUTOR

BARDALES VARGAS / ROJAS PADILLA

RECuento DE PALABRAS

11248 Words

RECuento DE CARACTERES

55774 Characters

RECuento DE PÁGINAS

47 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.3MB

FECHA DE ENTREGA

Jun 5, 2024 3:11 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jun 5, 2024 3:12 PM GMT-5

● 18% de similitud general

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

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

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

DEDICATORIA

A mis padres Segundo Jacinto Curitima Ahuanari y Ruth Elizabeth Vargas Dosantos, este logro se lo debo a ustedes y es para ustedes.

A mis queridos hermanos Briggs y Emir, deseo inspirarlos a seguir sus sueños y cumplir sus objetivos, siempre tendrán mi apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros, por cada palabra de ánimo, en especial a ti Mar, por enseñarme a no rendirme, por ayudarme a afrontar las frustraciones y superar las dificultades.

Ever Luis Bardales Vargas

Dedico este trabajo a Dios por haberme otorgado la oportunidad de llegar hasta este momento tan importante en mi formación personal, por siempre cuidarme y guiarme en el buen camino, por darme fuerzas y perseverancia para culminar.

A mis Padres por ser el motor para la culminación de mi formación personal, por ser ejemplo de lucha, valentía y su apoyo incondicional, a mis hermanos Melisa y Róger que siempre me enseñaron las ganas de superación ante cada dificultad de la vida.

Marlisa Katuska Rojas Padilla

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiarme y darme la fortaleza necesaria para obtener este logro.

A mis queridos padres Segundo Jacinto Curitima Ahuanari y Ruth Elizabeth Vargas Dosantos, un eterno agradecimiento por todo el esfuerzo, paciencia y apoyo incondicional que me brindaron desde mi niñez, y aún más durante mis años de formación profesional.

A mi prestigiosa Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, que me acogió y me formó.

A mi querida Facultad de Ingeniería Química, docentes y trabajadores que fueron parte de este camino de formación.

A cada familia, docente y trabajador, que me brindó su apoyo desinteresado en este proceso, mi eterno agradecimiento para todos ustedes.

Ever Luis Bardales Vargas

El trabajo de tesis acabado se lo agradezco a Dios por darme la bendición de poder llegar a este punto de mi vida y por permitir que cumpla uno de mis anhelados sueños.

Agradezco a mis Padres, a mis abuelitos por su apoyo incondicional, por sus impulsos en los momentos más difíciles de mi vida para alcanzar uno de mis objetivos principales, culminar mi carrera, gracias a ellos hoy puedo alcanzar mi meta.

A la Facultad de Ingeniería Química, por darnos el privilegio de formar parte de sus aulas, a todos mis maestros que aportaron en mi desarrollo profesional y como persona.

Marlisa Katiuska Rojas Padilla

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	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. Bases teóricas	5
1.2.1. Controlador lógico programable (PLC)	5
1.2.2. Arquitectura básica de un PLC	5
1.2.3. Lenguajes que se emplean en la programación de un controlador lógico	6
1.2.4. Fundamentos del control lógico	7
1.2.5. Operadores booleanos	7
1.2.6. Elementos más utilizados en la programación de un PLC	12
1.2.7. Activación de una bobina interna del PLC	13
1.2.8. Secado de materiales	14
1.2.9. Control automático	15
1.3. Definición de términos básicos	15
1.3.1. Sensor	15
1.3.2. Controlador	16
1.3.3. Temperatura	16
1.3.4. Humedad relativa	16
1.3.5. Variables de la automatización	17
1.3.6. Sistema de control a lazo abierto	18
1.3.7. Sistema de control a lazo cerrado	18
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	20
2.1. Formulación de la hipótesis	20
2.2. Variables y su operacionalización	20

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño	22
3.1.1. Propuesta de diseño para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	23
3.1.2. Circuito lógico para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	25
3.1.3. Sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC	30
3.1.4. Determinación del número de entradas y salidas que se utilizan en el PLC	31
3.1.5. Esquema de instalación eléctrica	31
3.1.6. Construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	33
3.1.7. Transferencia de datos desde una computadora al PLC	35
3.2. Diseño muestral	36
3.3. Procedimientos de recolección de datos	37
3.4. Procesamiento y análisis de datos	37
3.5. Aspectos éticos	38
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	39
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	43
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	44
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	45
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	46
ANEXOS	49
Anexo 1. Matriz de consistencia	50
Anexo 2. Especificaciones técnicas de los componentes principales del prototipo para el control de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	51
Anexo 3. Manual de instrucciones del prototipo para el control de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de verdad del operador booleano SI	8
Tabla 2. Tabla de verdad del operador booleano NO	9
Tabla 3. Tabla de verdad del operador booleano &	10
Tabla 4. Tabla de verdad del operador booleano O	11
Tabla 5. Elementos más utilizados en la programación de un PLC	12
Tabla 6. Operacionalización de las variables	21
Tabla 7. Estado de Q1, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1	39
Tabla 8. Estado de Q2, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1	39
Tabla 9. Estado de Q3, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1	39
Tabla 10. Estado de Q1, en relación al valor medido por el sensor de temperatura	41
Tabla 11. Estado de Q2, en relación al valor medido por el sensor de humedad relativa	42
Tabla 12. Estado de Q3, en relación al valor medido por el sensor de humedad relativa	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. PLC con ocho entradas discretas y cuatro salidas físicas de relé	6
Figura 2. Esquema del operador booleano SI	8
Figura 3. Esquema del operador booleano NO	9
Figura 4. Esquema del operador booleano &	10
Figura 5. Esquema del operador booleano O	11
Figura 6. Diagrama ladder de la activación de una bobina interna del PLC	14
Figura 7. Diagrama de estado de los elementos que conforman la activación de B1	14
Figura 8. Controlador digital de temperatura integrado a un sensor tipo termocupla	16
Figura 9. Sistema de control a lazo abierto	18
Figura 10. Sistema de control a lazo cerrado	18
Figura 11. Esquema del diseño de investigación	22
Figura 12. Propuesta de diseño para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	24
Figura 13. Diagrama ladder para la activación de la marca M1	27
Figura 14. Diagrama ladder para el prendido de la resistencia eléctrica y del ventilador	28
Figura 15. Diagrama ladder para el prendido del extractor	29
Figura 16. Esquema de instalación eléctrica	32
Figura 17. Imagen real del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	33
Figura 18. Imagen real de los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico	34
Figura 19. Imagen real del ventilador y el extractor	34
Figura 20. Cable de transmisión de datos entre una computadora y el PLC	35
Figura 21. Transferencia de datos de una computadora al PLC Zelio SR3 B101BD	35

RESUMEN

La actual tesis tuvo como objetivo general: diseñar y construir un prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico; para lo cual, inicialmente se realizó una propuesta de diseño para la construcción de dicho prototipo, determinándose de esta forma que sus componentes principales son: un PLC, un controlador de temperatura, un controlador de humedad relativa, un túnel cilíndrico, una resistencia eléctrica, un ventilador y un extractor. Seguidamente, se elaboró el circuito lógico mediante el uso del software Zelio Soft2 V5.4.2, lo cual permitió estipular el número de entradas y salidas físicas que se emplearon en el PLC, las cuales son: cuatro entradas (I1, I2, IB y IC) y tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3); en las mismas que se conectaron el pulsador I1, el pulsador I2, el contacto del controlador de temperatura, el contacto del controlador de humedad relativa, la resistencia eléctrica, el ventilador y el extractor, respectivamente. Los resultados de las pruebas de funcionamiento indicaron lo siguiente: el estado de la entrada IB se relaciona directamente con el estado de Q1 del PLC, existe una relación directa entre el estado de IC con el estado de Q2 del PLC; por último, existe una relación inversa entre el estado de la entrada IC con el estado de la salida física Q3 del PLC. De este modo se concluyó la presente tesis, efectuándose el objetivo general y simultáneamente demostrándose la hipótesis general.

Palabras clave: temperatura, humedad relativa, secador, calentamiento eléctrico, controlador, entradas y salidas físicas de un PLC.

ABSTRACT

The general objective of the present thesis was: being designed for and constructing a prototype for the automatic control of temperature and relative humidity in driers with electric heating; for which, initially came true a designing proposal for the construction of said prototype, we determine in this way that his main components are: a PLC, a control of temperature, a relative humidity control, a cylindrical tunnel, an electrical resistance, a fan and an extractor. Straightaway, became elaborate the logic circuit making use of the software Zelio Soft2 V5.4.2, which allowed determining the quantity of inputs and physical outs that were used in the PLC, which worked out: four inputs (I1, I2, IB and IC) and three physical outs (Q1, Q2 and Q3); in the same ones that got connected the push-button I1, the push-button I2, the contact of the control of temperature, the contact of the control of relative humidity, the electrical resistance, the fan and the extractor, respectively. The results of performance testings suggested the following: a direct relationship between the entrance state is IB with the state of the physical exit Q1 of the PLC, there is a direct relationship between the entrance state IC with the state of the physical exit Q2 of the PLC; finally, an inverse relationship between the entrance state is IC with the state of the physical exit Q3 of the PLC. This way the present thesis was concluded, coming true with the realistic general and simultaneously trying on his general hypothesis.

Keywords: temperature, relative humidity, drier, electric heating, controller, inputs and physical outs of a PLC.

INTRODUCCIÓN

En forma general, la automatización de procesos industriales, tiene como fines mejorar el control de la información, optimizar los recursos de una empresa (humanos financieros, materiales, tecnológicos, etc.), generar la mayor cantidad de bienes y la reducción del consumo de producción; es decir, se debe reducir considerablemente el trabajo manual de los profesionales, trayendo como consecuencia una mayor rentabilidad, siendo esto un factor primordial para el éxito de toda empresa.

Los cursos de Automatización de Procesos Químicos y Operaciones Unitarias, son obligatorios en el plan de estudios de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP); pues en estas asignaturas el estudiante de la FIQ-UNAP debe desarrollar las capacidades para diseñar, simular y optimizar operaciones unitarias como destilación, evaporación, filtración y secado, mediante el control automático de variables industriales como nivel de líquido, flujo, presión, temperatura y humedad relativa, en lo cual es primordial que haga uso de los controladores lógicos programables (PLC) y software especializado en ingeniería (Zelio Soft2 V5.4.2, Wolfram Mathematica V13.0 y Aspen HYSYS V14.0). Sin embargo, hasta la fecha los laboratorios de automatización de procesos y operaciones unitarias no cuentan con la implementación adecuada, existiendo sólo tres equipos con implementación de PLC, por lo que es necesario contar con más equipos donde el estudiante pueda desarrollar las habilidades en las mencionadas asignaturas. Básicamente se requiere que en la FIQ-UNAP, el dictado de las asignaturas en mención sea adecuado, para lo cual es necesario más prototipos de pruebas con implementación de PLC, donde el docente pueda dar a conocer al estudiante, la forma de cómo controlar automáticamente las variables que se encuentran involucradas en un proceso industrial, tales como presión, temperatura, flujo volumétrico, nivel de líquido, tiempo de funcionamiento, humedad relativa, etc.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, es que, en la presente investigación, se propone a continuación la pregunta general: ¿cuál sería el prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico?

De este modo y en concordancia al problema general, se proponen a continuación los problemas específicos:

Problemas específicos

- ¿Cuál es el circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico?
- ¿Existirá el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan el estado de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC?
- ¿Cuántas son las entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico?

Entonces, en relación al problema general y los problemas específicos, se crean los siguientes objetivos:

Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

Objetivos específicos

- Elaborar el circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.
- Deducir el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC.
- Determinar el número de entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

El prototipo diseñado y construido en la actual investigación, tendrá mucha importancia en la FIQ-UNAP, porque permitirá que se realicen las prácticas de

laboratorio de las asignaturas en mención, haciendo de este modo que los estudiantes puedan desarrollar las siguientes competencias:

- Realizar programas en lenguaje ladder, para sistemas automatizados con implementación de PLC, mediante los cuales se pueda hacer el control de las diferentes variables (temperatura, humedad relativa, flujo de aire, etc.), que intervienen en la operación unitaria de secado de materiales.
- Identificar, que entradas y salidas físicas del PLC, se deben enlazar con los sensores, los pulsadores (NA y NC) y los actuadores (luces led, ventilador, resistencia eléctrica y extractor), cuando se realice la automatización de la operación de secado.

Esta investigación, está compuesta por ocho capítulos, los mismos que se mencionan a continuación:

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

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

- Huamán y Mamani (2019, pp. xvi, 113-120), efectuaron una investigación la cual se titula: Diseño e implementación de un prototipo de secador de café automatizado. El objetivo general de esta tesis fue realizar el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de secado para granos de café, elaborándose para esto un procedimiento de control con realimentación para el proceso de calefacción estable, el cual consistía en que los granos de café que entran húmedos alcancen permanencia a 45 °C en la cámara de secado uniforme. Para dimensionar los componentes eléctricos y electrónicos del sistema, realizaron previamente el diseño y simulación utilizando el software Catia V5 (Computer-Aided Three dimensional Interactive Application). Los resultados de las diferentes pruebas de funcionamiento del sistema, indicaron que para obtener un producto seco con 11 % de humedad, la operación de secado debe durar 20 h. También realizaron cálculos sobre el presupuesto total del prototipo, lo cual incluía el consumo energético y la implementación mecánica, eléctrica y electrónica.
- Hernández et al. (2019, p. 1-10), realizaron el artículo científico titulado: Análisis y diseño de la automatización del proceso de secado de piezas en celdas de manufactura. En esta investigación hicieron uso de la energía ultrasónica en el secado automático de piezas manufacturadas, en lo cual tuvieron en cuenta la temperatura para diferentes situaciones. Los resultados que obtuvieron, muestran que los procesos automático y manual de secado de 16 piezas, demoran en promedio 14.97 s y 63.68 s, respectivamente. De esta forma concluyeron que la implementación de este sistema hace que la velocidad de secado en cada una de las piezas aumente en 4.25 veces; además que no se genera oscilaciones y golpes entre las mismas.
- Aduato y Portilla (2019, pp. x, 38-54), realizaron la tesis titulada: Modelamiento de un sistema de Control no Lineal a Lazo Cerrado para Optimizar un Secador tipo Rotatubos en la Producción de Harina de Pescado. El objetivo general de este trabajo fue realizar la formulación matemática de un secador rotatubos para la producción de harina de pescado, en lo cual realizaron la programación de un

modelo matemático en Simulink de Matlab, el cual fue deducido aplicando las ecuaciones de balance de materia y energía en el secador. Mediante las simulaciones del sistema en lazo abierto y lazo cerrado, pudieron evaluar en el ingreso, el flujo de vapor, el porcentaje de agua y el flujo del Scrap; asimismo, como estas cantidades afectan al porcentaje de agua en la salida, determinando de ese modo que el procedimiento de control en lazo cerrado posee la más baja diferencia del porcentaje de agua en la salida, en relación a un valor designado entre 14 y 18 %. Adicionalmente obtuvieron que la proporción de regreso del agua de alimentación en el sistema en lazo cerrado es igual a 0.92.

1.2. Bases teóricas

1.2.1. Controlador lógico programable (PLC)

En el campo de la automatización, un controlador lógico programable es conocido por su abreviación en inglés como PLC (Programmable Logic Controller) y en la actualidad se aplica en los diferentes campos de la automatización industrial, con la finalidad de controlar automáticamente las diferentes variables (flujo, temperatura, presión, humedad relativa, etc.) que intervienen en los procesos de producción (Montes, 2018, p. 80; Chong y Ferreyra, 2023, pp. 5-6). Todo PLC posee un software específico para su programación, mediante el cual se puede diseñar un circuito lógico que permite realizar la simulación de un proceso industrial (Chong y Ferreyra, 2023, p. 6).

1.2.2. Arquitectura básica de un PLC

La arquitectura de un PLC es muy similar a la de una computadora; es decir, está conformado principalmente de los conectores L y N para el ingreso de energía, un CPU (Unidad Central de Procesamiento), un número determinado de entradas y salidas físicas y un puerto de comunicación (Eustaquio y Gilio, 2023, p. 30). El CPU al ser un componente interno, está conformado básicamente por un microprocesador y la memoria de programa (Eustaquio y Gilio, 2023, p. 30). También, algunos modelos de PLC poseen un display, en cual se puede visualizar los programas mediante las teclas direccionales.

En la figura 1, se muestra un PLC en el cual el ingreso de corriente eléctrica debe tener un intervalo de voltaje entre 115 – 240 VCA (voltaje de corriente alterna), cuenta

con ocho (8) entradas (I1, I2, ..., I8) discretas y cuatro (4) salidas físicas de relé (Q1, Q2, ..., Q4). Huayhua (2017, pp. 11-12), menciona que, al realizar las conexiones eléctricas de un PLC, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Los generadores de señales, tales como pulsadores, interruptores, sensores, botones, etc., se deben conectar a las entradas (I1, I2, ..., I8).
- Los actuadores, tales como resistencias eléctricas, ventiladores, extractores, compresores, lámparas, luces piloto, etc., se deben conectar a las salidas físicas (Q1, Q2, ..., Q4).

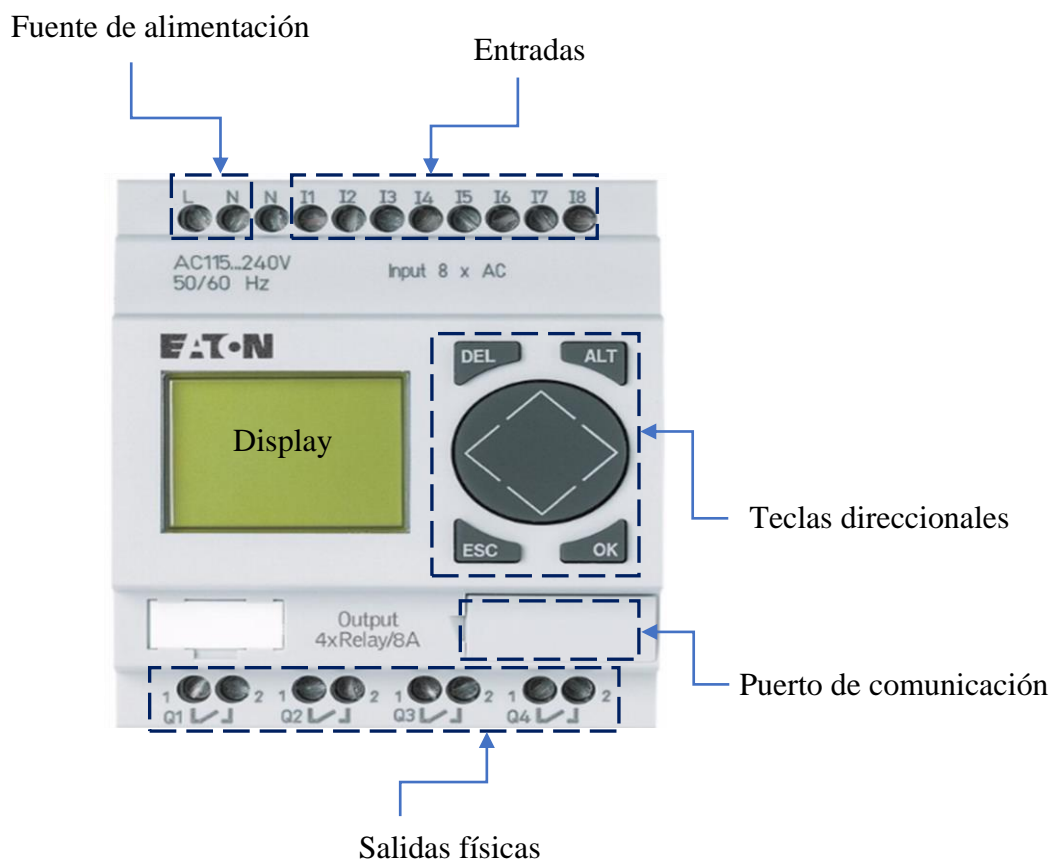


Figura 1. PLC con ocho entradas discretas y cuatro salidas físicas de relé.

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

1.2.3. Lenguajes que se emplean en la programación de un controlador lógico

Actualmente, existen cuatro lenguajes que se utilizan cuando se programa un PLC, de los cuales dos se representan mediante gráficos y los otros dos mediante texto (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 11-12).

Representación mediante gráficos

- **Diagrama ladder o lógica de contactos.** También se conoce como lenguaje escalera y es bastante similar a un diagrama eléctrico o a un circuito lógico cableado, el mismo que se encuentra conformado por un conjunto de contactos que hacen posible la activación o desactivación de una salida o bobina (Huayhua, 2017, p. 37; Chong y Ferreyra, 2023, p. 12).
- **Diagrama de bloques funcionales (BDF).** Este lenguaje está conformado por un conjunto de órdenes, las mismas que se fundamentan en las funciones del álgebra booleana, tales como: IF, NOT, AND, OR, Set, Reset, etc. (Huayhua, 2017, p. 39).

Representación mediante texto

- **Lista de instrucciones (Instruction List).** Está fundamentado en las bases teóricas del lenguaje ensamblador (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 322).
- **Texto estructurado (Structured Text).** Está establecido en los lenguajes más elevados como C y C⁺⁺ (Gómez y Huayas, 2024, p. 8).

1.2.4. Fundamentos del control lógico

La principal aplicación del control lógico es la automatización de procesos industriales y se fundamenta en las propiedades del álgebra de booleana (Honorio y Molina, 2023, p. 9). Un sistema digital puede ser simbolizado mediante un contacto y su condición se puede representar mediante una variable booleana a la cual solo se le puede asignar las cantidades binarias: 0 y 1; los mismos que muestran si el contacto está abierto o cerrado, respectivamente (Honorio y Molina, 2023, p. 9; Gómez y Huayas, 2024, pp. 8-9).

1.2.5. Operadores booleanos

Los operadores booleanos son componentes electrónicos que tienen la función de realizar procedimientos matemáticos, en relación a un algoritmo lógico (Honorio y Molina, 2023, p. 9). El circuito lógico o algoritmo de control para un determinado proceso

industrial, está conformado por un conjunto de operadores booleanos, los cuales se pueden diseñar y simular mediante el software con el que se programa el PLC.

- **Operador booleano IF o SI.** Es conocido como la compuerta de la igualdad, ya que en su salida tiene la misma cantidad binaria que en su entrada (Del Águila y Haquiwara, 2022, pp. 6-7; Honorio y Molina, 2023, p. 9).

En la tabla 1, se indica el estado de la salida Φ , de acuerdo a la condición de la entrada \mathbb{I} .

Tabla 1. Tabla de verdad del operador booleano SI.

\mathbb{I}	Φ
0	0
1	1

Fuente: Del Águila y Haquiwara, 2022, p. 8; Chong y Ferreyra, 2023, p. 7.

En la figura 2, se puede ver la representación del operador booleano SI, por medio de los lenguajes de programación ladder y BDF. En consecuencia, en relación a lo que se muestra en la tabla 1 y la figura 2, se indica que Φ se encontrará prendida o activada, únicamente si la condición de la entrada \mathbb{I} es cerrado; es decir, si la cantidad binaria del contacto \mathbb{I} tiene valor 1.

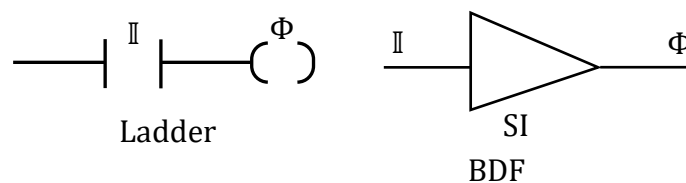


Figura 2. Esquema del operador booleano SI.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 7.

En efecto, la ecuación lógica del operador booleano SI, es:

$$\mathbb{I} = \Phi . \tag{1}$$

- **Operador booleano NOT o NO.** También es conocido como el negativo o inverso, lo cual se debe a que en su salida siempre resulta un valor binario contrario al de su entrada (Chong y Ferreyra, 2023, p. 8; Honorio y Molina, 2023, p. 10). La tabla de verdad del operador booleano NO, es:

Tabla 2. Tabla de verdad del operador booleano NO.

\mathbb{I}	Φ
0	1
1	0

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 8; Lozano, 2020, p. 25.

La representación del operador booleano NO, por medio de los diagramas ladder y BDF, se indican en la figura 3. Téngase en cuenta que, en este caso, el símbolo $\bar{\mathbb{I}}$ representa a la negación de \mathbb{I} .

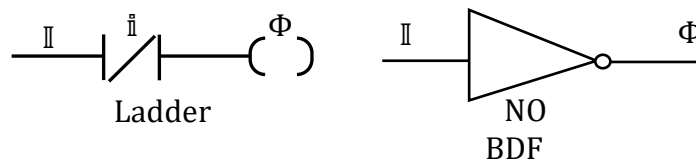


Figura 3. Esquema del operador booleano NO.

Fuente Chong y Ferreyra, 2023, p. 8; Lozano, 2020, p. 25.

En concordancia a la tabla 2 y la figura 3, es posible indicar que la salida Φ se encontrará prendida, exclusivamente si la condición del contacto \mathbb{I} es abierto; es decir, si la cantidad binaria del contacto \mathbb{I} es igual a 0.

Entonces, la ecuación lógica del operador booleano NO, es:

$$S = \text{NO}(\mathbb{I}) = \bar{\mathbb{I}}. \quad (2)$$

- **Operador booleano AND o &.** El operador booleano AND o &, se relaciona con el proceso lógico de la multiplicación, ya que hace posible efectuar el producto binario de las entradas; entonces, su salida se encontrará prendida (cantidad binaria 1), siempre que todas sus entradas se encuentren cerradas (cantidad binaria

1) (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2014, p. 292; Chong y Ferreyra, 2023, p. 9; Lozano, 2020, p. 24). El operador booleano & debe estar conformado como mínimo con dos entradas y una salida; en efecto, el estado de la salida es el resultado de multiplicar todas las cantidades binarias de las entradas (Lozano, 2020, p. 24).

La tabla de verdad y la simbolización del operador booleano &, se indican en la tabla 3 y en la figura 4, respectivamente.

Tabla 3. Tabla de verdad del operador booleano &.

I1	I2	Φ
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fuente: Lozano, 2020, p. 24.

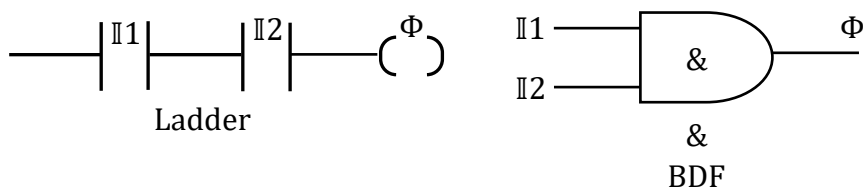


Figura 4. Esquema del operador booleano &.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 9.

De este modo, la ecuación lógica que le corresponde al operador booleano &, es:

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

A continuación, se indican algunas propiedades del operador booleano &:

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

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

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

$$A * a = 0. \tag{7}$$

- **Operador booleano OR u O.** El operador booleano OR u O, se relaciona con la operación lógica de la suma, ya que su salida se encontrará prendida (cantidad binaria 1), si como mínimo una de sus entradas se encuentra cerrada (cantidad binaria 1) (Lozano, 2020, p. 24; Chong y Ferreyra, 2023, p. 10).

El operador booleano O, debe contar por lo menos con dos entradas.

La tabla de verdad y el esquema del operador booleano O, se indican correspondientemente en la tabla 4 y en la figura 5.

Tabla 4. Tabla de verdad del operador booleano O.

I1	I2	Φ
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fuente: Lozano, 2020, pp. 24-25.

De este modo, la ecuación lógica que pertenece al operador booleano O, es:

$$\Phi = I1 + I2. \tag{8}$$

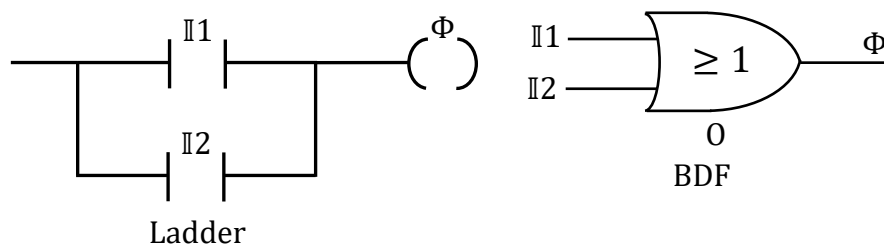


Figura 5. Esquema del operador booleano O.

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 11.

Seguidamente, se dan a conocer las propiedades más importantes del operador booleano O:

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

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

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

$$A + a = 1. \tag{12}$$

1.2.6. Elementos más utilizados en la programación de un PLC

Chong y Ferreyra (2023, p. 10), mencionan que los elementos más empleados cuando se programa un PLC, son los que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Elementos más utilizados en la programación de un PLC.

Representación	Definición
I	Entrada binaria
A	Entrada continua
Q	Salida binaria
AQ	Salida continua
M	Bobina interior
T	Temporizador
C	Contador
S	Instrucción activación
R	Instrucción apagar

Fuente: Chong y Ferreyra, 2023, p. 10; Huayhua, 2017, p. 38.

- **Generadores de señal en un PLC.** Representan a las entradas de un PLC y se representan en el software de programación del PLC, únicamente por medio de un empalme o contacto cuya notación está dada por I o i, con el número respectivo (Gómez y Huayas, 2024, p. 9; Huayhua, 2017, pp. 17-19).
- **Salidas físicas de un PLC.** Las salidas físicas de un PLC, se simbolizan en el software de simulación del PLC por la letra Q, con el número respectivo (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 19-20; Huayhua, 2017, pp. 17-19). La salida Q, también tiene su contacto, el cual puede ser abierto o cerrado y cuya simbolización es por Q o

q, respectivamente, con el número respectivo (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 19-20; Huayhua, 2017, pp. 17-19).

- **Marcas o bobinas internas.** Las marcas representan a bobinas internas de un PLC y se simbolizan en el software de simulación del PLC por la letra M, seguido del número respectivo (Chong y Ferreyra, 2023, p. 21; Huayhua, 2017, pp. 17-19). También, toda marca tiene su contacto, el mismo que puede estar abierto o cerrado y cuya simbolización es por M o m, respectivamente, y a continuación el número respectivo (Chong y Ferreyra, 2023, pp. 19-20; Huayhua, 2017, pp. 17-19).

1.2.7. Activación de una bobina interna del PLC

Es un procedimiento el cual tiene como propósito encender o energizar a una bobina interna del PLC, la misma que se mantendrá en este estado hasta que se requiera apagarla o desactivarla (Estrella y Panduro, 2023, p. 18). La bobina se puede prender, generándose una señal, para lo cual es necesario apretar un pulsador de inicio (normalmente abierto (NA)), el mismo que se debe conectar a una entrada del PLC.

En las figuras 6 y 7, se puede observar que para encender a la bobina B1, es necesario presionar el pulsador de inicio E2(NA), de este modo el empalme de la bobina B1 se cierra permitiendo el flujo de energía hacia la bobina B1. Para apagar a la bobina B1 en el momento que se necesite, bastará con apretar el pulsador de paro o stop E1(NC), imposibilitando de este modo la continuidad de la energía eléctrica hacia la bobina B1.

En referencia a la figura 6 y aplicando los fundamentos del control lógico, se obtiene la siguiente igualdad para la activación o prendido de la bobina B1:

$$E1 \times E2 + B1 = B1. \quad (13)$$

Al estar los contactos E1 e E2 conectados en serie, sus cantidades binarias se multiplican, es decir: $E1 \times E2$. La conexión en serie de los contactos I1 e I2, se encuentra conectada en paralelo al contacto de la bobina M1, entonces se tiene que: $E1 \times E2 + B1$.

Todo esto debe dar igual al estado de la bobina B1. De esta manera es que se obtiene la ecuación (13).

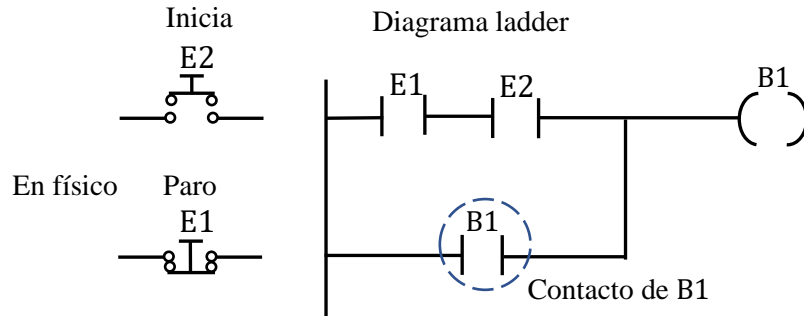


Figura 6. Diagrama ladder de la activación de una bobina interna del PLC.

Fuente: Estrella y Panduro, 2023, p. 19.

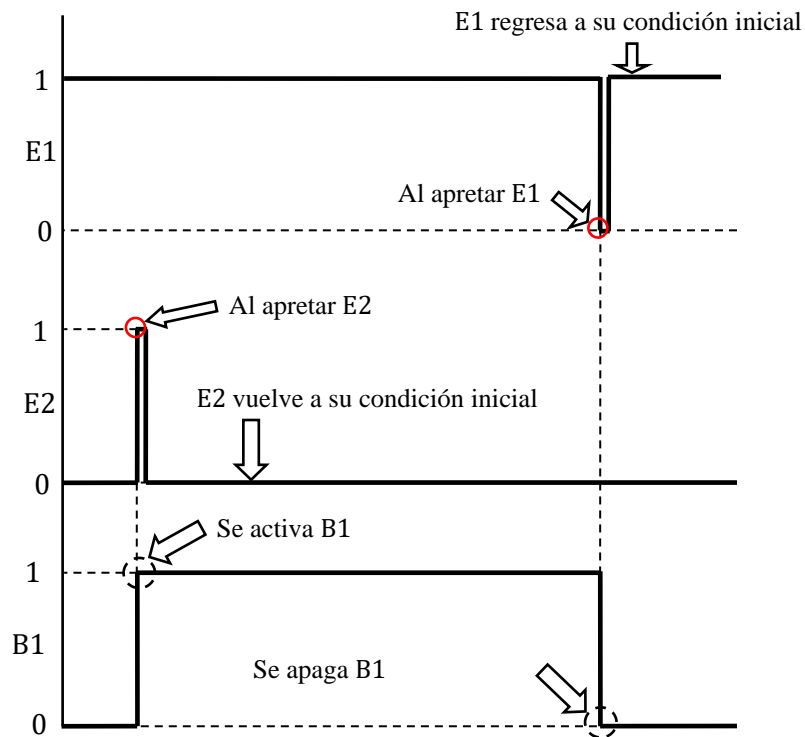


Figura 7. Diagrama de estado de los elementos que conforman la activación de B1.

Fuente: Estrella y Panduro, 2023, p. 19.

1.2.8. Secado de materiales

El secado se define como la separación de ciertas proporciones de líquido de un

determinado material. Normalmente la humedad se disminuye del material poniéndole en contacto con una corriente de aire (Geankoplis, 2006, p. 573; Gago y Hurtado, 2021, p. 5). La finalidad principal del secado de un material, es reducir la acción del agua hasta que el crecimiento microbiano y la velocidad de reacción se detengan (Gago y Hurtado, 2021, p. 5). Las operaciones de secado se dividen de diversas formas: en operaciones de lotes cuando el material se ingresa en el secador y la operación es verificada después de un determinado tiempo; o continuo, si la sustancia a secar se agrega sin parar y se obtiene material seco en régimen continuo (Geankoplis, 2006, pp. 573-574).

En el secado, la fuente de calentamiento puede ser mediante una resistencia eléctrica la cual hace que el aire que ingresa al secador se caliente, elevando de este modo su temperatura a las condiciones que se requiere para que el secado de cierto material sea óptimo. El aire caliente entrega energía al material a secar, pero la humedad removida se transfiere del material al aire. De esta forma el aire que sale del secador tiene una humedad relativa entre 80 a 100 %. Entonces, se puede decir que el secado implica transferencia de energía y de masa a la vez (Geankoplis, 2006, p. 573; Gago y Hurtado, 2021, pp. 5-6).

1.2.9. Control automático

El control automático consiste en una serie de procedimientos que se realizan a un proceso industrial, mediante la incorporación de un conjunto de componentes y dispositivos eléctricos (contactor, relé térmico, llave térmica y resistencia eléctrica), electromecánicos (ventiladores, extractores, compresores, etc.) y electrónicos (PLC, controladores de temperatura y humedad relativa), los cuales deben estar interconectados entre sí y asegurar su buen funcionamiento (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 2).

1.3. Definición de términos básicos

1.3.1. Sensor

El sensor es un dispositivo que se encarga de medir variables externas (temperatura, nivel, presión, humedad relativa, etc.) y a continuación envían la información en forma de señales hacia el controlador (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 213). Cuando el sensor realiza la medida de la variable de control, un material semiconductor se encarga de transformar esta medida en una señal eléctrica normalizada,

la cual debe tener una intensidad de corriente entre 4 a 20 mA (Matamoros y Chichande, 2021, p. 21).

1.3.2. Controlador

El controlador es un instrumento de control automático, que permite establecer el valor en el que se desea mantener a la variable de control (temperatura, nivel, presión, humedad relativa, etc.), el cual es conocido también como set point; para eso, el controlador cuenta con un display (pantalla digital) donde se puede establecer dicho valor (Rodríguez, Cerdá y Bezos, 2022, p. 213). Normalmente, el controlador está integrado a un sensor, tal como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Controlador digital de temperatura integrado a un sensor tipo termocupla.

Fuente: Elaboración propia.

1.3.3. Temperatura

Es una magnitud escalar, la cual hace referencia a la idea de energía interna de un sistema termodinámico y se puede medir mediante un termómetro (Huamán y Mamani, 2019, p. 27). La temperatura se simboliza como T y sus unidades de medida son: °C, K, °F y R. En el presente trabajo, se mide específicamente la temperatura del aire caliente, para lo cual se utiliza un controlador integrado a un sensor tipo termocupla.

1.3.4. Humedad relativa

Se evalúa en porcentaje y representa a la cantidad de saturación de una mezcla,

normalmente aire-vapor de agua (Huamán y Mamani, 2019, p. 27); es decir, es el cociente de la presión parcial del vapor de agua en el aire con la presión de agua a la temperatura establecida (Geankoplis, 2006, pp. 579-581), la cual se define matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$HR = \frac{P_A}{P_{AS}} \times 100. \quad (14)$$

Donde HR es la humedad relativa, P_A es la presión parcial del vapor de agua en el aire y P_{AS} es la presión del agua a la temperatura establecida.

1.3.5. Variables de la automatización

Se refieren específicamente a la condición de las cuatro entradas (I1, I2, IB e IC), al estado de bobina interna M1 y al estado de las tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC.

- **Estado de las entradas del PLC donde se conectan los pulsadores I1 e I2.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales muestran la condición de las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente (Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18; Huayhua, 2017, pp. 51-54).
- **Estado de las entradas del PLC donde se conectan el contacto del controlador de temperatura y el contacto del controlador de humedad relativa.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales muestran la condición (abierto o cerrado) de las entradas 3 y 4 del PLC, las mismas que se simbolizan por IB e IC, respectivamente (Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18).
- **Estado de la marca de enclavamiento M1.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales indican la situación (prendido o apagado) de la bobina interna del PLC, la misma que cumple el objetivo de activar a los demás componentes que conforman el diagrama ladder (Estrella y Panduro, 2023, p. 20; Chong y Ferreyra, 2023, p. 31; Huayhua, 2017, pp. 51-54; Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18; Honorio y Molina, 2023, pp. 29-30).

- **Estado de la salida física Q1.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales indican la situación (apagado o prendido) de Q1, la misma donde se vincula a la resistencia eléctrica (Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18).
- **Estado de la salida física Q2.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales muestran la situación de Q2, la misma donde se enlaza el ventilador (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).
- **Estado de la salida física Q3.** Son las cantidades binarias (0 o 1), las cuales muestran la situación de Q3, la misma donde se enlaza el extractor (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).

1.3.6. Sistema de control a lazo abierto

En lazo abierto, el valor de la variable controlada no es medido en forma continua; es decir, no existe una retroalimentación del valor de la variable de salida a la entrada del sistema de control (Eustaquio, 2023, pp. 28-29).

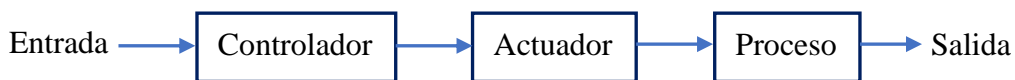


Figura 9. Sistema de control a lazo abierto.

Fuente: Eustaquio, 2023, p. 29.

1.3.7. Sistema de control a lazo cerrado

En este caso, el valor de la variable controlada es medido en forma continua por el sensor y este valor es retroalimentado al sistema de control, ingresando nuevamente mediante el comparador (Eustaquio, 2023, pp. 28-29).

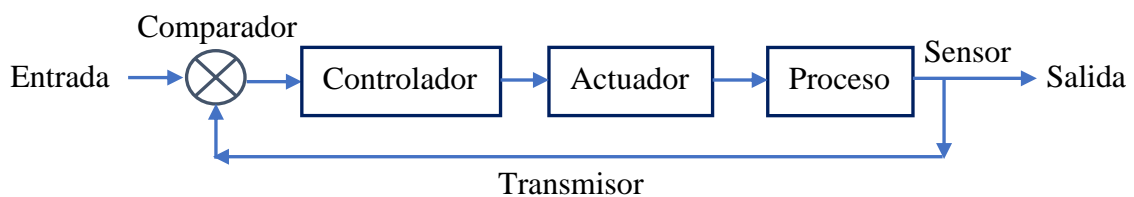


Figura 10. Sistema de control a lazo cerrado.

Fuente: Eustaquio, 2023, p. 29; Matamoros y Chichande, 2021, p. 7.

Entonces, los elementos básicos de un sistema de control en lazo cerrado son:

- **Sensor.** Se conoce como elemento primario y es el encargado de realizar la medida de la variable controlada (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).
- **Transmisor.** Es el elemento secundario y tiene como función transformar la medida del valor que realiza el sensor en una señal eléctrica normalizada, la cual debe tener una intensidad de corriente entre 4 a 20 mA, para que se envíe esta señal al comparador (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).
- **Comparador.** Compara los valores de la variable controlada (valor medido con el sensor con el valor deseado (set point)).
- **Controlador.** En base a la comparación de los valores de la variable controlada, el controlador toma la decisión de que hacer sobre el actuador (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).
- **Actuador.** También es conocido como el elemento final del sistema de control y frecuentemente se trata de una válvula de control, aunque no siempre. Otros actuadores de control comúnmente utilizados pueden ser electrobombas, resistencias eléctricas, ventiladores, extractores, etc. (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).

Dichos dispositivos efectúan los tres procedimientos que se deben realizar en cualquier sistema realimentado, los cuales son:

- **Medición.** Se realiza normalmente por medio de la combinación de sensor y transmisor (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).
- **Decisión:** En relación a la cantidad medida, el controlador resuelve como accionar para conservar la variable controlada en el valor deseado (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).
- **Acción.** Como consecuencia de la decisión del controlador, es necesario realizar una acción en el sistema, la cual lo efectúa el actuador (Matamoros y Chichande, 2021, p. 7).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

a. Hipótesis general

El prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, debe ser un sistema automatizado, el mismo que debe estar conformado por los siguientes componentes: un PLC, un controlador de temperatura, un controlador de humedad relativa, un túnel cilíndrico, una resistencia eléctrica, un ventilador y un extractor.

b. Hipótesis específicas

- El circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, debe ser un diagrama tipo ladder.
- Existe el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC.
- Las entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, son: cuatro entradas y tres salidas físicas.

2.2. Variables y su operacionalización

Variables independientes: estado de las entradas del PLC que se enlazan a los pulsadores I1(NC) e I2(NA) y a los contactos del controlador de temperatura (IB) y del controlador de humedad relativa (IC).

Variable interviniente: estado de la bobina M1.

Variables dependientes: estado de las salidas físicas Q1, Q2 y Q3 del PLC, en donde se enlazan la resistencia eléctrica, el ventilador y el extractor, respectivamente.

Tabla 6. Operacionalización de las variables.

Variables	Notación	Definición	Tipo por su naturaleza	Indicadores	Escala de medición	Medios de verificación
Independientes						
Estado de las entradas del PLC donde se enlazan los pulsadores I1 e I2.	I1 I2	Son las cantidades binarias, las cuales muestran la condición de las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente (Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18; Huayhua, 2017, pp. 51-54).	Cuantitativa discreta	Abierto: 0 Cerrado: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito lógico. • Hojas de cálculo de Excel 2023.
Estado de las entradas del PLC donde se enlazan correspondientemente los controladores de temperatura y humedad relativa.	IB IC	Son las cantidades binarias, las cuales muestran la condición de las entradas 3 y 4 del PLC, las mismas que se simbolizan por IB e IC, respectivamente (Gómez y Huayas, 2024, pp. 17-18).	Cuantitativa discreta	Abierto: 0 Cerrado: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito lógico. • Hojas de cálculo de Excel 2023.
Dependientes						
Estado de la salida física del PLC donde se enlaza la resistencia eléctrica.	Q1	Son las cantidades binarias, las cuales indican la situación de Q1 del PLC, la misma donde se conecta la resistencia eléctrica (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito lógico. • Hojas de cálculo de Excel 2023.
Estado de la salida física del PLC donde se enlaza el ventilador.	Q2	Son las cantidades binarias, las cuales muestran la situación de Q2 del PLC, la misma donde se enlaza el ventilador (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito lógico. • Hojas de cálculo de Excel 2023.
Estado de la salida física del PLC donde se enlaza el extractor.	Q3	Son las cantidades binarias, las cuales muestran la situación de Q3 del PLC, la misma donde se enlaza el extractor (Chong y Ferreyra, 2023, p. 33).	Cuantitativa discreta	Apagado: 0 Prendido: 1	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito lógico. • Hojas de cálculo de Excel 2023.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

En la presente investigación, primeramente, se ha efectuado una revisión detallada de toda la información referente al control automático de las variables más importantes involucradas en el secado de materiales. Seguidamente, se determinó los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico. A continuación, se elaboró el circuito lógico y se realizó la simulación del mismo, mediante el software de programación del PLC; esto también permitió determinar el orden de conexiones de cada una de las entradas y salidas físicas del PLC con los componentes principales del prototipo. Posteriormente, se determinó el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC. Por último, se realizaron las pruebas de funcionamiento de dicho prototipo, con el fin de comprobar si las tres salidas del PLC se prenden o apagan de acuerdo a la programación realizada en el circuito lógico. Esto indica que la actual investigación es aplicada con enfoque cuantitativo y diseño correlacional, de la cual se muestra su esquema de diseño en la figura 11.

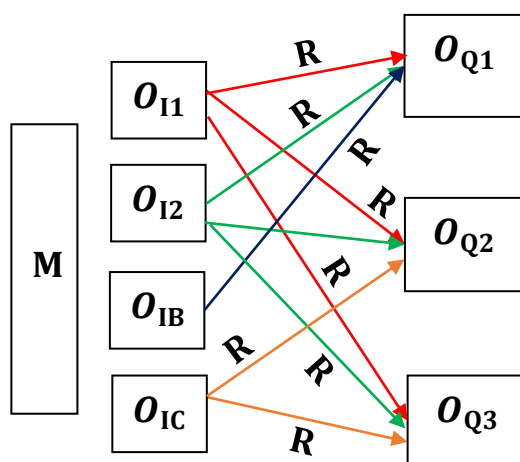


Figura 11. Esquema del diseño de investigación.

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

O_{I1} , O_{I2} , O_{I3} , O_{I4} , O_{Q1} , O_{Q2} y O_{Q3} , son las observaciones obtenidas en cada una de las siete variables (I1, I2, I3, I4, Q1, Q2 y Q3), respectivamente.

- I1 e I2 : estado de las entradas del PLC donde se enlazan los pulsadores I1 e I2, respectivamente (variables independientes).
- IB e IC : estado de las entradas del PLC donde se enlazan los controladores de temperatura y humedad relativa, respectivamente (variables independientes).
- Q1 : estado de la salida del PLC donde se enlaza la resistencia eléctrica (variable dependiente).
- Q2 : estado de la salida del PLC donde se enlaza el ventilador (variable dependiente).
- Q3 : estado de la salida del PLC donde se enlaza el extractor (variable dependiente).
- M : muestra.
- R : relación entre las variables.

3.1.1. Propuesta de diseño para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico

En la figura 12, se puede ver claramente la propuesta de diseño para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, el cual se construyó en el presente trabajo de tesis. Este prototipo, está conformado principalmente por los siguientes componentes: un túnel cilíndrico que representa al secador con calentamiento eléctrico, un ventilador, una resistencia eléctrica, un extractor, una entrada de vapor para generar la saturación de humedad del aire caliente, un PLC del cual se utilizan cuatro entradas y tres salidas físicas, un controlador digital de temperatura con su sensor transmisor tipo termocupla, un controlador digital de humedad relativa con su sensor transmisor tipo termocupla, una llave térmica con enchufe bipolar, tres luces led indicadoras que se conectan respectivamente a las salidas físicas Q1, Q2 y Q3 del PLC, un pulsador NC que se enlaza a la entrada I1 del PLC, un pulsador NA que se enlaza a la entrada I2 del PLC y una caja de metal. El aire entra al túnel a la temperatura T_A (temperatura ambiente) y humedad relativa HR_A , mediante la impulsión del ventilador. El aire al tener contacto con la resistencia eléctrica aumenta su temperatura, pero su humedad relativa permanece constante, es decir: $T_A < T_B$ y $HR_A = HR_B$. El aire caliente al tener contacto con el vapor

de agua que ingresa por el punto IV se satura con agua, disminuyendo su temperatura, pero aumentando su humedad relativa, es decir: $T_B > T_C$ y $HR_B < HR_C$. El sensor ST se encarga de medir la temperatura del aire caliente y transmitir esta medida al respectivo controlador; si la temperatura del aire caliente está por debajo de T_B (valor deseado de la temperatura del aire caliente), el controlador de temperatura comunica al PLC para que prenda la resistencia eléctrica; del mismo modo, si la temperatura del aire caliente está por arriba de T_B , el controlador de temperatura comunicará al PLC para que apague la resistencia eléctrica. Para generar de forma rápida la situación en la que el aire se satura con agua, se ha colocado en la parte superior del túnel un tubo para el ingreso del vapor de agua (punto IV).

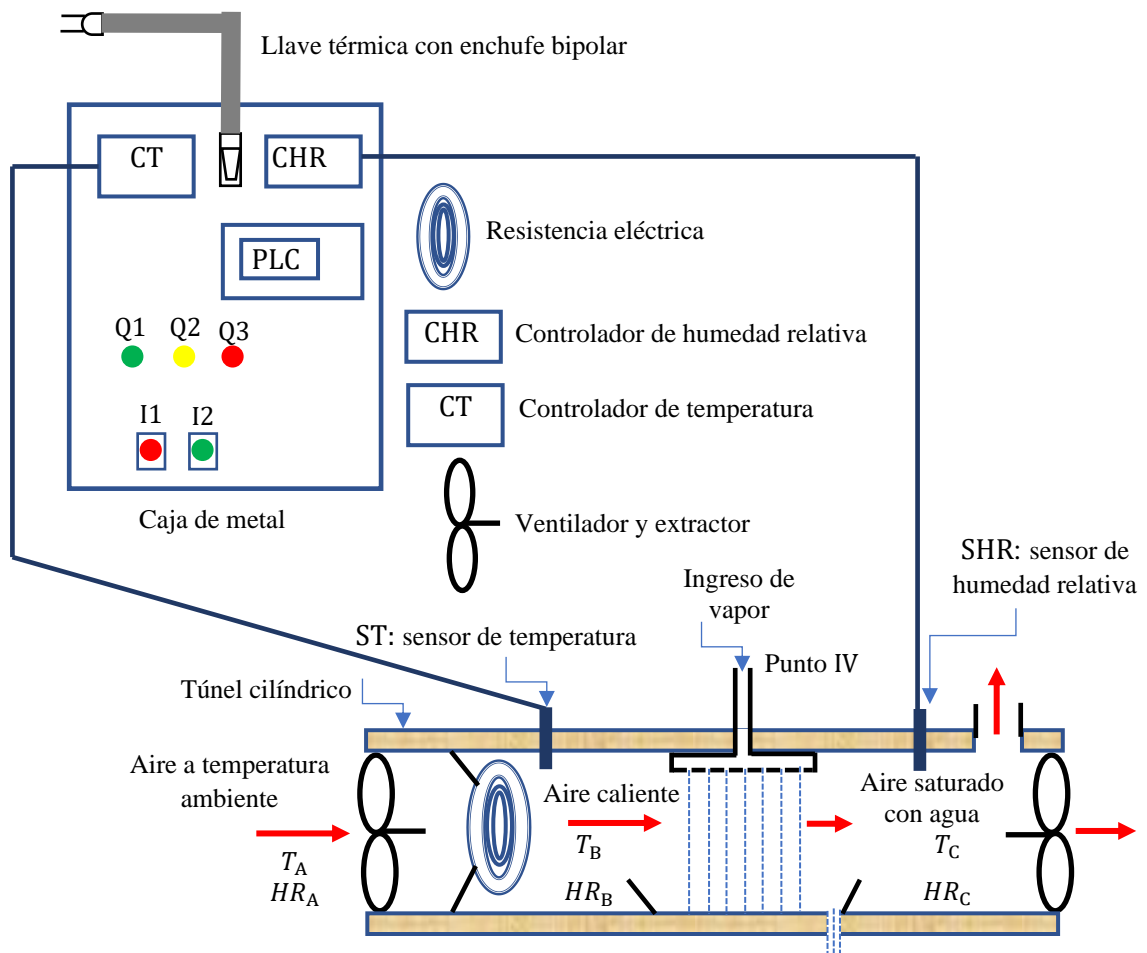


Figura 12. Propuesta de diseño para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

El sensor SHR mide la humedad relativa del aire saturado con agua y envía esta medida al respectivo controlador; si la humedad relativa del aire está por debajo de HR_C (valor deseado de la humedad relativa del aire), el controlador de humedad relativa comunica al PLC para que apague el extractor; asimismo, si la humedad relativa del aire está por arriba de HR_C , el controlador de humedad relativa comunica al PLC para que prenda el extractor. Las luces led que se conectan a las salidas físicas Q1, Q2 y Q3 del PLC, indican si la resistencia eléctrica, el ventilador y el extractor se encuentran prendidos o apagados, respectivamente.

A las entradas IB e IC del PLC, se conectan los contactos de los controladores de temperatura y humedad relativa, respectivamente. Cabe mencionar, que ambos controladores son digitales; es decir, tienen una pantalla donde se puede escribir como set point, la temperatura del aire caliente y la humedad relativa del aire saturado con agua.

3.1.2. Circuito lógico para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico

Para elaborar el circuito lógico para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, se ha utilizado el software Zelio Soft2 V5.4.2, debido a que con este software se programó el PLC marca Schneider Electric modelo Zelio SR3 B101BD, el cual es un componente del mencionado prototipo. A continuación, se describen los procedimientos que se han seguido para el diseño y simulación de dicho circuito lógico.

- **Activación de la marca M1.** Este procedimiento consiste en prender a la marca o bobina interna M1, para lo cual es necesario que se presione el pulsador verde I2 (NA), de este modo el contacto de la marca M1 queda enclavado permitiendo el flujo de energía hacia la marca respectiva (figura 13).
- **Prendido de la resistencia eléctrica.** Esta situación se da, siempre y cuando el contacto del controlador de temperatura (IB) se encuentre cerrado. Este contacto permanecerá cerrado, siempre y cuando la temperatura del aire caliente se encuentre por debajo del set point (55 °C); de otra manera, si la temperatura del

aire caliente llega a estar por encima del set point, el contacto IB se abrirá impidiendo el flujo de energía hacia la resistencia eléctrica. También, el prendido y apagado de la resistencia eléctrica se indica mediante una luz led verde, la misma que también se enlaza a Q1 (observe la figura 14).

- **Prendido del ventilador.** El ventilador se encontrará prendido, siempre y cuando el contacto IC del controlador de temperatura se encuentre cerrado. Este contacto permanecerá cerrado, siempre y cuando la humedad relativa del aire dentro del secador se encuentre por debajo del set point (85 %); de otra manera, si la humedad relativa del aire dentro del secador llega a estar por encima del set point, el contacto IC se abrirá impidiendo el flujo de energía hacia el ventilador. Además, el prendido y apagado del ventilador se indica mediante una luz led amarilla, la misma que también se enlaza a Q2 (observe la figura 14).
- **Prendido del extractor.** El extractor se encontrará prendido, siempre y cuando el contacto IC del controlador de humedad relativa se encuentre abierto. Este contacto permanecerá abierto, siempre y cuando la humedad relativa del aire dentro del secador se encuentre por encima del set point (85 %); de otra manera, si la humedad relativa del aire dentro del secador llega a estar por debajo del set point, el contacto IC se cerrará impidiendo el flujo de energía hacia el extractor. Además, el prendido y apagado del extractor se indica mediante una luz led roja, la cual también se enlaza a Q3 (observe la figura 15).

Entonces, se puede decir que, si el ventilador se encuentra prendido, el extractor debe encontrarse apagado; de igual manera, si el extractor se encuentra prendido, el ventilador debe encontrarse apagado. Esto también indica, que los estados de las salidas físicas Q2 y Q3 del PLC, dependen de la condición del contacto del controlador de humedad relativa (IC).

En cualquier momento que se requiera apagar o desactivar a todo el circuito lógico, se puede presionar el pulsador de paro I1 (NC), el cual se conecta a la entrada 1 del PLC.

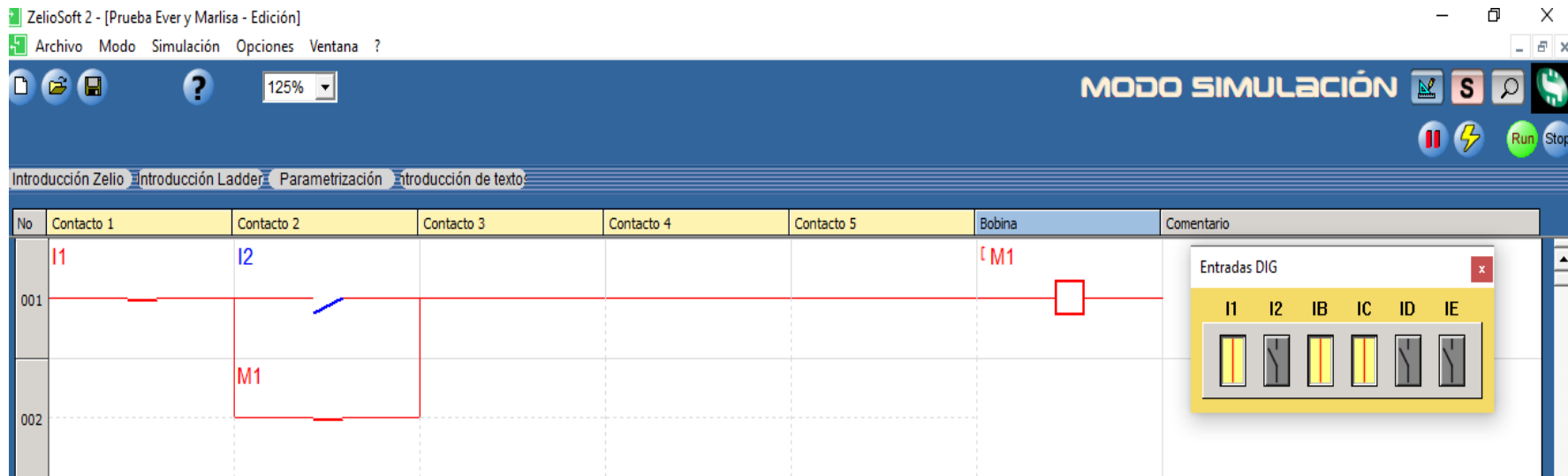


Figura 13. Diagrama ladder para la activación de la marca M1.

Fuente: Elaboración propia.

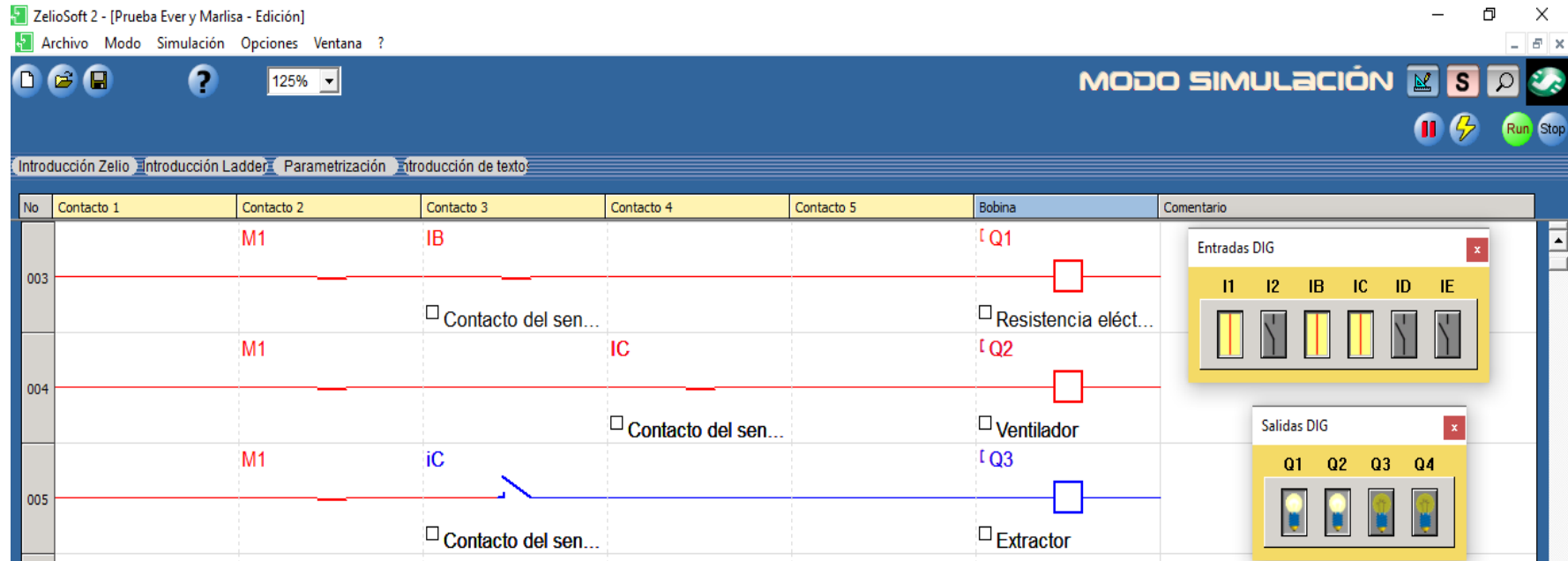


Figura 14. Diagrama ladder para el prendido de la resistencia eléctrica y del ventilador.

Fuente: Elaboración propia.

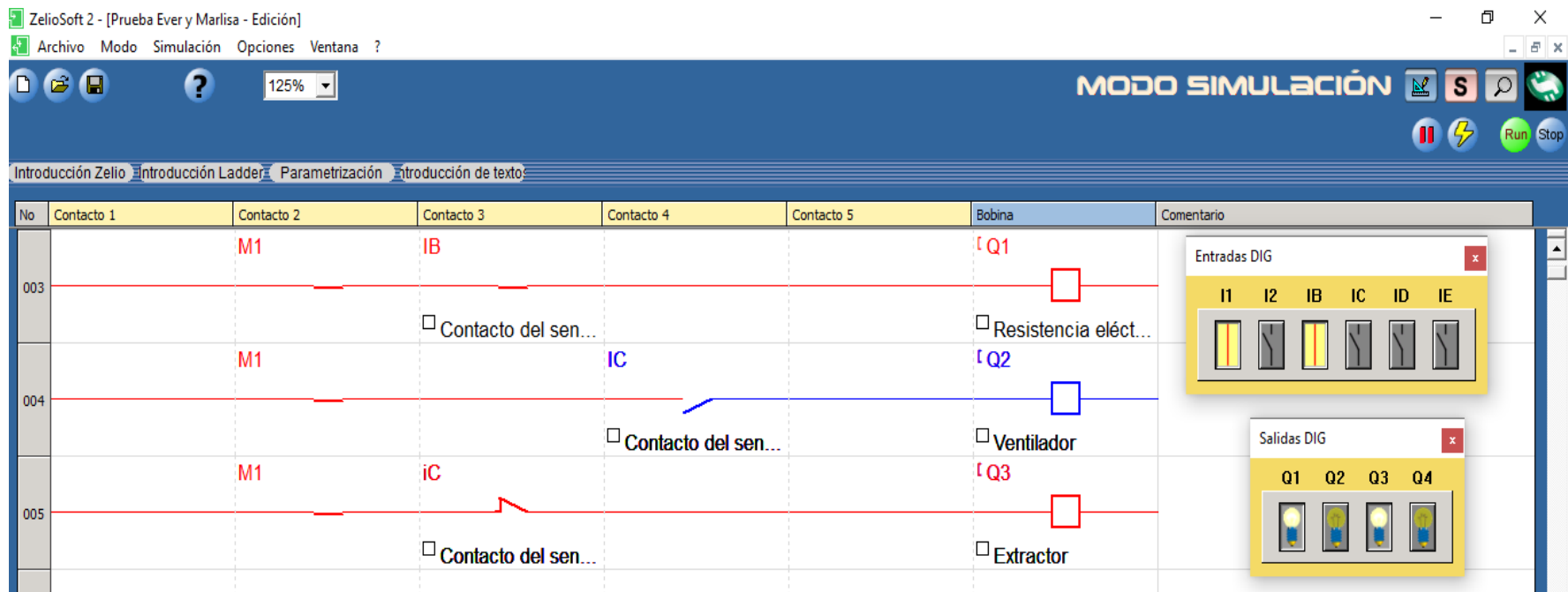


Figura 15. Diagrama ladder para el prendido del extractor.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC

A la relación existente entre la condición de las entradas (I1, I2, IB e IC) con el estado de cada una de las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC, también es posible representarla mediante un conjunto de igualdades, el cual se deduce del diagrama ladder, las mismas que a continuación se detallan:

$$I1 * (I2 + M1) = M1. \quad (15)$$

$$M1 * IB = Q1. \quad (16)$$

$$M1 * IC = Q2. \quad (17)$$

$$M1 * iC = Q3. \quad (18)$$

La igualdad (15), da a conocer la relación que existe entre la condición de las entradas (I1 e I2) con el estado de M1; esto a su vez, indica que M1 se encontrará encendida, a condición de que se presione el pulsador I2 (NA) y el pulsador I1 (NC) se encuentre en su situación normal.

La igualdad (16), muestra la relación que existe entre la condición del contacto IB, el estado de la bobina M1 y el estado de Q1; esto a su vez, indica que Q1 se encontrará prendida, siempre y cuando el contacto IB se encuentre cerrado y la marca M1 haya sido enclavada.

La igualdad (17), muestra la relación que existe entre la condición del contacto IC, el estado de M1 y el estado de Q2 ; esto a su vez, indica que Q2 se encontrará prendida, siempre y cuando el contacto IC se encuentre cerrado y la marca M1 haya sido energizada o encendida.

La equivalencia (18), muestra la relación que existe entre la condición del contacto IC, el estado de la bobina M1 y el estado de Q3; esto a su vez, indica que Q3 se encontrará

preendida, siempre y cuando el contacto IC se encuentre abierto y la marca M1 haya sido enclavada. Cabe mencionar que, en este caso, al abrirse el contacto IC, el contacto iC se cierra permitiendo de este modo la continuidad de carga eléctrica hacia la salida física Q3 del PLC.

3.1.4. Determinación del número de entradas y salidas que se utilizan en el PLC

En concordancia a lo que se ha descrito en las secciones 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.3, se ha determinado que el número de entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC son: cuatro entradas (I1, I2, IB e IC) y tres salidas (Q1, Q2 y Q3). Asimismo, cabe mencionar que en el enlace de cada una de las entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC, se debe considerar el siguiente orden:

- Los pulsadores I1 (NC) e I2 (NA), se enlazan a las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente.
- El contacto del controlador de temperatura se debe enlazar a la entrada 3 del PLC, la misma que se simboliza en el software de simulación del PLC por IB.
- El contacto del controlador de humedad relativa se debe enlazar a la entrada 4 del PLC, la misma que se simboliza en el software de simulación del PLC por IC.
- La salida física Q1 del PLC se enlaza a la resistencia eléctrica y a una la luz led verde.
- La salida física Q2 del PLC se enlaza al ventilador y a una la luz led amarilla.
- La salida física Q3 del PLC se enlaza al extractor y a una la luz led roja.

3.1.5. Esquema de instalación eléctrica

El esquema de instalación eléctrica, se realiza teniéndose en cuenta lo descrito en la sección 3.1.4.

La alimentación de los contactos de los controladores de temperatura y humedad relativa es 220 VCA, es por eso que se ha cableado de las líneas que están entre el transformador de 220 a 24 VCA y la llave térmica. Se ha colocado un contactor entre la salida física Q1 del PLC y la resistencia eléctrica, esto es debido a que la corriente del relé de la salida física Q1, está por debajo de la corriente de trabajo de la resistencia eléctrica.

Las entradas del PLC son de 24 VCA, es por eso, que se ha cableado a cada una de ellas desde las líneas que están a la salida del transformador de 220 a 24 VCA. Los contactos de los controladores de temperatura y humedad relativa son secos; es decir, son independientes del voltaje y solamente cumplen la función de abrir o cerrar un circuito.

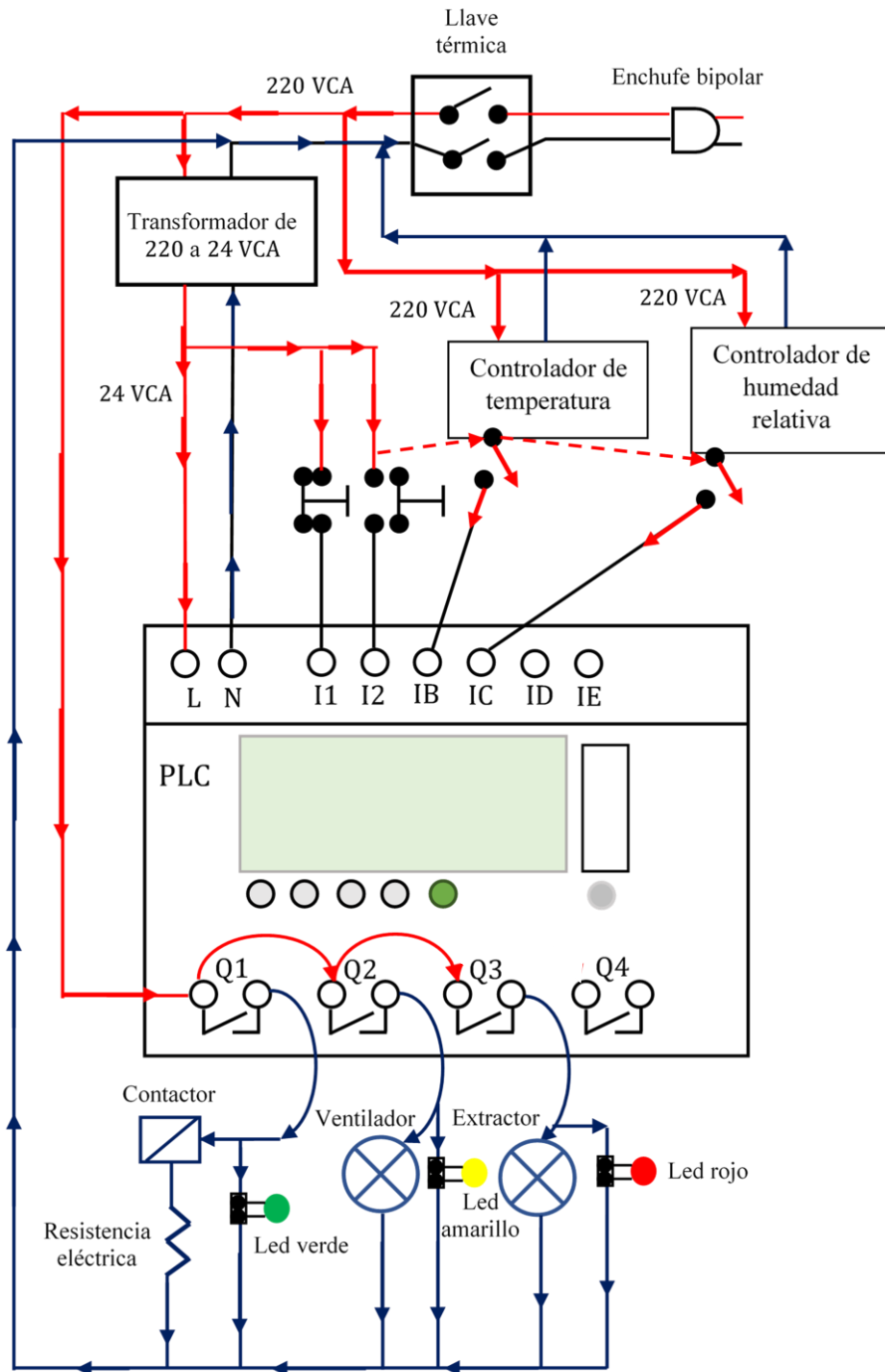


Figura 16. Esquema de instalación eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico

Para la construcción del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, se ha tenido en cuenta las figuras 12 y 16. De este modo, la imagen real de dicho prototipo se muestra en la figura 17.

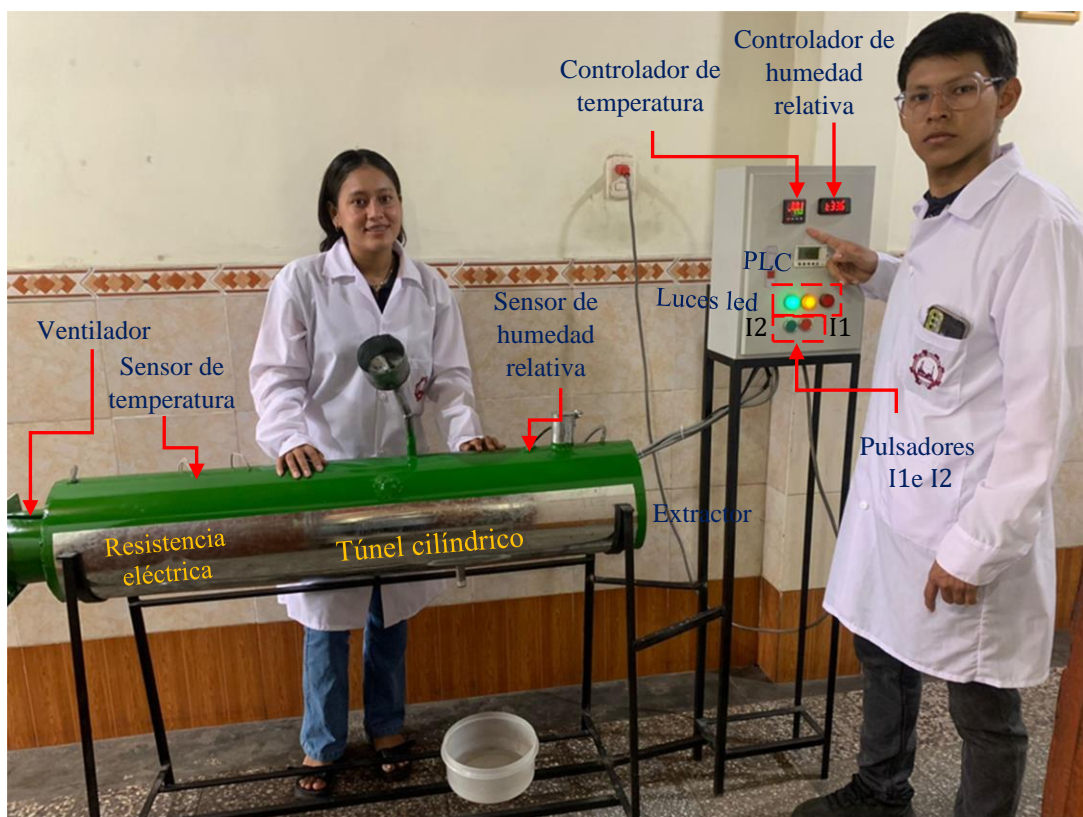


Figura 17. Imagen real del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en las figuras 18 y 19, se puede ver claramente la imagen real de cada uno de los componentes del mencionado prototipo y de las conexiones eléctricas de las entradas y salidas físicas del PLC.

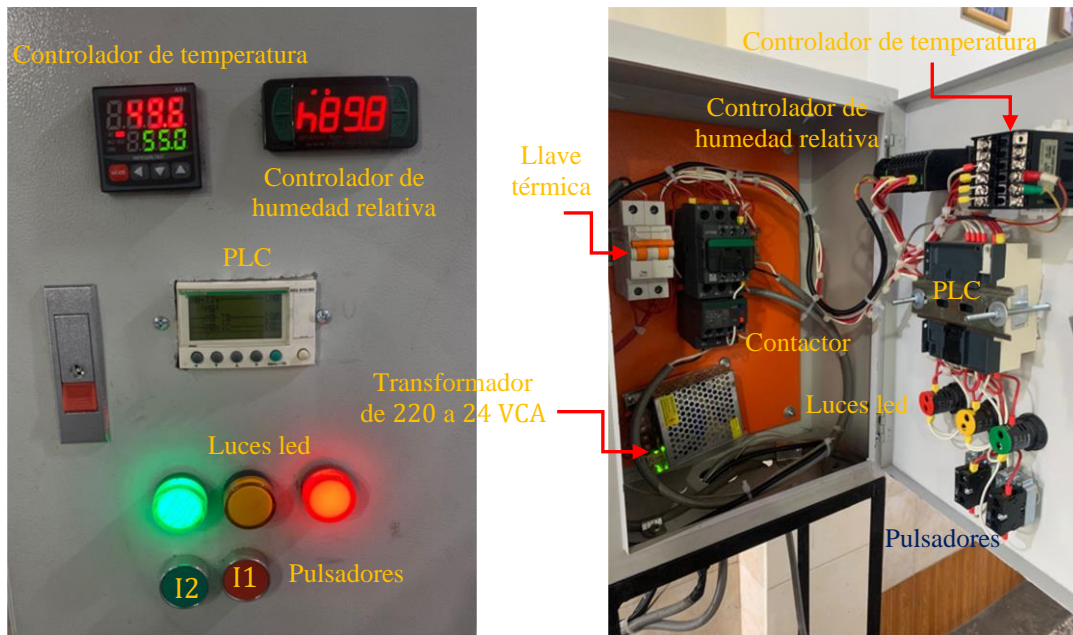


Figura 18. Imagen real de los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

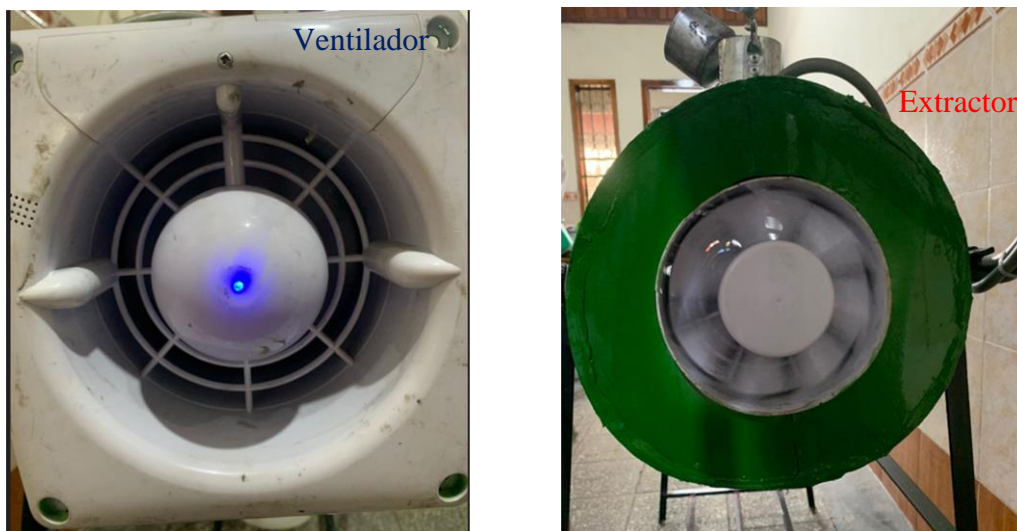


Figura 19. Imagen real del ventilador y el extractor.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Transferencia de datos desde una computadora al PLC

Después de haber realizado el diseño y simulación del circuito lógico, se ha transferido dicha información desde una computadora al PLC, siendo necesario para esto la conexión de la computadora con el PLC Zelio SR3 B101BD, mediante el cable de transmisión de datos. Dicho cable une a dos puertos de comunicación: COM y USB, los mismos que se conectan al PLC y a la PC (véase las figuras 20 y 21).



Figura 20. Cable de transmisión de datos entre una computadora y el PLC.

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento de transferencia de datos de la computadora al PLC, es como se indica en la figura 21.

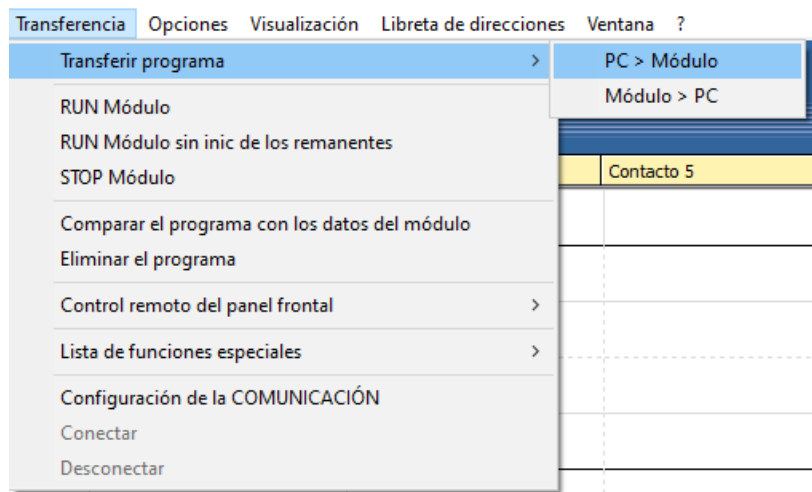


Figura 21. Transferencia de datos de una computadora al PLC Zelio SR3 B101BD.

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Diseño muestral

En el presente trabajo de tesis, la población estuvo representada por el número total de elementos que conforman el circuito lógico, la cual se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Población} = N_M + N_Q + N_{\text{Cts}} \quad (19)$$

Donde:

N_M : número de marcas.

N_Q : número de salidas físicas.

N_{Cts} : número de contactos.

Entonces, acorde a lo descrito en la elaboración del circuito lógico, se tiene que:

$$N_M = 1, N_Q = 3, N_{\text{Cts}} = 6.$$

$$\text{Población} = 1 + 3 + 6 = 10.$$

Cabe mencionar que el número de contactos se determinó de la siguiente forma: 5 contactos de entradas (I1, I2, IB, IC e iC) y un contacto de marca (M1). De este modo, N_{Cts} resultó igual a 6.

De esta forma, el tamaño de la población resultó igual a diez (10). Para la presente tesis, se ha aplicado el muestreo no probabilístico, teniéndose en cuenta los siguientes criterios:

Criterio de inclusión: se tuvo en cuenta como muestra, a IB e IC y a las salidas: Q1, Q2 y Q3; debido a que se busca ver como se relacionan el estado de dichas salidas físicas con la condición de las entradas IB e IC. Por ejemplo, se buscó determinar, cual es el estado (prendido o apagado) de la resistencia eléctrica (Q1), de acuerdo a la condición (abierto o cerrado) del contacto del controlador de temperatura (IB). De igual manera, se buscó determinar, cual es el estado (prendido o apagado) del ventilador y del extractor, de acuerdo a la condición (abierto o cerrado) del contacto del controlador de humedad relativa (IC).

Criterio de exclusión: no se ha considerado como muestra, a la marca M1 y a su respectivo contacto, debido a que representan componentes internos del PLC y no necesitan conectarse físicamente.

Entonces, de esta forma el tamaño de la muestra resultó igual a cinco (5).

3.3. Procedimientos de recolección de datos

La recolección de datos, ha comprendido los siguientes procedimientos que se mencionan a continuación:

- Determinación de los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.
- Elaboración y simulación del circuito lógico, mediante el cual también se determinó la cantidad de entradas y salidas físicas que se utilizaron en el PLC. Para esto se ha hecho uso del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2, el cual es el software con el que se programa el PLC marca Schneider Electric modelo Zelio SR3 B101BD.
- Determinación del orden de conexiones para el contacto del controlador de temperatura, el contacto del controlador de humedad relativa, la resistencia eléctrica, el ventilador y el extractor.

3.4. Procesamiento y análisis de datos

Los siguientes procedimientos que se efectuaron para el procesamiento y análisis de datos, se describen a continuación:

- Monitorización del circuito lógico, mediante la conexión del PLC con una PC, en el cual se ha hecho uso del software de simulación Zelio Soft2 V5.4.2 y de un cable de transmisión de datos, el cual cuenta con los puertos de comunicación COM y USB, los mismos que se conectaron al PLC y a la PC, respectivamente.
- Representación mediante tablas el estado para las tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC, de acuerdo a la condición de las entradas (IB e IC), haciéndose uso para esto las hojas de cálculo de Microsoft Excel 2023.

3.5. Aspectos éticos

Como tesistas y egresados de la FIQ-UNAP, afirmamos que en nuestra investigación no existe plagio de ningún tipo de otro informe de tesis u artículo científico, para lo cual presentamos como pruebas a todas las fuentes de información que se han hecho referencia en el presente trabajo. Al mismo tiempo, indicamos que se respetará la legitimidad de los resultados que se obtengan al efectuar los diversos ensayos o experimentos en el prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico; lo cual, también lo podrán verificar los miembros de jurado si en caso requieren que se haga las pruebas de funcionamiento en presencia de ellos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Tabla 7. Estado de Q1, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1.

		Entradas o contactos					SALIDA	Estado de la resistencia eléctrica
		I1	I2	IB	IC	M1	Q1	
Cantidad binaria		1	0	1	0	1	1	Prendido
		1	0	1	1	1	1	Prendido
		1	0	0	1	1	0	Apagado
		1	0	0	0	1	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Estado de Q2, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1.

		Entradas o contactos					SALIDA	Estado del ventilador
		I1	I2	IB	IC	M1	Q2	
Cantidad binaria		1	0	1	1	1	1	Prendido
		1	0	0	1	1	1	Prendido
		1	0	1	0	1	0	Apagado
		1	0	0	0	1	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9. Estado de Q3, en relación a la condición de I1, I2, IB, IC y M1.

		Entradas o contactos					SALIDA	Estado del extractor
		I1	I2	IB	IC	M1	Q3	
Cantidad binaria		1	0	1	0	1	1	Prendido
		1	0	0	0	1	1	Prendido
		1	0	1	1	1	0	Apagado
		1	0	0	1	1	0	Apagado

Fuente: Elaboración propia.

Las cantidades binarias (1) que sobresalen en la tabla 7, dan a conocer que la resistencia eléctrica (Q1) se encuentra prendida, a causa de que el contacto del controlador de temperatura (IB) se encuentra cerrado; para esto, también es necesario que los contactos I1 y M1 se encuentren cerrados. Entonces, en la tabla 7, las cantidades binarias que indican el estado de la resistencia eléctrica (Q1), se han obtenido aplicando las ecuaciones (15) y (16), tal como se indica a continuación:

$$I1 * (I2 + M1) = M1.$$

$$1 * (1 + 1) = 1.$$

$$M1 * IB = Q1.$$

$$1 * 1 = 1.$$

Las cantidades binarias (1) que sobresalen en la tabla 8, indican que el ventilador (Q2) se encuentra prendido, a causa de que el contacto del controlador de humedad relativa (IC) se encuentra cerrado; para lo cual, también es necesario que los contactos I1 y M1 se encuentren cerrados. Entonces, en la tabla 8, las cantidades binarias que indican el estado del ventilador (Q2), se han obtenido aplicando las ecuaciones (15) y (17), tal como se indica a continuación:

$$I1 * (I2 + M1) = M1.$$

$$1 * (1 + 1) = 1.$$

$$M1 * IC = Q2.$$

$$1 * 1 = 1.$$

Las cantidades binarias (1) que sobresalen en la tabla 9, muestran que el extractor (Q3) se encuentra prendido, a causa de que el contacto del controlador de humedad relativa (IC) se encuentra abierto; siendo necesario para esto, que los contactos I1 y M1

se encuentren cerrados. En este sentido, en la tabla 9, las cantidades binarias que indican el estado del extractor (Q3), se han determinado aplicando las ecuaciones (15) y (18), tal como se indica a continuación:

$$I1 * (I2 + M1) = M1.$$

$$1 * (1 + 1) = 1.$$

En este caso, si IC = 0, entonces iC = 1, entonces:

$$M1 * iC = Q3.$$

$$1 * 1 = 1.$$

También, se puede relacionar la condición de los contactos (IB e IC) y el estado de cada una de las salidas físicas (Q1, Q2 y Q3), con valor medido por el sensor de temperatura. Por ejemplo, en la tabla 10 se puede ver qué, la resistencia eléctrica (Q1) se encontrará prendida siempre y cuando el valor medido por el sensor de temperatura sea menor que el valor del set point (55 °C).

Del mismo modo que para la resistencia eléctrica, en la tabla 11 se puede ver qué, el ventilador (Q2) se encontrará prendido siempre y cuando el valor medido por el sensor de humedad relativa sea menor que el valor del set point (85 %).

Tabla 10. Estado de Q1, en relación al valor medido por el sensor de temperatura.

Condición del contacto IB	Estado de la salida Q1	Valor medido por el sensor de temperatura	Set point
Cerrado	Prendido	Menor que el set point	55 °C
Abierto	Apagado	Mayor o igual que el set point	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Estado de Q2, en relación al valor medido por el sensor de humedad relativa.

Condición del Contacto IC	Estado de la salida Q2	Valor medido por el sensor de humedad relativa	Set point
Cerrado	Prendido	Menor que el set point	85 %
Abierto	Apagado	Mayor o igual que el set point	

Fuente: *Elaboración propia.*

Tabla 12. Estado de Q3, en relación al valor medido por el sensor de humedad relativa.

Condición del Contacto IC	Estado de la salida Q3	Valor medido por el sensor de humedad relativa	Set point
Abierto	Prendido	Mayor o igual que el set point	85 %
Cerrado	Apagado	Menor que el set point	

Fuente: *Elaboración propia.*

La tabla 12 muestra que el extractor (Q3) se encontrará prendido siempre y cuando el valor medido por el sensor de humedad relativa sea mayor que el valor del set point (85 %).

La tabla 10 también muestra que el contacto IB se encontrará cerrado siempre y cuando el valor medido por el sensor de temperatura sea menor que el valor del set point (55 °C).

La tabla 11 también indica que el contacto IC se encontrará cerrado siempre y cuando el valor medido por el sensor de humedad relativa sea menor que el set point (85 %), estando prendido de esta forma el ventilador y apagado el extractor.

Además, la tabla 12 indica que el contacto IC se encontrará abierto siempre y cuando el valor medido por el sensor de humedad relativa sea mayor que el valor del set point (85 %), estando prendido de esta manera el extractor y apagado el ventilador.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Al observar la toda la información que se muestra en las tablas 7 y 10, se puede mencionar que la resistencia eléctrica (Q1) se encontrará prendida siempre y cuando el contacto del controlador de temperatura (IB) se encuentre cerrado, el mismo que se mantendrá en esta condición si el valor medido por el sensor de temperatura es menor que el valor del set point (55 °C). Del mismo modo, la resistencia eléctrica (Q1) se encontrará apagada siempre y cuando el contacto del controlador de temperatura (IB) se encuentre abierto, el cual se mantendrá en esta condición si el valor medido por el sensor de temperatura es mayor que el valor del set point (55 °C). Por lo tanto, se puede decir que existe una relación directa entre el estado de la entrada IB del PLC donde se conecta el contacto del controlador de temperatura con el estado de Q1 donde se enlaza la resistencia eléctrica.

Al observar los datos que se muestran en las tablas 8 y 11, se puede decir que el ventilador (Q2) se encontrará prendido siempre y cuando el contacto del controlador de humedad relativa (IC) se encuentre cerrado, el mismo que se mantendrá en esta condición si el valor medido por el sensor de humedad relativa es menor que el valor del set point (85 %). De la misma forma, el ventilador (Q2) se encontrará apagado siempre y cuando el contacto del controlador de humedad relativa (IC) se encuentre abierto, el cual se mantendrá en esta condición si el valor medido por el sensor de humedad relativa es mayor que el valor del set point (85 %). Por lo tanto, se puede decir que existe una relación directa entre el estado de la entrada IC del PLC donde se conecta el contacto del controlador de humedad relativa con el estado de la salida física (Q2) del PLC donde se enlaza el ventilador.

Al compararse la información mostrada en las tablas 8, 9, 11 y 12, se puede observar que el extractor (Q3) permanecerá prendido siempre y cuando el ventilador (Q2) se encuentre apagado. Del mismo modo, el ventilador (Q2) permanecerá prendido siempre y cuando el extractor (Q3) se encuentre apagado. Estas situaciones ocurren debido a que al cerrarse el contacto IC se prende el ventilador; pero, se abre el contacto iC apagando al extractor; es decir, existe una relación inversa entre el estado de la entrada IC del PLC donde se conecta el contacto del controlador de humedad relativa con el estado de la salida física (Q3) del PLC donde se enlaza el extractor.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

- Se ha elaborado el circuito lógico para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, el mismo que se ha utilizado para poder ver el estado de las salidas físicas Q1, Q2 y Q3 del PLC, en relación a la condición de IB e IC. De esta manera es que se ha logrado el primer objetivo específico y al mismo tiempo se ha probado la primera hipótesis específica.
- Se ha deducido el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, con el estado de cada una de las salidas físicas del PLC, obteniéndose en este caso las siguientes conclusiones: existe una relación directa entre el estado de la entrada IB (contacto del controlador de temperatura) con el estado de la salida física Q1 (resistencia eléctrica) del PLC, existe una relación directa entre el estado de la entrada IC (contacto del controlador de humedad relativa) con el estado de la salida física Q2 (ventilador) del PLC; por último, existe una relación inversa entre el estado de la entrada IC (contacto del controlador de humedad relativa) con el estado de la salida física Q3 (extractor) del PLC. Por consiguiente, se puede decir que se ha cumplido con el segundo objetivo específico y simultáneamente se ha probado la segunda hipótesis específica.
- Se ha determinado el número de entradas y salidas físicas del PLC, las cuales resultaron: cuatro entradas (I1, I2, IB e IC) y tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3); a las cuales se conectaron el pulsador I1 (NC), el pulsador I2 (NA), el contacto del controlador de temperatura, el contacto del controlador de humedad relativa, la resistencia eléctrica, el ventilador y el extractor, respectivamente. Por lo tanto, se puede decir que se ha logrado el tercer objetivo específico y del mismo modo se ha comprobado la tercera hipótesis específica.
- De este modo se concluyó con la actual investigación, lográndose cumplir cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general, y asimismo se ha probado simultáneamente las hipótesis respectivas.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

- A los docentes de la FIQ-UNAP, que fomenten en los egresados a continuar desarrollando trabajos de tesis concernientes a la simulación y automatización de operaciones y procesos unitarios, ya que de esta manera se podrían automatizar los diferentes equipos con los que cuenta la Planta Piloto y el Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios de la FIQ-UNAP. Esto a su vez traería muchos beneficios para los estudiantes de los últimos niveles; pues desarrollaría en ellos la capacidad de realizar circuitos lógicos para sistemas automatizados con implementación de PLC, los mismos que les permitieran realizar el monitoreo de las variables (temperatura, humedad relativa, flujo de aire, presión, nivel de líquido, flujo de vapor, etc.) que intervienen en las diferentes operaciones unitarias tales como destilación, secado de materiales, filtración, etc.
- Para secadores con calentamiento eléctrico, se recomienda hacer la implementación con un sistema automatizado, el cual debe contar con los siguientes componentes: un PLC, un controlador digital de temperatura, un controlador de humedad relativa, una resistencia eléctrica, un ventilador y un extractor.
- A la salida física del PLC que representa en el circuito lógico a la resistencia eléctrica, se recomienda poner un contactor con un relé térmico, ya que el amperaje del relé de esta salida normalmente es mucho menor que el amperaje de trabajo de la resistencia eléctrica.
- Se debe hacer una revisión permanente de todos los componentes de dicho prototipo (PLC, controlador de temperatura, controlador de humedad relativa, ventilador, extractos, conexiones eléctricas, pulsadores y luces led), ya que esto puede impedir incidentes que puedan afectar el normal funcionamiento del PLC y los controladores de temperatura y humedad relativa.
- Para evitar accidentes eléctricos, se recomienda a las personas que realicen prácticas en dicho prototipo, hacerlo con la ropa apropiada y no manosear las instalaciones eléctricas con las manos mojadas.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- ADAUTO, Jordan y PORTILLA, Elvis. Modelamiento de un Sistema de Control no Lineal a Lazo Cerrado para Optimizar un Secador tipo Rotatubos en la Producción de Harina de Pescado. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Químico. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química, 2019. pp. x, 38-54.
- 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. 5-12, 19-20, 31, 33.
- 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. 7-8.
- EUSTAQUIO, Aldair y GILIO, Pedro. Diseño de un sistema automatizado para puertas rápidas enrollables en la Planta Industrial Kimberly Clark sede Puente Piedra, 2023. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico. Huacho, Perú: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Facultad de Ingeniería Industrial, Sistemas e Informática, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2023. pp. 28-30.
- ESTRELLA, Naomi y PANDURO, Jahel. Mejoramiento de un equipo para el drenaje de líquidos en tanques cónicos mediante la implementación de un sistema automatizado. Tesis para optar el título profesional de ingeniero químico. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Facultad de Ingeniería Química, 2023. pp. 18-20.

- GAGO, Jhonn y HURTADO, Antonio. Influencia de la velocidad del aire y la temperatura en la humedad de la maca (*lepidium meyenii*) en un secador de bandejas. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico del Gas Natural y Energía. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería Química, 2021. pp. 5-6.
- 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. 8-9, 17-18.
- GEANKOPLIS, Christie. Procesos de transporte y principios de separación. 4a. ed. México: Compañía Editorial Continental, 2006. pp. 573-574, 579-581. ISBN: 978-970-24-0856-3.
- HERNÁNDEZ, A.; OLIVARES, J.C; ALAFFITA, F y HERNÁNDEZ, I.A. Análisis y diseño de la automatización del proceso de secado de piezas en celdas de manufactura. México. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica: 7 (37): 1-10, 2019.
- 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. pp. 9-10, 29-30.
- HUAMÁN, Luis y MAMANI, Ernesto. Diseño e implementación de un prototipo de secador de café automatizado. Tesis para optar el título profesional de ingeniero mecatrónico. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica, 2019. pp. xvi, 27, 113-120.

- HUAYHUA, Rene. Elaboración de tableros simuladores para PLCs y desarrollo de guías de laboratorio para la opción ocupacional electrónica del CETPRO-Puno. Trabajo de Suficiencia profesional para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de Ingeniería de Producción y Servicios, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2017. pp. 11-12, 17-18, 37-39, 51-54.
- LOZANO, Jhon. Diseño de un módulo de prácticas para la asignatura de sistemas digitales para el fortalecimiento del aprendizaje de los estudiantes de la carrera tecnologías de la información. Proyecto de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Sistemas Computacionales. Jipijapa, Manabí, Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí, Facultad de Ciencias Técnicas, Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, 2020. pp. 24-25.
- MATAMOROS, Ingrid y CHICHANDE, Daniel. Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero electrónico. Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Carrera de Ingeniería Electrónica, 2021. pp. 7, 21.
- MONTES, Jorge. Automatización de una subestación de transformadores secos encapsulados e implementación de un prototipo de prueba para el control de temperatura y protección en aplicaciones de centrales eléctricas fotovoltaicas T - Solar Arequipa. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico. Arequipa, Perú: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, 2018. 80 p.
- RODRÍGUEZ, Julián; CERDÁ, Luis y BEZOS, Roberto. Automatismos Industriales. 2a. ed. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, S.A., 2022. pp. 2, 213, 292, 322.
ISBN 13: 978-84-1366-161-2.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general ¿Cuál sería el prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es el circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico? • ¿Existirá el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan el estado de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC? • ¿Cuántas son las entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico? 	<p>Objetivo general Diseñar y construir un prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elaborar el circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico. • Deducir el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC. • Determinar el número de entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico. 	<p>Hipótesis general El prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, debe ser un sistema automatizado, el mismo que debe estar conformado por los siguientes componentes: un PLC, un controlador de temperatura, un controlador de humedad relativa, un túnel cilíndrico, una resistencia eléctrica, un ventilador y un extractor.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • El circuito lógico más adecuado para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, debe ser un diagrama tipo ladder. • Existe el sistema de ecuaciones mediante el cual se relacionan la condición de las entradas, el estado de la marca de enclavamiento y el estado de cada una de las salidas físicas del PLC. • Las entradas y salidas físicas del PLC, que se conectarán a los componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico, son: cuatro entradas y tres salidas físicas. 	<p>Variables independientes I1 e I2: estado de las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente. IB e IC: estado de las entradas del PLC que se conectan a los controladores de temperatura y humedad relativa, respectivamente.</p> <p>Variable interviniente M1: estado de la marca de enclavamiento.</p> <p>Variables dependientes Q1: estado de la salida del PLC, que se conecta a la resistencia eléctrica. Q2: estado de la salida del PLC, que se conecta al ventilador. Q3: estado de la salida del PLC, que se conecta al extractor.</p>	<p>Abierto: 0 Cerrado: 1</p> <p>Abierto: 0 Cerrado: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p> <p>Apagado: 0 Prendido: 1</p>	<p>Tipo de investigación La presente investigación es del tipo aplicada, con enfoque cuantitativo y diseño correlacional.</p> <p>Población y muestra Está representada por todos los elementos que conforman el circuito lógico, siendo esto igual a (10).</p> <p>Muestra Está conformada por las entradas (IB e IC), más las tres salidas físicas (Q1, Q2 y Q3) del PLC; por lo tanto, el tamaño de muestra es igual a cinco (5).</p>

Anexo 2. Especificaciones técnicas de los componentes principales del prototipo para el control de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

PLC

Marca: Schneider Electric.

Modelo: Zelio SR3 B101BD.

Alimentación: 24 VCA.

Entradas digitales = 2 (I1 e I2).

Entradas mixtas = 4 (IB, IC, ID e IE).

Salidas digitales = 4 (Q1,....., Q4/contactos de relé secos).

Llave térmica

Marca: Schneider Electric.

Amperaje: 2×16 A.

Resistencia eléctrica

Voltaje: 110 a 240 VCA.

Potencia: 1500 W.

Controlador de temperatura

Marca: Autonics

Serie: TCN4M-24R

Fuente de alimentación: 100 a 240 VCA-50/60 Hz.

Método de visualización: 4 dígitos 7 segmentos.

Salida de control: relé (240 VCA-3A) o unidad SSR (12 VDC) [ON/OFF].

Controlador de humedad relativa

Marca: Full Gauge controls

Serie: MT-530 €

Fuente de alimentación: 115 a 240 VCA-50/60 Hz.

Humedad relativa de control: 10 a 85 %.

Máxima corriente y voltaje de salida: 5A/250 VCA.

Anexo 3. Manual de instrucciones del prototipo para el control de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

- El prendido del circuito lógico se puede realizar de dos formas: ya sea desde la PC haciendo un clic en el pulsador I2 del panel de entradas (figura A3), o apretando el pulsador verde I2 en el tablero de control (figura A2).
- El apagado del circuito lógico se puede realizar de dos formas: ya sea desde la PC haciendo un clic en el pulsador I1 del panel de entradas (figura A3), o apretando el pulsador rojo I1 en el tablero de control (figura A2).
- El prendido de la resistencia eléctrica, se indica mediante el prendido de la luz led verde (figura A2).
- El prendido del ventilador, se indica mediante el prendido de la luz led amarilla (figura A2).
- El prendido del extractor, se indica mediante el prendido de la luz led roja (figura A2).

El orden de conexión para cada una de las entradas y salidas físicas que se utilizan en el PLC, es el siguiente:

- Los pulsadores I1 (NC) e I2 (NA), se conectan a las entradas 1 y 2 del PLC, respectivamente.
- El contacto del controlador de temperatura se debe conectar a la entrada 3 del PLC, la misma que se simboliza en el software de simulación del PLC por IB.
- El contacto del controlador de humedad relativa se debe conectar a la entrada 4 del PLC, la misma que se simboliza en el software de simulación del PLC por IC.
- La salida física Q1 del PLC se conecta a la resistencia eléctrica y a una la luz led verde.
- La salida física Q2 del PLC se conecta al ventilador y a una la luz led amarilla.
- La salida física Q3 del PLC se conecta al extractor y a una la luz led roja.

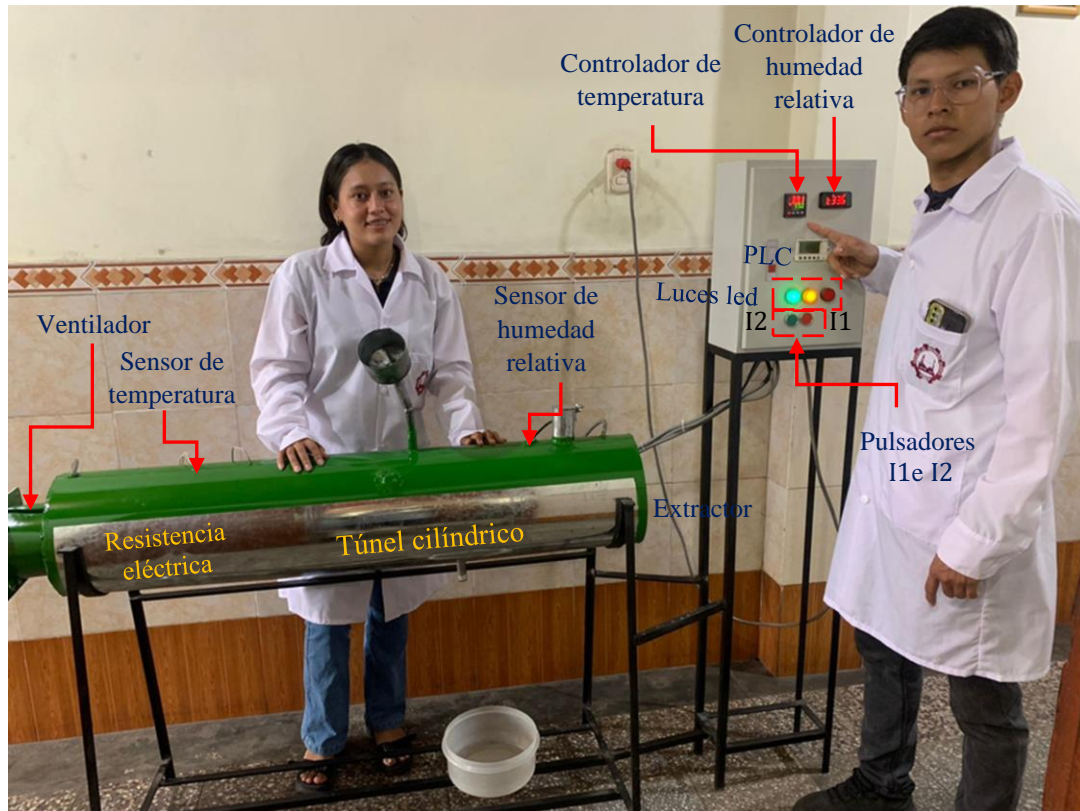


Figura A1. Prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.



Figura A2. Componentes principales del prototipo para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.

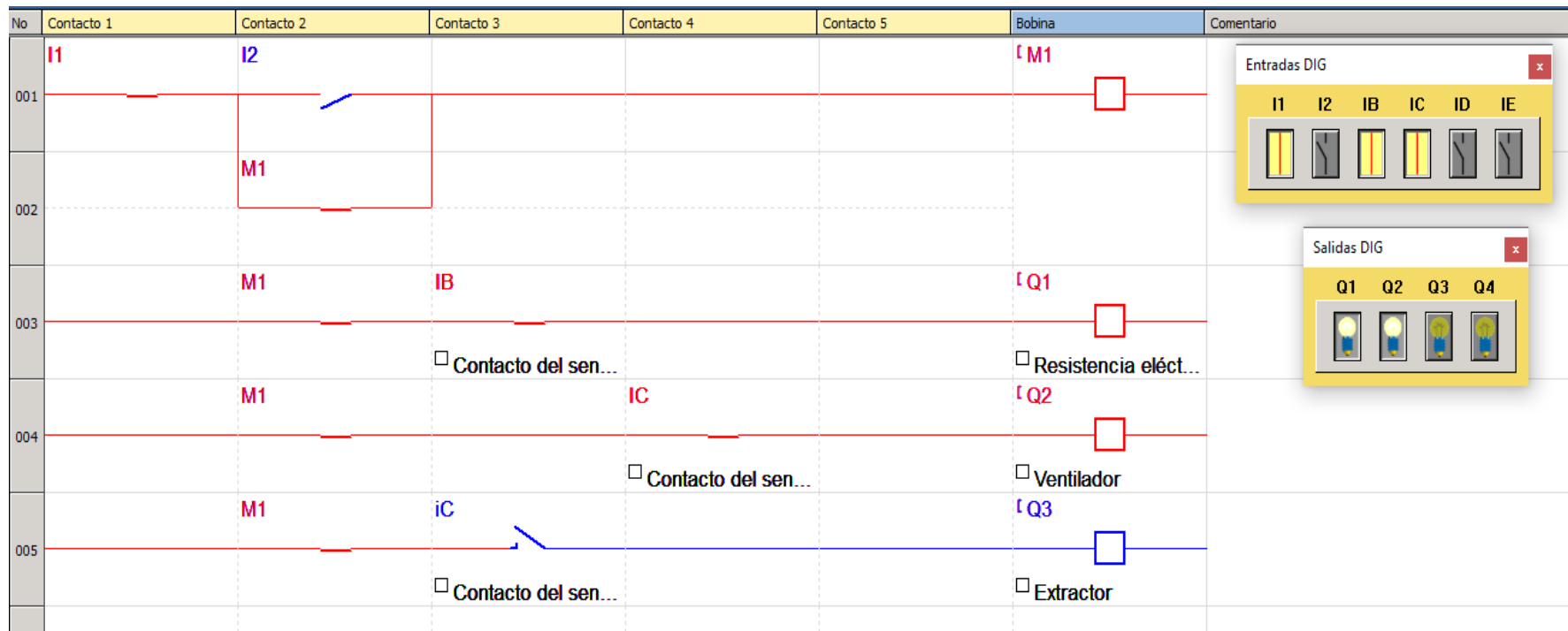


Figura A3. Circuito lógico para el control automático de temperatura y humedad relativa en secadores con calentamiento eléctrico.