

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **IMPLEMENTACIÓN DE I/O ANALÓGICAS Y DIGITALES EN LOS MÓDULOS DIDÁCTICOS PLC'S DEL LTI-ESFOT**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

**Luis David Loor Rodríguez**

luis.loor@epn.edu.ec

**Luis Edwin Quinchiguango De la cruz**

luis.quinchiguango@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. ALAN DANIEL CUENCA SÁNCHEZ, MSC.**

alan.cuenca@epn.edu.ec

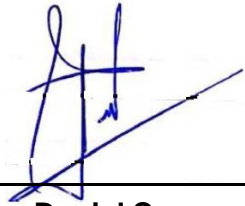
**CODIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.**

carlos.romo@epn.edu.ec

**Quito, mayo 2021**

# CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Loo Rodríguez Luis David y Quinchiguango De la cruz Luis Edwin como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA, bajo nuestra supervisión:



---

**Ing. Alan Daniel Cuenca  
Sánchez**

DIRECTOR DEL PROYECTO

---

**Ing. Carlos Orlando Romo  
Herrera**

CODIRECTOR DEL PROYECTO

## DECLARACIÓN

Nosotros Loor Rodríguez Luis David con CI: 2350215386 y Quinchiguango De la cruz Luis Edwin con CI: 1725310252, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



---

**Luis David Loor Rodríguez**



---

**Luis Edwin Quinchiguango De la  
cruz**

# DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y por haberme permitido lograr mis sueños.

A mis padres por nunca haberme abandonado, por haber creído en mí en todo momento y por ser quienes me dieron su apoyo incondicional toda la vida.

A mis hermanas que fueron mi motivación para llegar a ser un profesional.

A las personas que estuvieron a mi lado en momentos buenos y malos.

A todos ellos que siempre me impulsaron a seguir adelante cuando sentía que no podría.

**Luis David Loo Rodríguez**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres Ángela Rodríguez y Braulio Yanza por ayudarme a culminar mis estudios, por guiarme en el camino de mi vida profesional y especialmente por inculcarme los valores de honestidad y responsabilidad que me comprometieron a mantenerme con la mente en alto durante mi transcurso académico.

A mis hermanas Gissela Yanza, María Yanza y Alexa Yanza, por demostrarme que puedo ser un ejemplo a seguir y un tutor para ellas.

A mi director Ing. Alan Cuenca por haberme guiado e impartido sus enseñanzas a lo largo de la carrera y por nunca haber perdido la confianza en mí de poder realizar este proyecto de titulación.

Al conjunto de docentes que me compartieron sus conocimientos y que han dedicado su tiempo para que día a día el nombre de las ESFOT sea considerado parte fundamental de la Escuela Politécnica Nacional.

**Luis David Loo Rodríguez**

# **DEDICATORIA**

El presente proyecto lo dedico a mi hijo Gael Nicolás Quinchiguango Tutillo por ser el motor de mi vida y motivo de mi superación tanto personal como académicas.

A mis hermanos menores para que pueda servirles como ejemplo e inspiración para sus vidas.

A las personas que no creyeron en mi porque me impulsaron a lograrlo.

**Luis Edwin Quinchiguango De la cruz**

# **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la sabiduría suficiente para alcanzar una de las metas más importantes de mi vida.

A mis padres Luis Quinchiguango y Lizandra De la cruz por haberme apoyado hasta en mis peores momentos, por siempre motivarme a seguir adelante e inculcarme valores para formarme como un buen ser humano y un excelente profesional.

A mis hermanos Daniel Quinchiguango, Oliver Quinchiguango y Alejandro Quinchiguango por ser mis compañeros de vida y parte fundamental para alcanzar este logro tan importante.

A mi esposa Karen Tutillo por ser parte de las mejores etapas de mi vida y por darme su apoyo incondicional ante cualquier situación.

A mi director Ing. Alan Cuenca por su paciencia y enseñanzas durante este proceso tan importante para convertirme en un profesional.

A mis docentes Ing. Alex Oña, Ing. Carlos Romo, Ing. Hugo Zúñiga, Ing. Pablo Proaño, Ing. Abraham Loja, Ing. Fanny Flores, Ing. Alan cuenca, Ing. Cristian Bonilla, por compartirme sus conocimientos durante mi estadía en la ESFOT de la Escuela Politécnica Nacional que sin duda alguna me ha servido para llegar al punto en el cual me encuentro ahora.

**Luis Edwin Quinchiguango De la cruz**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción .....	1
1.1	Objetivo general .....	2
1.2	Objetivos específicos.....	2
2	Metodología.....	3
2.1	Descripción de la metodología usada.....	3
3	Resultados y Discusión .....	5
3.1	Estado actual de los módulos PLC del LTI .....	5
3.2	Estructura de los módulos didácticos PLC's .....	7
3.3	Instalación de los módulos de expansión .....	14
	Especificaciones técnicas.....	14
	Instalación de elementos en el gabinete.....	16
	Cableado eléctrico principal.....	18
3.4	Instalación de la pantalla HMI .....	24
	SIMATIC HMI KTP700 BASIC .....	24
	Características técnicas para instalación.....	24
	Ubicación de la pantalla HMI en las cubiertas de los módulos .....	25
	Instalación de la fuente de 24 (V <sub>DC</sub> ).....	25
	Cableado eléctrico de la pantalla HMI y los ventiladores .....	26
	Etiquetado de los módulos didácticos .....	28
3.5	Algoritmos de control e Interfaz Humano Máquina.....	29
	Planta de control de nivel.....	32
	Planta domótica .....	33
3.6	Pruebas y Análisis de Resultados.....	38
	Prueba de comunicación .....	38
	Prueba de funcionamiento de entradas y salidas digitales .....	40
	Prueba de funcionamiento de entradas y salidas analógicas .....	42
	Prueba de funcionamiento del controlador y plantas didácticas .....	44



3.7	Manual de Uso y Mantenimiento .....	48
4	Conclusiones y Recomendaciones .....	49
4.1	Conclusiones.....	49
4.2	Recomendaciones.....	50
5	Referencias Bibliográficas .....	51
	ANEXOS.....	53
	Anexo 1: Certificado de Funcionamiento.....	i
	Anexo 2: PLANOS Y ESQUEMAS.....	iii

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3.1</b>	Cableado antiguo de los módulos didácticos.....	5
<b>Figura 3.2</b>	Estado anterior de los elementos internos del módulo.....	6
<b>Figura 3.3</b>	Rayones en los módulos didácticos. ....	6
<b>Figura 3.4</b>	Cubierta antigua del módulo.....	7
<b>Figura 3.5</b>	Proceso de fabricación de las nuevas cubiertas. ....	8
<b>Figura 3.6</b>	Medición del espacio designado para la pantalla HMI. ....	8
<b>Figura 3.7</b>	Nuevas cubiertas de los módulos. ....	9
<b>Figura 3.8</b>	Nuevo acabado de los gabinetes.....	9
<b>Figura 3.9</b>	Perforación de agujeros para los ventiladores.....	10
<b>Figura 3.10</b>	Apertura de orificios para puertos de red.....	10
<b>Figura 3.11</b>	Elementos de infraestructura: canaleta plástica y riel DIN.....	11
<b>Figura 3.12</b>	Distribución de agujeros para portafusibles.....	11
<b>Figura 3.13</b>	Distribución de los elementos de infraestructura en los módulos. ....	12
<b>Figura 3.14</b>	Nuevo diseño de la cubierta de los módulos. ....	12
<b>Figura 3.15</b>	Colocación de la etiqueta frontal en las cubiertas.....	13
<b>Figura 3.16</b>	Ubicación de bomeras, pulsadores e interruptores en las cubiertas.....	13
<b>Figura 3.17</b>	Partes del SIMATIC S7 - 1200.....	14
<b>Figura 3.18</b>	Partes del SM 1223.....	15
<b>Figura 3.19</b>	Partes del SM 1234.....	15
<b>Figura 3.20</b>	Distribución de los dispositivos en la parte interna del módulo.....	16
<b>Figura 3.21</b>	Montaje del PLC y los módulos de expansión. ....	17
<b>Figura 3.22</b>	Montaje de fuente de 24 (V <sub>DC</sub> ) e interruptor termomagnético.....	17
<b>Figura 3.23</b>	Montaje del circuito de acondicionamiento.....	18
<b>Figura 3.24</b>	Entradas digitales del CPU 1212C.....	20
<b>Figura 3.25</b>	Entradas digitales del módulo SM 1223. ....	20
<b>Figura 3.26</b>	Salidas digitales de la CPU 1212C.....	20
<b>Figura 3.27</b>	Salidas digitales del módulo SM 1223.....	21
<b>Figura 3.28</b>	Entradas analógicas de la CPU y del módulo SM 1234.....	21
<b>Figura 3.29</b>	Salidas analógicas del módulo SM 1234 y de la Signal Board.....	21
<b>Figura 3.30</b>	Cableado principal de los módulos didácticos. ....	22
<b>Figura 3.31</b>	Nuevos potenciómetros para la regulación de voltaje.....	22
<b>Figura 3.32</b>	Voltímetros digitales.....	23
<b>Figura 3.33</b>	Cableado eléctrico ordenado en la cubierta de los módulos. ....	23
<b>Figura 3.34</b>	Pantalla HMI KTP700 Basic.....	24

<b>Figura 3.35</b>	Ubicación de la pantalla HMI en las cubiertas de los módulos. ....	25
<b>Figura 3.36</b>	Fuente de alimentación 24 (V <sub>DC</sub> ).....	25
<b>Figura 3.37</b>	Instalación de la fuente de 24 (V <sub>DC</sub> ). ....	26
<b>Figura 3.38</b>	Cableado eléctrico de la pantalla HMI.....	26
<b>Figura 3.39</b>	Ubicación de los ventiladores. ....	27
<b>Figura 3.40</b>	Conexión de la pantalla HMI y los ventiladores. ....	27
<b>Figura 3.41</b>	Rejilla para ventiladores. ....	28
<b>Figura 3.42</b>	Etiquetado de los cables en el interior de los módulos.....	28
<b>Figura 3.43</b>	Etiquetado del exterior de los módulos.....	29
<b>Figura 3.44</b>	Diagrama de flujo para la planta de control de nivel.....	30
<b>Figura 3.45</b>	Diagrama de flujo para la planta domótica.....	31
<b>Figura 3.46</b>	Ventana HMI para planta de control de nivel.....	33
<b>Figura 3.47</b>	Ventana HMI del sistema de seguridad.....	34
<b>Figura 3.48</b>	Ventana HMI del sistema de iluminación.....	35
<b>Figura 3.49</b>	Ventana HMI del sistema de calefacción.....	35
<b>Figura 3.50</b>	Prueba de comunicación PLC y PC.....	39
<b>Figura 3.51</b>	Prueba de comunicación entre PLC y HMI.....	39
<b>Figura 3.52</b>	Algoritmo de prueba de I/O digitales.....	40
<b>Figura 3.53</b>	Prueba de mando piloto.....	41
<b>Figura 3.54</b>	Algoritmo de prueba de I/O analógicas.....	43
<b>Figura 3.55</b>	Prueba de funcionamiento en sistema de control.....	44
<b>Figura 3.56</b>	Prueba de selección de nivel.....	45
<b>Figura 3.57</b>	Sistema de seguridad accionado.....	46
<b>Figura 3.58</b>	Iluminación automática.....	46
<b>Figura 3.59</b>	Iluminación manual.....	47
<b>Figura 3.60</b>	Sistema de calefacción y ventilación.....	47
<b>Figura 3.61</b>	Código QR para el video del manual de uso.....	48
<b>Figura 3.62</b>	Código QR para el video del manual de mantenimiento.....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b> Terminales utilizados en el cableado eléctrico.....	18
<b>Tabla 3.2</b> Distribución de entradas y salidas de los módulos didácticos.....	19
<b>Tabla 3.3</b> Datos técnicos de la HMI KTP700 Basic.....	24
<b>Tabla 3.4</b> Variables principales del algoritmo de control.....	36
<b>Tabla 3.5</b> Resultados prueba de comunicación.....	40
<b>Tabla 3.6</b> Resultados de la prueba de mando piloto.....	41
<b>Tabla 3.7</b> Resultados de la prueba de I/O analógicas.....	43
<b>Tabla 3.8</b> Resultados de la prueba en la planta de control de nivel.....	45
<b>Tabla 3.9</b> Resultados de las pruebas en la planta domótica.....	47

# RESUMEN

El presente trabajo de titulación surge como respuesta a la necesidad de aumentar el número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales en los módulos didácticos de los Controladores Lógicos Programables (PLC's) del Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos (LTI-ESFOT) de la Escuela Politécnica Nacional. Además, se realizó la instalación de una pantalla táctil que permite la interacción y comunicación entre el operador y el proceso, para que de esta manera los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica puedan consolidar y aplicar los conocimientos teóricos desarrollando e implementando procesos industriales más complejos que requieran un mayor número de señales analógicas y digitales.

El presente proyecto de titulación se ha dividido en cinco capítulos que se detallan a continuación:

La Introducción describe el objetivo general y los objetivos específicos propuestos para la realización del proyecto.

La Metodología expone las actividades de investigación como recolección de información necesaria, el uso de técnicas y recursos como la experimentación y observación que fueron necesarios para cumplir con los objetivos que se plantearon en el presente trabajo.

En Resultados y Discusión se describen los aspectos principales para desarrollar el presente proyecto, como las condiciones iniciales en las cuales se encontraban los módulos didácticos PLC's, el nuevo diseño del módulo didáctico que incluye dispositivos de expansión y la pantalla HMI, además en este capítulo se detalla la implementación y pruebas de funcionamiento necesarias para verificar que todo el sistema funcione adecuadamente.

Las conclusiones y recomendaciones que surgieron del proyecto de titulación se encuentran en el capítulo cuatro.

Finalmente, se colocaron las referencias bibliográficas usadas para la realización de este trabajo de titulación.

**PALABRAS CLAVE:** S7-1200, TIA, Control, Analógicas, Digitales, HMI, PLC.

# ABSTRACT

This degree work arises in response to the need to increase the number of inputs and outputs, both analog and digital, in the didactic modules of Programmable Logic Controllers (PLC's) of the Industrial Technology Laboratory of the Technologists Training School (LTI- ESFOT) of the National Polytechnic School. In addition, a touch screen was installed that allows interaction and communication between the operator and the process, so that in this way the students of the Electromechanical Technology career can consolidate and apply theoretical knowledge developing and implementing more industrial processes. complex that require a greater number of analog and digital signals.

This degree project has been divided into five chapters that are detailed below:

The Introduction describes the general objective and the specific objectives proposed for the realization of the project.

The Methodology exposes the research activities such as the collection of necessary information, the use of techniques and resources such as experimentation and observation that were necessary to fulfill the objectives that were proposed in this work.

In Results and Discussion, the main aspects to develop this project are described, such as the initial conditions in which the PLC's didactic modules were found, the new design of the didactic module that includes expansion devices and the HMI screen. details the implementation and functional tests necessary to verify that the entire system is working properly.

The conclusions and recommendations that emerged from the degree project are found in chapter four.

Finally, the bibliographic references used to carry out this degree work were placed.

**KEYWORDS:** S7-1200, TIA, Control, Analog, Digital, HMI, PLC.

# 1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías está mejorando la automatización de diversas industrias ecuatorianas, permitiendo una visión más avanzada sobre los procesos de control y una relación más estrecha con el operador. Esto abre un mundo de oportunidades en el sector industrial para desarrollar procesos industriales con altos estándares de calidad en sus productos y servicios.

El LTI-ESFOT cuenta principalmente con módulos didácticos que contienen en su interior autómatas programables PLC S7-1200 que permiten realizar prácticas de control y automatización industrial, pero estaban limitados con 8 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 8 salidas digitales tipo relé, lo que no permitía desarrollar procesos industriales más complejos en los cuales eran necesarios más periféricos de entrada y salida.

Considerando la problemática y tomando en cuenta los requerimientos se estableció la necesidad de potenciar dichos módulos didácticos, instalando módulos de expansión para solucionar el problema, permitiendo al estudiante desarrollar procesos más avanzados que necesitaban una mayor cantidad de entradas y salidas, tanto digitales como analógicas. Las expansiones de entradas y salidas permiten que los estudiantes de la carrera de Tecnología en Electromecánica manejen el módulo y se familiaricen con procesos industriales que la mayoría de las empresas utilizan en la actualidad, adquiriendo conocimientos prácticos y teóricos sobre la automatización con PLC's en las diferentes plantas didácticas que se encuentran en el LTI-ESFOT.

Por tal motivo, el presente proyecto tiene como objetivo instalar I/O analógicas y digitales en tres de los seis módulos didácticos PLC's del LTI-ESFOT, utilizando módulos de expansión, tales como el SM 1223 que suministrará 8 entradas digitales y 8 salidas digitales tipo relé, mientras que el SM 1234 aportará con 4 entradas y 2 salidas de tipo analógicas para la adquisición continua de datos. El PLC S7-1200 permite la adición de módulos de expansión para mejorar sus prestaciones, dando la capacidad de realizar una gran variedad de aplicaciones usando señales digitales y analógicas.

De forma complementaria se incorporó en cada módulo didáctico una HMI KTP700 Basic, la cual facilitará la comunicación e interacción entre el proceso y el operador, permitiendo además mostrar las diferentes variables que se están midiendo o controlando en tiempo real a través de herramientas dinámicas de visualización. En el

**Anexo 1** se adjunta el certificado de funcionamiento que verifica que este proyecto se implementó adecuadamente.

## **1.1 Objetivo general**

Implementar I/O analógicas y digitales en los módulos didácticos PLC's del LTI-ESFOT.

## **1.2 Objetivos específicos**

Revisar el estado actual de los módulos PLC del LTI.

Modificar la estructura de los módulos didácticos PLC's.

Instalar los módulos de expansión I/O digitales y analógicos a los PLC's.

Instalar la pantalla HMI para la comunicación entre el operador y el proceso.

Desarrollar algoritmos de control e Interfaz Humano Máquina.

Realizar pruebas de funcionamiento.

Realizar manuales de usuario y mantenimiento.



## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 Descripción de la metodología usada

El método científico que se aplicó en el presente proyecto integrador fue exploratorio con enfoque aplicativo, debido a que relaciona directamente los conocimientos teóricos adquiridos durante la carrera y la aplicación de los mismos en el sistema que se implementó. Para ello fue necesario realizar diferentes pruebas para la evaluación y comprobación del correcto funcionamiento de los módulos a implementar. [1]

Debido a que los módulos didácticos PLC del LTI han sido construidos hace ya aproximadamente 2 años fue importante realizar una inspección completa para verificar las condiciones en las cuales se encontraban dichos módulos, corrigiendo así las fallas existentes. Para el proceso de inspección del estado anterior de los módulos didácticos PLC se revisó el cableado interno del módulo, periféricos de entradas y salidas como son los pulsadores, interruptores y borneras, además del estado del PLC S7-1200. [2] En cuanto a la estructura interna de los módulos se comprobó que existiera suficiente espacio para realizar el cableado de los módulos de expansión, esta inspección fue importante ya que el PLC debía tener un entorno adecuado. [3]

Debido a que la estructura modular fue diseñada únicamente para alojar los dispositivos y equipos electrónicos que se encontraban anteriormente, no se contaba con el suficiente espacio para el montaje de las expansiones I/O, por lo que se modificaron los elementos de infraestructura para que los módulos de expansión estén ubicados correctamente y de manera organizada. Principalmente se sustituyó el riel DIN que estaba colocado y se instaló uno más largo para que pueda soportar al PLC y los módulos de expansión I/O. De igual manera se reemplazó todo el cableado permitiendo usar los módulos instalados para las plantas de procesos industriales, además se pusieron nuevas canaletas de mayor capacidad que abordaron el nuevo cableado.

En base a la disponibilidad que ofrecen los PLC's para acoplar módulos de expansión, se añadieron 8 entradas digitales y 8 salidas digitales tipo relé. De la misma manera se añadieron 4 entradas y 2 salidas analógicas. El PLC S7-1200 es un controlador que se puede ampliar con diferentes módulos de I/O, dichos módulos de expansión sirven para complementar la periferia integrada de la CPU. [4] La sencillez y el ajuste flexible del control de los módulos de expansión facilitan su uso para las tareas correspondientes y en aplicaciones realizadas por el usuario.

Una de las deficiencias que presentaban los módulos didácticos PLC era que no contaban con una pantalla HMI que facilite la comunicación entre el operador y las plantas didácticas, es por esta razón que se instaló una pantalla HMI KTP700 a cada uno, permitiendo así el monitoreo del proceso y la visualización de su comportamiento en tiempo real. [5]

Para la programación del PLC y los módulos de expansión, se usó el programa SIMATIC Step 7 V.15 (PORTAL TIA), el cual permitió desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesario para controlar la aplicación, para lo cual se usaron bloques organizacionales y esquema de contactos, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos instalados, tales como controladores y dispositivos HMI para que se adapten al PLC de forma adecuada. [6]

El programa TIA Portal V15 permite al usuario configurar el modo de conexión entre dispositivos, realizar las configuraciones de los equipos y crear algoritmos de programación utilizando lenguaje LADDER, FBD, etc. [7] La pantalla HMI KTP700 usa una interfaz PROFINET y es configurable desde el WinCC Basic V15. Por lo tanto, se realizó el algoritmo de control y la Interfaz Humano Máquina utilizando dicho programa. [8]

Una vez concluido el proyecto, se realizaron pruebas de funcionamiento, tanto eléctricas como de comunicación entre los equipos instalados para verificar que los tres módulos trabajaron de manera adecuada, caso contrario se implementaron las debidas soluciones para que el módulo didáctico cumpla los requerimientos establecidos. Las pruebas se enfocaron principalmente en revisar el correcto funcionamiento de los módulos de expansión de I/O digitales y analógicas en los módulos PLC's. Respecto a las plantas de procesos industriales, se comprobó que los módulos didácticos PLC's puedan controlarlas y supervisarlas de forma correcta desde la pantalla HMI. [9]

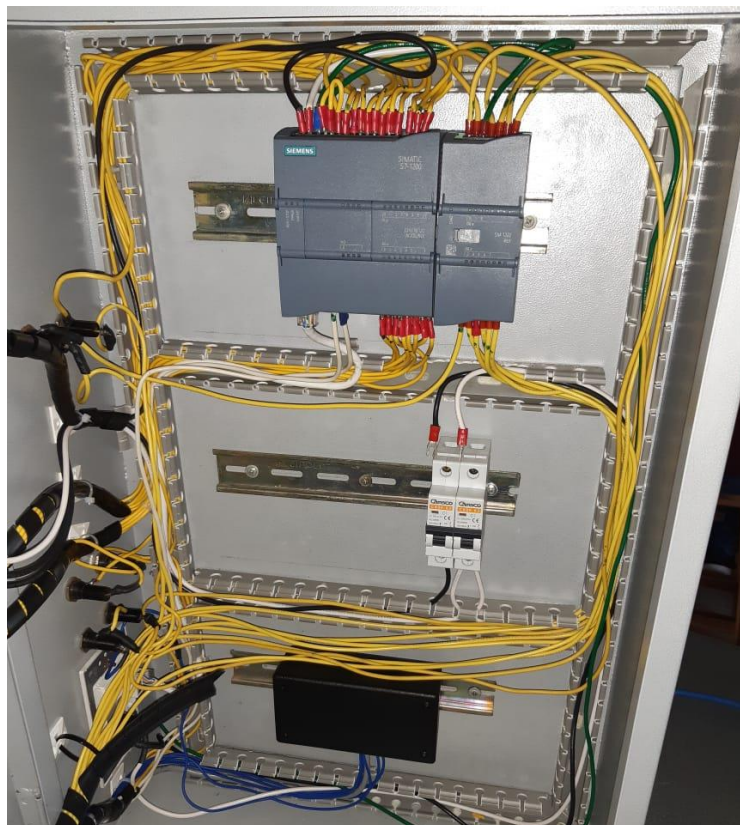
Luego de comprobar el funcionamiento de los módulos se realizó el manual de usuario y mantenimiento apropiado, el cual se basó en dos videos demostrativos que contienen todo lo necesario respecto a los módulos didácticos, de tal modo que sea comprensible para los estudiantes u operadores, ahí se explicó a detalle los problemas que se pueden presentar y se dio a conocer una solución para dichos problemas. Además, se mencionan los pasos a seguir para el uso de los módulos didácticos y el proceso a realizar para un mantenimiento adecuado.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se instalaron dispositivos de expansión de I/O analógicas y digitales en los tres módulos didácticos PLC's, para disponer una mayor cantidad de entradas y salidas para automatizar una planta industrial, además se incorporó una pantalla HMI en cada gabinete para monitorear, supervisar y controlar los procesos o las distintas plantas.

#### 3.1 Estado actual de los módulos PLC del LTI

Los módulos se encontraban en buen estado, sin embargo, las canaletas estaban totalmente llenas (ver **Figura 3.1**), lo cual limitaba emplear el nuevo cableado para los módulos de expansión.



**Figura 3.1** Cableado antiguo de los módulos didácticos.

Por otra parte, se tomó en cuenta el estado de los terminales, ya que en algunos cables se encontraban sueltos, debido a la manipulación y tensión mecánica que se dio con el transcurso del tiempo, esto se observa en la **Figura 3.2**. Cabe mencionar que en algunos puntos como en los fusibles de protección y en los terminales de alimentación, se había degradado la soldadura que mantenía unido el terminal y el cable, sin

mencionar que en algunos portafusibles había desaparecido o estaba a punto de romperse, por lo que se reemplazó todo lo mencionado con un nuevo cableado eléctrico.



**Figura 3.2** Estado anterior de los elementos internos del módulo

En la **Figura 3.3** se observan rayones que se habían generado en los gabinetes, por ello se propuso llevarlos a una fábrica para que sean pintados nuevamente.



**Figura 3.3** Rayones en los módulos didácticos.

Respecto a la cubierta del módulo, se realizaron las mediciones adecuadas para establecer el lugar donde se instalaría la pantalla HMI, se aprovechó que existía una abertura donde existía un vidrio que permitía visualizar el funcionamiento del PLC (ver **Figura 3.4**), por lo que se propuso dicho lugar para la colocación de la pantalla. Además,

se realizó un nuevo diseño de la etiqueta de la cubierta, tomando en cuentas las nuevas entradas y salidas analógicas y digitales de los módulos.



**Figura 3.4** Cubierta antigua del módulo.

Otro aspecto importante fue el estado de las borneras y terminales que se encontraban en las cubiertas de los módulos, las cuales estaban en mal estado y aisladas, lo que impedía que los cables con terminales banana se conecten con facilidad.

Una vez revisados los módulos didácticos se procedió a la modificación de la estructura física y conexiones eléctricas de los anteriores y nuevos componentes.

### **3.2 Estructura de los módulos didácticos PLC's**

Para la modificación de la estructura de los módulos, fue importante realizar previamente en el programa AutoCAD un plano esquemático del gabinete, el cual se encuentra en el **Anexo 2 lámina 1**. En dicho plano se pueden observar todas las dimensiones necesarias para la modificación de los gabinetes, ya sea diámetros de orificios, medidas de agujeros para puertos de red, enchufe de alimentación, voltímetros digitales y el espacio designado para la pantalla HMI. Gracias a esto se pudo distribuir correctamente el espacio de las cubiertas de los módulos para posteriormente su fabricación (ver **Figura 3.5**).





**Figura 3.5** Proceso de fabricación de las nuevas cubiertas.

En la **Figura 3.6** se observa el proceso que se siguió para la medición del espacio designado para la pantalla HMI, tomando en cuenta las consideraciones del plano estructural. La pantalla quedó ubicada correctamente en un punto ideal para su manipulación y la del módulo didáctico, tal como se muestra en **Figura 3.7**.



**Figura 3.6** Medición del espacio designado para la pantalla HMI.



**Figura 3.7** Nuevas cubiertas de los módulos.

Una vez fabricadas las nuevas cubiertas de los módulos, los gabinetes fueron pintados, utilizando una pintura electroestática, para eliminar las anomalías y mejorar la estética de los mismos (ver **Figura 3.8**).



**Figura 3.8** Nuevo acabado de los gabinetes.

Debido a que se acordó instalar la pantalla HMI en la cubierta del módulo, fue práctico realizar dos orificios en los laterales del gabinete para los ventiladores que se encargarán del suministro y extracción de aire.

Se tomaron en cuenta las medidas de los ventiladores para perforar el tamaño adecuado, dicho proceso se observa en la **Figura 3.9**.



**Figura 3.9** Perforación de agujeros para los ventiladores.

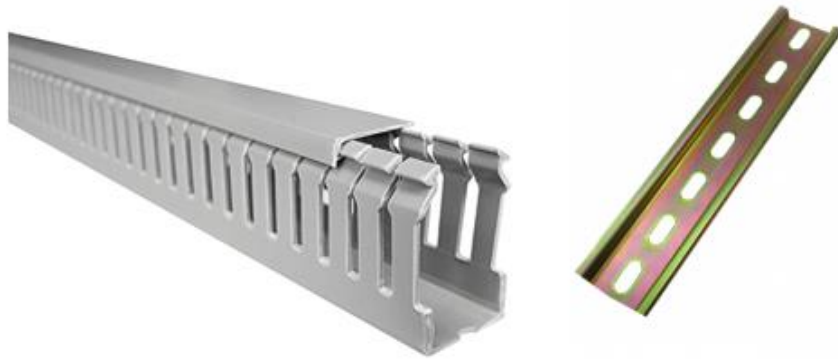
Aprovechando el uso de herramientas industriales, se realizaron dos orificios para los puertos de red, tanto del PLC como de la pantalla HMI (ver **Figura 3.10**).



**Figura 3.10** Apertura de orificios para puertos de red.

Se colocaron nuevas canaletas plásticas ranuradas de 25 x 40 (mm), para obtener una mayor capacidad para el cableado eléctrico, y además se colocó el riel DIN de 35 (mm) que ayudaría a sostener los equipos tales como el PLC, los módulos de expansión, el interruptor termomagnético, el circuito de acondicionamiento para entradas analógicas y una fuente de alimentación de 24 (V<sub>DC</sub>). Dichos elementos de infraestructura pueden observarse en la **Figura 3.11**.





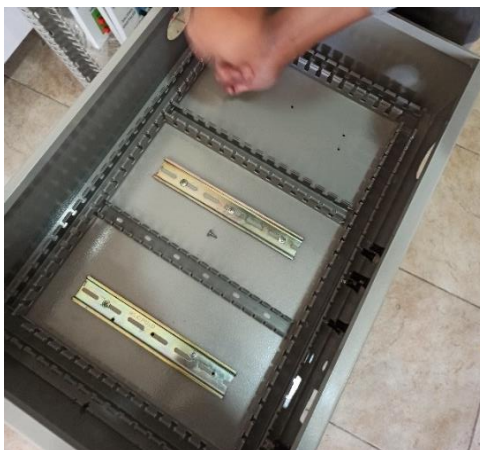
**Figura 3.11** Elementos de infraestructura: canaleta plástica y riel DIN.

Se realizaron los agujeros correspondientes a los portafusibles que fueron designados para la protección de las líneas de las salidas de los módulos SM 1223 y de igual manera se tomaron en cuenta los agujeros para los portafusibles que protegerán las entradas analógicas de los módulos SM 1234. Además se consideraron las entradas de comunicación tanto del PLC como de la pantalla HMI, para ello se realizó un orificio rectangular donde se posicionarían los puertos de red correspondientes a cada dispositivo. En la **Figura 3.12** se observa la distribución de los agujeros en la parte lateral derecha del módulo.



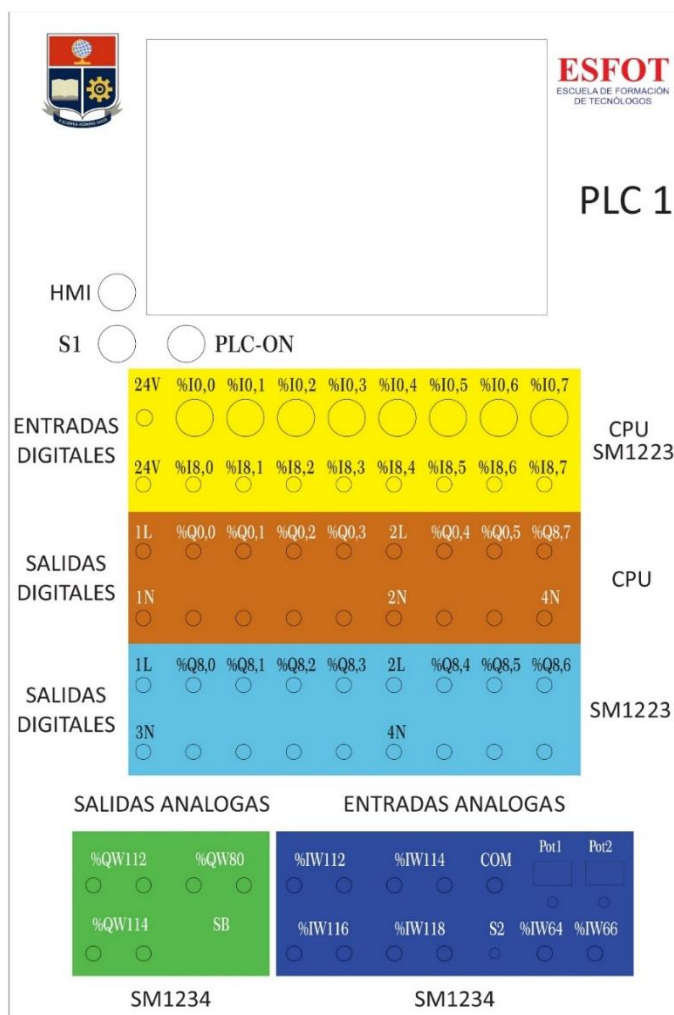
**Figura 3.12** Distribución de agujeros para portafusibles.

Una vez realizadas las modificaciones de los gabinetes, se empezó a distribuir los elementos en el módulo para establecer su ubicación, para ello fue necesario establecer un esquema de distribución (ver **Figura 3.20**), que otorgaba los espacios adecuados a cada elemento. Como se observa en la **Figura 3.13** se empezó colocando las canaletas y el riel DIN.



**Figura 3.13** Distribución de los elementos de infraestructura en los módulos.

Tomando en cuenta el plano esquemático de los gabinetes (**Anexo 2 lámina 1**) se realizaron los nuevos diseños de las etiquetas frontales para las cubiertas de los módulos, dicho diseño se observa en la **Figura 3.14**.



**Figura 3.14** Nuevo diseño de la cubierta de los módulos.

En la **Figura 3.15** se observa el nuevo diseño de la etiqueta frontal colocada en la cubierta de los módulos, la cual cuenta con los nombres, dirección y con los respectivos orificios para cada elemento que forma parte del gabinete.



**Figura 3.15** Colocación de la etiqueta frontal en las cubiertas.

Una vez integrada la etiqueta frontal en la cubierta, se colocaron los diferentes dispositivos como son interruptores, pulsadores, borneras y luces piloto como se observa en la **Figura 3.16**. Se comprobó la continuidad de dichos elementos y aquellos que estaban defectuosos fueron reemplazados por nuevos.



**Figura 3.16** Ubicación de borneras, pulsadores e interruptores en las cubiertas.

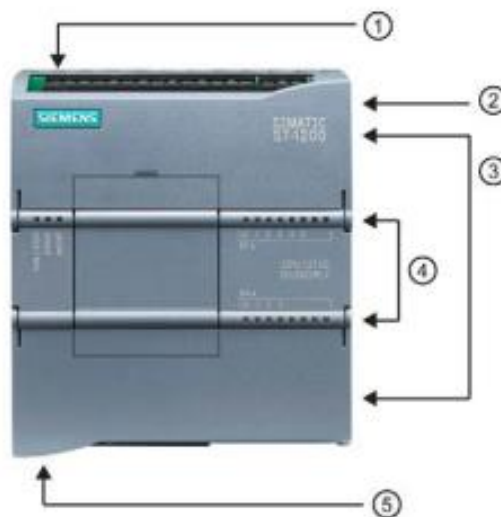
### 3.3 Instalación de los módulos de expansión

#### Especificaciones técnicas

Antes de la instalación de los dispositivos fue necesario tomar en cuenta ciertos datos técnicos de la CPU 1212C AC/DC/Rly, del SM 1223 y del SM 1234.

#### PLC S7 1200 CPU 1212C AC/DC/Rly

En la **Figura 3.17** se muestra un dispositivo controlador formado por un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, periféricos de entradas y salidas, puerto PROFINET y I/O de control rápidas. [6]



**Figura 3.17** Partes del SIMATIC S7 - 1200. [6]

1. Alimentación 120 (V<sub>AC</sub>).
2. Ranura para para tarjeta de memoria. (debajo de la cubierta superior).
3. Periféricos de entradas y salidas, conectores para el cableado del usuario. (detrás de las cubiertas).
4. LEDs de estado para las I/O integradas.
5. Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU).

#### SM 1223

Es un módulo de expansión que se acopla a la CPU de un PLC S7 – 1200, aportando con 8 entradas digitales a 24 (V<sub>DC</sub>) y 8 salidas digitales tipo relé que soportan hasta 2 (A). [10] Dicho módulo se observa en la **Figura 3.18**.



**Figura 3.18** Partes del SM 1223. [10]

1. Periféricos de entradas digitales y alimentación a 24 (V<sub>DC</sub>)
2. Periféricos de salidas tipo relé.
3. Seguro para la conexión con la CPU.
4. LEDs indicadores de estado.

### **SM 1234**

Es un módulo de expansión que se acopla a la CPU de un PLC S7 – 1200, aportando con 4 entradas analógicas y 2 salidas analógicas, con una resolución de 14 bits o 0 (4) - 20 (mA). [11] Dicho módulo se observa en la **Figura 3.19**.

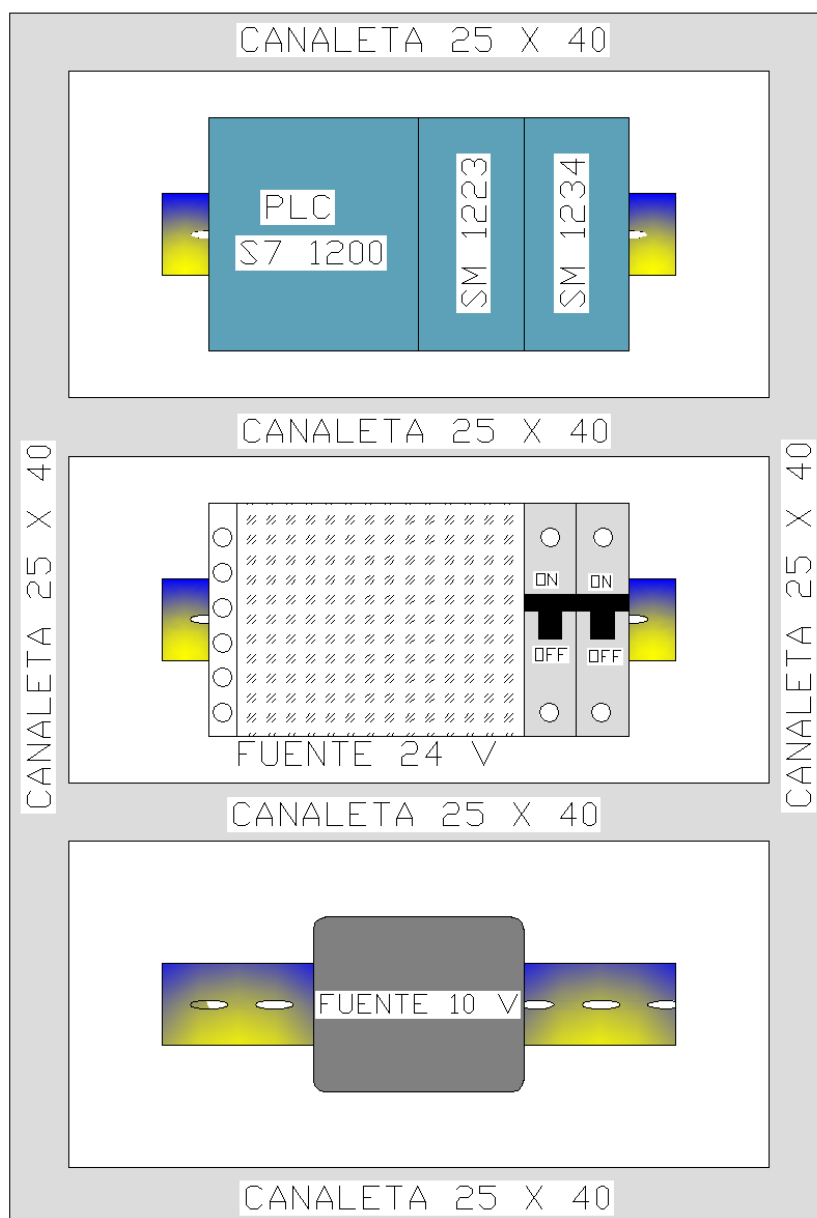


**Figura 3.19** Partes del SM 1234. [11]

1. Periféricos de entradas analógicas y alimentación a 24 (V<sub>DC</sub>)
2. Periféricos de salidas tipo analógica.
3. Seguro para la conexión con la CPU.
4. LEDs indicadores de estado.

### Instalación de elementos en el gabinete

Para la instalación de los dispositivos en el interior del gabinete se realizó un esquema de distribución, dicho esquema se observa en la **Figura 3.20**.



**Figura 3.20** Distribución de los dispositivos en la parte interna del módulo.

En cuanto a la ubicación de los dispositivos, se comenzó posicionando el PLC y los módulos de expansión SM 1223 y SM 1234, en ese orden tal como se muestra en la **Figura 3.21**. Cabe mencionar que se evitó interconectar los dispositivos con sus seguros correspondientes antes de realizar el cableado para prevenir daños internos al momento de la manipulación de los mismos.



**Figura 3.21** Montaje del PLC y los módulos de expansión.

En el segundo riel DIN se colocó un interruptor termomagnético de 1 (A) dedicado a la alimentación del autómeta programable, protegiéndolo en caso de haber algún cortocircuito, además se colocó la fuente de 24 (V<sub>DC</sub>) que alimenta a la pantalla HMI y los ventiladores (ver **Figura 3.22**). En el tercer riel DIN se colocó el circuito de acondicionamiento de las entradas analógicas (ver **Figura 3.23**), que contiene un circuito regulador de voltaje que entregados señales de 0 (V<sub>DC</sub>) a 10 (V<sub>DC</sub>) y se visualizan en dos voltímetros digitales ubicados en la cubierta de cada módulo.



**Figura 3.22** Montaje de fuente de 24 (V<sub>DC</sub>) e interruptor termomagnético.





**Figura 3.23** Montaje del circuito de acondicionamiento.


### **Cableado eléctrico principal**

Una vez ubicados los dispositivos en el riel DIN, se empezó a realizar el cableado eléctrico, iniciando con la alimentación del PLC y la conexión en puente de neutros y tierras. A partir de eso, se conectaron las entradas y salidas del PLC y de los módulos de expansión a las correspondientes bomeras ubicadas en la cubierta de cada módulo. Cabe resaltar que todas las conexiones fueron realizadas en base al plano eléctrico que se observa en el **Anexo 2 lámina 2**.




La selección de cables se realizó en base a la norma IEC 60446 [12]. Por lo tanto, se utilizó el cable AWG 18 de color amarillo para conectar los periféricos digitales, se usó el mismo cable para mantener la estética del antiguo cableado de los módulos. Para los periféricos analógicos se usó cable de color azul AWG 22, de igual modo se usó cable AWG 14 de color negro y blanco para la fase y el neutro respectivamente, que alimenta al PLC mediante el interruptor termomagnético, se utilizó un cable AWG 14 de color verde para la conexión a Tierra. Finalmente, la alimentación de la pantalla se realizó con cable AWG 16 de color rojo y azul para los voltajes positivo y negativo respectivamente.

En la **Tabla 3.1** se muestran los terminales que se utilizaron para el cableado eléctrico.

**Tabla 3.1** Terminales utilizados en el cableado eléctrico.

Tipo de terminal	¿Dónde se lo utilizó?	Imagen
Pin	Periféricos de entradas y salidas de los módulos y de la CPU.	



Tipo de terminal	¿Dónde se lo utilizó?	Imagen
Hembra	Enchufe de alimentación	
Ojo	Borneras	
Horquilla	Pulsadores, selectores e interruptores	

### Disposición de las secciones en la cubierta de los módulos didácticos

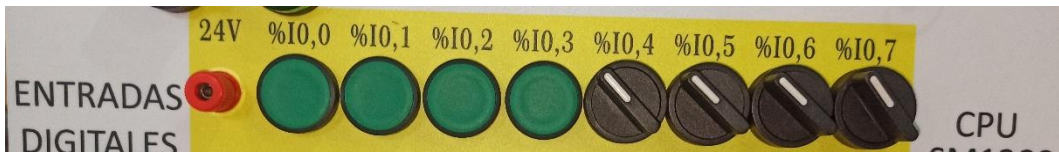
De acuerdo a la distribución de periféricos de la **Tabla 3.2**, se conectaron las entradas y salidas a sus correspondientes borneras con sus direcciones marcadas en la etiqueta frontal.

**Tabla 3.2** Distribución de entradas y salidas de los módulos didácticos [13].

	CPU 1212C	SM 1223	SM 1234	Signal Board
<b>ENTRADAS DIGITALES</b>	%I0.0	%I8.0		
	%I0.1	%I8.1		
	%I0.2	%I8.2		
	%I0.3	%I8.3		
	%I0.4	%I8.4		
	%I0.5	%I8.5		
	%I0.6	%I8.6		
	%I0.7	%I8.7		
<b>ENTRADAS ANALÓGICAS</b>	%IW64		%IW112	
	%IW66		%IW114	
			%IW116	
			%IW118	
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	%Q0.0	%Q8.0		
	%Q0.1	%Q8.1		
	%Q0.2	%Q8.2		
	%Q0.3	%Q8.3		

	CPU 1212C	SM 1223	SM 1234	Signal Board
<b>SALIDAS DIGITALES</b>	%Q0.4	%Q8.4		
	%Q0.5	%Q8.5		
		%Q8.6		
		%Q8.7		
<b>SALIDAS ANALÓGICAS</b>			%QW112	%QW80
			%QW114	

Seguindo el diseño anterior, las entradas digitales del CPU fueron destinadas a 4 pulsadores y 4 interruptores (ver **Figura 3.24**), las cuales están conectadas a la fuente interna del PLC de 24 (V<sub>DC</sub>) y protegidas mediante un fusible de 1 (A).



**Figura 3.24** Entradas digitales del CPU 1212C.

Las entradas digitales del módulo SM 1223 se conectaron a las borneras que se observan en la **Figura 3.25**. En caso de que se requiera usar estas entradas se tendrá que usar cables con terminales banana para conectar en dichas borneras.



**Figura 3.25** Entradas digitales del módulo SM 1223.

Las salidas digitales tipo relé de la CPU fueron conectadas a las borneras que se observan en la **Figura 3.26**.



**Figura 3.26** Salidas digitales de la CPU 1212C.

En las salidas digitales tipo relé del módulo SM 1223 se realizó el mismo procedimiento ya que fueron conectadas a las borneras que se observan en la **Figura 3.27**.



**Figura 3.27** Salidas digitales del módulo SM 1223.

En la parte de entradas analógicas se conectaron los 4 periféricos de entrada del módulo SM 1234 y las 2 entradas analógicas de la CPU (ver **Figura 3.28**).



**Figura 3.28** Entradas analógicas de la CPU y del módulo SM 1234.

Las salidas analógicas del módulo SM 1234 y de la Signal Board fueron conectadas en las borneras que se muestran en la **Figura 3.29**.



**Figura 3.29** Salidas analógicas del módulo SM 1234 y de la Signal Board.

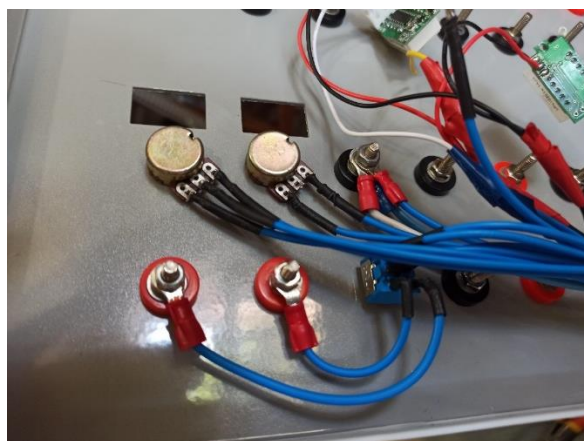
En la **Figura 3.30**, se visualiza el cableado del PLC y los módulos de expansión, conectados a las respectivas borneras con los correspondientes terminales mencionados en la **Tabla 3.1**.



**Figura 3.30** Cableado principal de los módulos didácticos.

### **Regulación del acondicionamiento y periféricos analógicos**

En cuanto al acondicionamiento, se regularon los potenciómetros que permitieron variar los voltajes de 0 (V<sub>DC</sub>) a 10 (V<sub>DC</sub>), puesto que algunos potenciómetros estaban dañados, se tuvo que reemplazarlos, ubicarlos y soldarlos a sus cables respectivos (ver **Figura 3.31**). De igual manera se conectaron los voltímetros digitales que muestran el voltaje que se está regulando (ver **Figura 3.32**). A pesar de ello, algunas fuentes no estaban calibradas correctamente por lo que se solucionó dicho problema, revisando y regulando el circuito de acondicionamiento de las entradas analógicas.



**Figura 3.31** Nuevos potenciómetros para la regulación de voltaje.



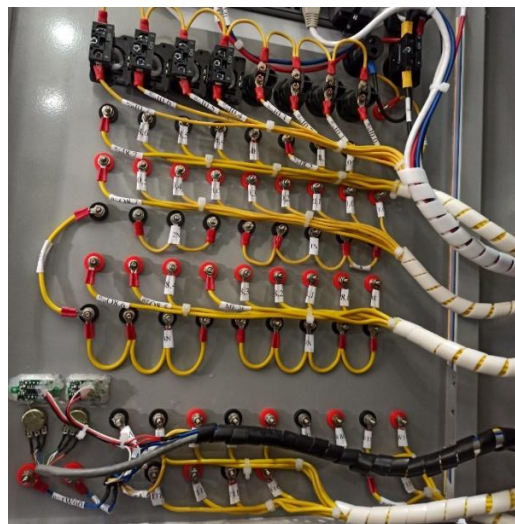
**Figura 3.32** Voltímetros digitales.

Se debe tomar en cuenta la posición del interruptor S2 para manipular las entradas analógicas de manera externa o mediante los potenciómetros anteriormente mencionados. Es importante revisar el **Manual de Uso y Mantenimiento**, donde se explica el uso completo de los módulos.

### **Organización del cableado eléctrico**

Una vez realizadas las diferentes conexiones eléctricas, se ordenaron los cables como se observa en la **Figura 3.33**. Se utilizó el espiral para cables mejorando la estética del gabinete y dando un mejor orden. Se usaron amarras plásticas para facilitar la distribución del cableado. Además, se etiquetaron los cables para reconocerlos fácilmente al momento de realizar mantenimiento.

Finalmente se interconectaron los módulos de expansión con la CPU mediante el seguro que disponen, permitiendo la comunicación entre ellos para empezar la respectiva configuración y programación.



**Figura 3.33** Cableado eléctrico ordenado en la cubierta de los módulos.



### 3.4 Instalación de la pantalla HMI

#### SIMATIC HMI KTP700 BASIC

La pantalla táctil para la interfaz humano máquina (ver **Figura 3.34**) es un dispositivo que permite al operador supervisar y controlar los procesos de plantas industriales. Tiene la disponibilidad de operarse por teclado o de manera táctil con su respectiva configuración. Su puerto de comunicación corresponde al protocolo PROFINET y se programa utilizando el Portal TIA V15. [14]



**Figura 3.34** Pantalla HMI KTP700 Basic.

#### Características técnicas para instalación

En la **Tabla 3.3** se muestran los principales datos técnicos sobre la pantalla SIMATIC HMI KTP700 Basic que fueron considerados al momento de la instalación del dispositivo. Se usaron los datos eléctricos como el consumo de corriente para dimensionar los fusibles de protección del dispositivo.

**Tabla 3.3** Datos técnicos de la HMI KTP700 Basic [14].

DATOS TÉCNICOS	
Ancho de pantalla	154,1 (mm)
Altura de pantalla	85,9 (mm)
Posición de montaje	Vertical
Tensión de alimentación	24 (V <sub>DC</sub> )
Rango permitido, límite inferior	19,2 (V <sub>DC</sub> )
Rango permitido, límite superior	28,8 (V <sub>DC</sub> )
Consumo de corriente (valor nominal)	230 (mA)
Entrada de potencia activa	5,5 (W)
Protocolo	PROFINET

### Ubicación de la pantalla HMI en las cubiertas de los módulos

Tomando en cuenta el nuevo diseño de las cubiertas, se ubicó la pantalla HMI en el sitio que le corresponde, siendo asegurada con los ganchos y tornillos que vienen incluidos en la caja del producto (ver **Figura 3.35**). Se perforaron dos agujeros tanto para el interruptor que enciende la pantalla de forma independiente y para el porta fusible que protege a la pantalla. Cabe resaltar que la pantalla necesita una tensión de alimentación de 24 (V<sub>DC</sub>) por lo que fue necesario incorporar una fuente de dicho voltaje.



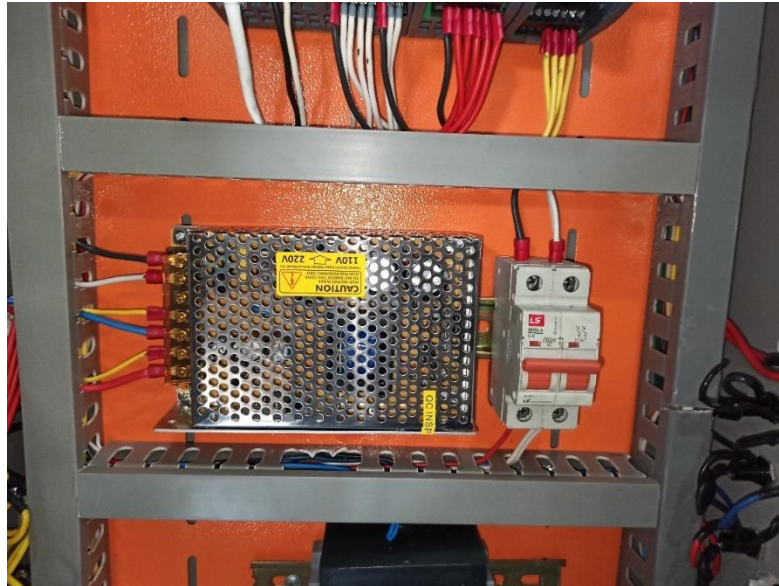
**Figura 3.35** Ubicación de la pantalla HMI en las cubiertas de los módulos.

### Instalación de la fuente de 24 (V<sub>DC</sub>)

Se adquirieron fuentes de poder que transforman 120 (V<sub>AC</sub>) a 24 (V<sub>DC</sub>) (ver **Figura 3.36**), para la alimentación de las pantallas HMI y los ventiladores. Se siguió el esquema de distribución (ver **Figura 3.20**), para colocar la fuente en la posición adecuada (ver **Figura 3.37**). La alimentación para la fuente fue tomada del mismo cable de poder ya instalado con un fusible de 1 (A) que protege la fuente en caso de fallas eléctricas.



**Figura 3.36** Fuente de alimentación 24 (V<sub>DC</sub>).



**Figura 3.37** Instalación de la fuente de 24 (V<sub>DC</sub>).

### **Cableado eléctrico de la pantalla HMI y los ventiladores**

Gracias a que la fuente que se instaló contaba con dos salidas de voltaje de 24 (V<sub>DC</sub>) independientes, se utilizó una para alimentar a la pantalla y la otra para encender los ventiladores. Se utilizaron cables AWG 16 de color rojo (V+) y azul (V-) para las conexiones de alimentación de la pantalla con una protección mediante un fusible de 500 (mA). Se utilizó un terminal RJ45 el cual fue ponchado en un extremo de un cable UTP y se conectó al puerto de red de la pantalla y al otro extremo del cable se ponchó un puerto de red que se ubicó en la parte lateral derecha del gabinete, esto con el fin de permitir la comunicación con un ordenador o con el PLC (ver **Figura 3.38**).



**Figura 3.38** Cableado eléctrico de la pantalla HMI.

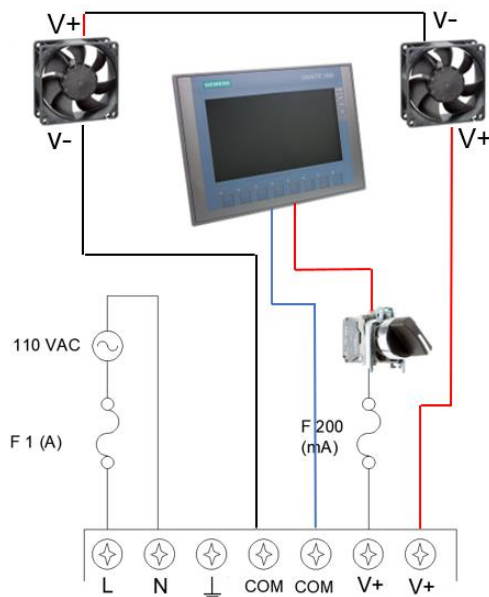


Se instalaron dos ventiladores alimentados por 12 (V<sub>DC</sub>) en serie, los cuales se conectaron a la fuente de 24 (V<sub>DC</sub>) (ver **Figura 3.39**). El propósito de estos es evitar el sobrecalentamiento en el interior del módulo, ya que tanto la pantalla HMI como el PLC y otros dispositivos eléctricos generan calor. Se ubicó un ventilador de tal manera que extraiga el aire caliente interno y el otro para suministrar aire del exterior, esto para cumplir con la vida útil de los dispositivos que conforman los módulos didácticos.



**Figura 3.39** Ubicación de los ventiladores.

El diagrama de conexión de la pantalla HMI, sus protecciones y los ventiladores puede ser observado en la **Figura 3.40**.



**Figura 3.40** Conexión de la pantalla HMI y los ventiladores.

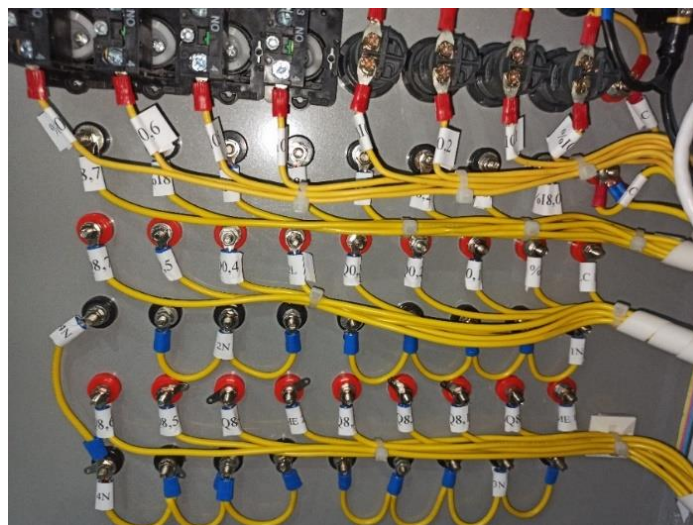
Se colocaron rejillas de protección en cada ventilador. En la **Figura 3.41** se observa una de ellas.



**Figura 3.41** Rejilla para ventiladores.

### **Etiquetado de los módulos didácticos**

Finalmente, fue importante etiquetar tanto el cableado eléctrico como los portafusibles para conocer la función de cada uno de ellos, de igual manera se enmarcaron los puertos de red del PLC y de la HMI para diferenciarlos (ver **Figura 3.42** y **Figura 3.43**).



**Figura 3.42** Etiquetado de los cables en el interior de los módulos.



**Figura 3.43** Etiquetado del exterior de los módulos.

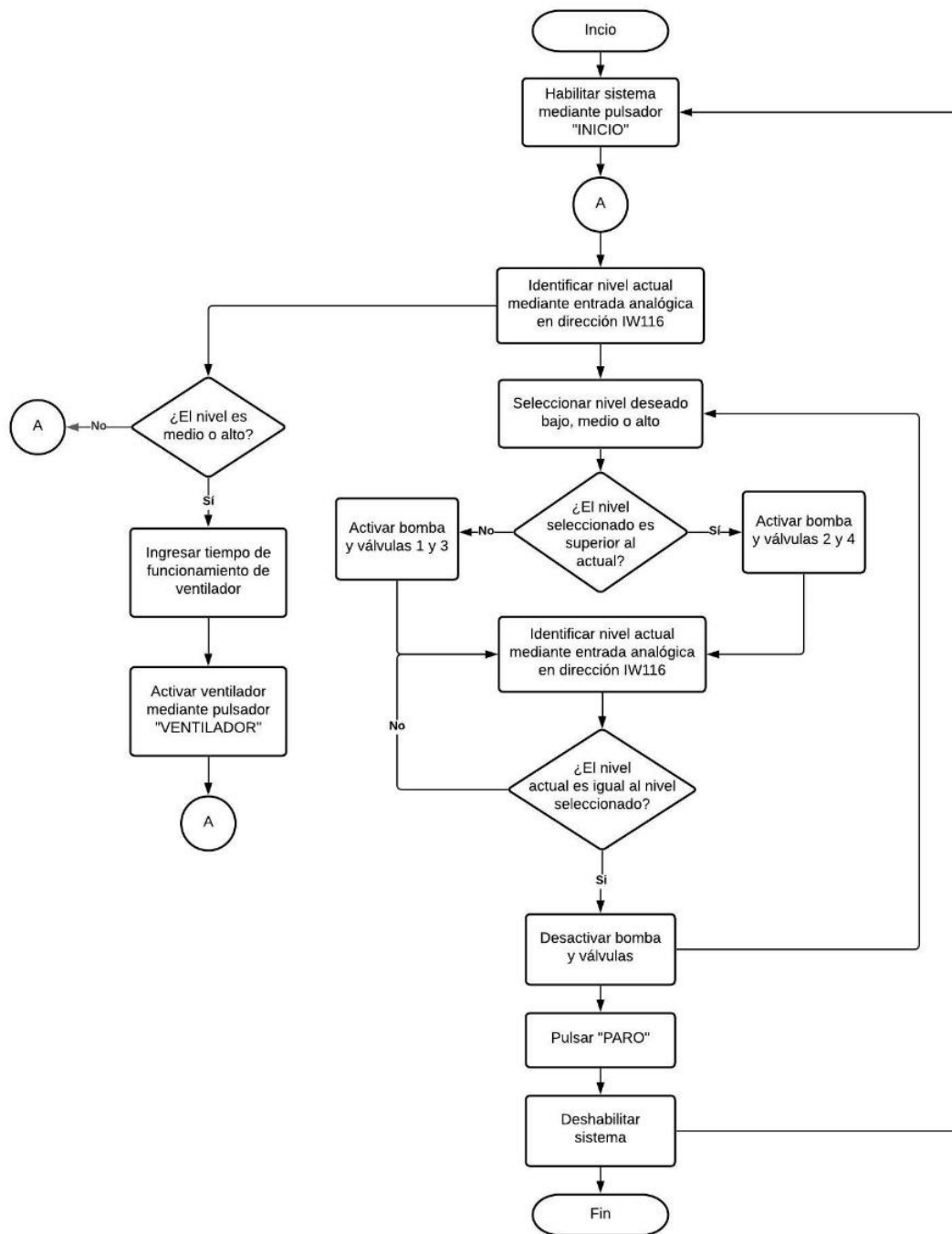
### **3.5 Algoritmos de control e Interfaz Humano Máquina**

El algoritmo de control para el PLC se desarrolló en el programa TIA Portal V15, utilizando diagramas de bloques de funciones (FBD) debido a que este lenguaje ofrece amplias herramientas de programación. Además, se desarrolló una interfaz humano máquina (HMI) para realizar el control remoto del sistema.

El algoritmo de control se desarrolló de tal manera que permita utilizar tanto la planta de control de nivel, así como también la planta domótica mediante el uso de las entradas y salidas del propio CPU y de los módulos de expansión instalados.

Para cada planta se realizó el respectivo diagrama de flujo de forma independiente.

En la **Figura 3.44** se muestra el diagrama de flujo para la planta de control de nivel.



**Figura 3.44** Diagrama de flujo para la planta de control de nivel

En la **Figura 3.45** se muestra el diagrama de flujo para la planta domótica.

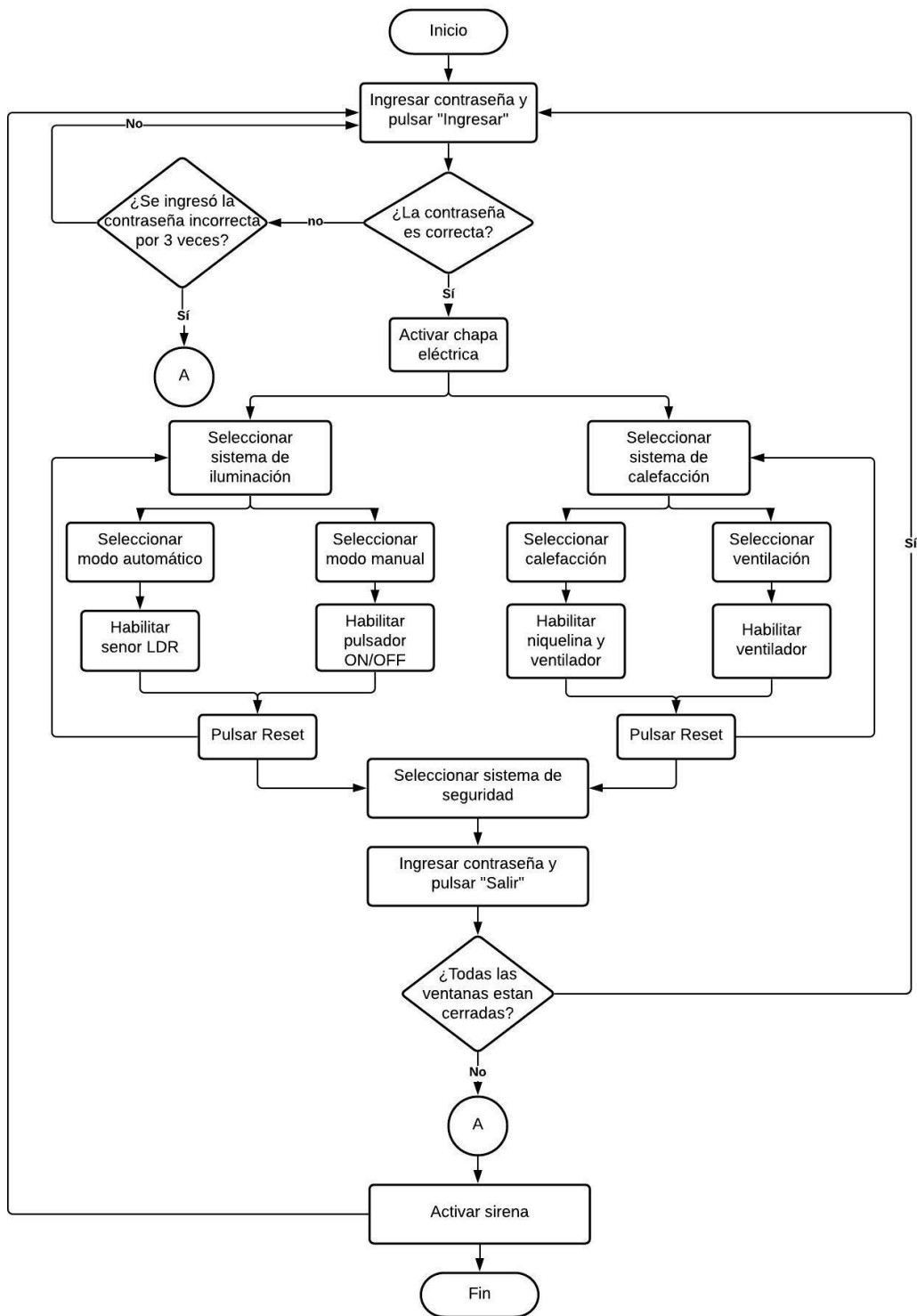


Figura 3.45 Diagrama de flujo para la planta domótica

## Planta de control de nivel

Para realizar el algoritmo de la planta de control de nivel se tomaron en cuenta las siguientes condiciones.

- Se dispone de dos tanques, un tanque reservorio y un tanque de trabajo.
- En el tanque de trabajo se dispone de tres niveles: el nivel bajo comprende un valor entre 0 (l) y 1 (l), el nivel medio entre 9 (l) y 10 (l) y el nivel alto entre 19 (l) y 20 (l) los cuales pueden ser seleccionados mediante pulsadores físicos, así como también mediante una HMI.
- Para medir el nivel del tanque de trabajo se dispone de un sensor ultrasónico con una salida de 0 (V<sub>DC</sub>) a 5 (V<sub>DC</sub>) para un nivel de 0 (l) a 20 (l). Dicho sensor está conectado en la dirección IW116 del módulo de expansión SM 1234.
- El sistema se detiene en cualquier momento mediante un pulsador de paro físico o desde la HMI.
- Se dispone de una sola bomba tanto para el llenado y vaciado del tanque de trabajo, por lo cual se deben utilizar las electroválvulas para permitir que el agua fluya en el sentido correcto según el nivel seleccionado.
- Es posible seleccionar cualquier nivel aun cuando el sistema acabe de regresar de un paro de emergencia y el agua no se encuentre en un nivel preestablecido.
- Se dispone de un ventilador que únicamente puede funcionar mientras el nivel del tanque de trabajo sea medio o alto.
- El tiempo de funcionamiento del ventilador se ingresa mediante la pantalla HMI.
- Existe un pulsador de inicio para empezar el llenado o vaciado del tanque una vez que ya se haya seleccionado el nivel requerido.

El algoritmo desarrollado en TIA Portal V15 cuenta de 18 segmentos de los cuales 10 se disponen para cumplir las condiciones mencionadas anteriormente en la planta de control de nivel y los 8 restantes son utilizados para el control de la planta domótica. El algoritmo totalmente comentado se puede encontrar en la siguiente dirección: <https://cutt.ly/Sx1rbFW>

## Ventana de control de nivel

Se desarrolló el diseño de una HMI para controlar y supervisar la planta de control de nivel. Este diseño incluye pulsadores, luces indicadoras, campos de entrada y salida, una barra indicadora para la variable analógica y gráficos debidamente colocados para una mejor interpretación del proceso tal como se aprecia en la **Figura 3.46**.

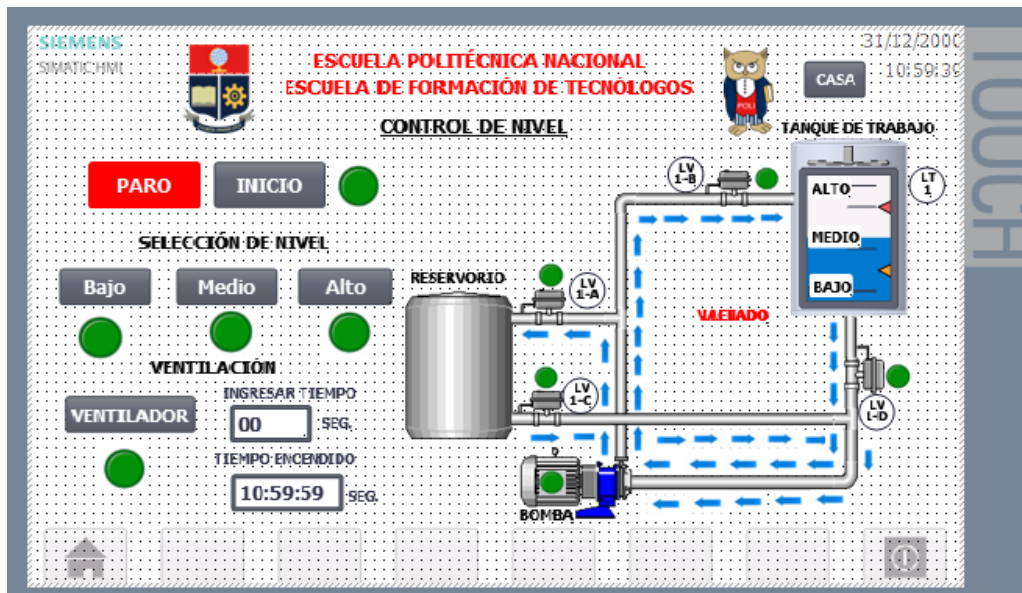


Figura 3.46 Ventana HMI para planta de control de nivel

### Planta domótica

Para realizar el algoritmo de la planta domótica con el fin de controlar el sistema de seguridad, iluminación, ventilación y calefacción de una vivienda se tomaron en cuenta las siguientes condiciones:

- Se dispone de una chapa eléctrica que se abre una vez que la contraseña ingresada sea correcta y se presione el pulsador de ingreso.
- Se tiene una sirena que se activa al colocarse la contraseña incorrecta por dos o más veces. Además, la sirena puede ser activada si una de las 4 ventanas es abierta cuando el sistema de seguridad se encuentre aún en estado de bloqueo.
- La sirena permanece encendida indefinidamente hasta que sea ingresada la contraseña correcta.
- Una vez ingresada la contraseña correcta en una nueva pantalla se selecciona el modo manual o automático para el control del sistema de iluminación.
- Para el modo manual de la iluminación se tiene un solo pulsador tanto para encender como para apagar la iluminación.
- En el modo automático la iluminación es totalmente controlada por un resistor dependiente de luz (LDR).
- Ingresada la contraseña correcta es posible seleccionar aire caliente o aire frío en una nueva pantalla para el sistema de calefacción.
- Para bloquear nuevamente el sistema se ingresa nuevamente la contraseña correcta.



El algoritmo totalmente comentado se puede encontrar en la siguiente dirección: <https://cutt.ly/Sx1rbFW>

### Ventana del sistema de seguridad

Se diseñó esta ventana para ingresar la contraseña de acceso a la vivienda. Cuenta con pulsadores de ingreso, salida y un pulsador que activa la chapa eléctrica una vez que se haya ingresado la contraseña correcta. También se muestran tres pulsadores que permiten el intercambio de ventanas entre Planta de Nivel, Iluminación y Calefacción. Se añadieron gráficos enlazados a variables auxiliares del algoritmo para permitir al usuario una mejor interpretación del sistema, tal como se muestra en la **Figura 3.47**.



**Figura 3.47** Ventana HMI del sistema de seguridad

### Ventana del sistema de iluminación

En la **Figura 3.48** se muestran tres pulsadores como: Automático, Manual y Reset para seleccionar o cambiar el modo de funcionamiento. Un pulsador ON/OFF para encender y apagar la iluminaria en el modo manual. Además, se muestran tres pulsadores con los cuales se intercambia de ventanas entre Planta Nivel, Seguridad y Calefacción. La pantalla incluye gráficos enlazados a variables auxiliares en el algoritmo de control.





Figura 3.48 Ventana HMI del sistema de iluminación

### Ventana del sistema de calefacción y ventilación

En la **Figura 3.49** se muestra la ventana diseñada para el sistema de calefacción y ventilación. Dicha ventana contiene tres pulsadores dedicados a la selección y cambio del modo de funcionamiento. Además, incluye tres pulsadores para intercambiar entre las ventanas de la Planta de Nivel, Seguridad e Iluminación.



Figura 3.49 Ventana HMI del sistema de calefacción

En la **Tabla 3.4** se muestran todas las variables principales utilizadas en el algoritmo de control. Con las mismas que se cumple todas las condiciones previamente establecidas, para un correcto funcionamiento de la planta de control de nivel y de los diferentes sistemas de la vivienda.

**Tabla 3.4** Variables principales del algoritmo de control

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de datos	Dirección
NIVELIN	Señal analógica del sensor ultrasónico	Word	%IW116
NIVELNORM	Variable normalizada	Real	%MD50
NIVELSCAL	Variable escalada	Real	%MD100
PINICIONIVEL	Pulsador físico de inicio de planta de nivel	Bool	%I8.7
NIVELB	Pulsador físico de selección de nivel bajo	Bool	%I8.0
NIVELM	Pulsador físico de selección de nivel medio	Bool	%I8.1
NIVELA	Pulsador físico de selección de nivel alto	Bool	%I8.2
BOMBA	Variable de salida para activación de bomba	Bool	%Q8.2
VALVULALLENADO	Variable de salida para activación de válvulas 2 y 4.	Bool	%Q8.0
VALVULAVACIADO	Variable de salida para activación de válvulas 1 y 3.	Bool	%Q8.1
PINICIONIVELHMI	Marca para pulsador de inicio HMI	Bool	%M30.0
PNIVELBHMI	Pulsador de selección de nivel bajo HMI	Bool	%M30.2
PNIVEMEDHMI	Pulsador de selección de nivel medio HMI	Bool	%M30.3
PNIVALTOHMI	Pulsador de selección de nivel alto HMI	Bool	%M30.4
POFFHMI	Pulsador de paro HMI	Bool	%M30.5
POFF	Pulsador físico de paro	Bool	%I8.6
PVENTILADOR	Pulsador físico para arrancar ventilador	Bool	%I8.3
PVENHMI	Pulsador de salida para arrancar ventilador HMI	Bool	%M30.6
TINVEN	Variable para tiempo de ventilador ingresado desde HMI	Time	%MD150
VENTILADOR	Variable de salida para activación de ventilador	Bool	%Q8.4
LUZ	Variable de salida para activación de luz indicadora de ventilador	Bool	%Q8.5
T2IN	Variable multiplicada por 1000 para ingresar el tiempo en temporizador	Time	%MD250

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de datos	Dirección
tsalida2	Variable para visualizar el tiempo transcurrido del ventilador en HMI	Time_Of_Day	%MD300
Contraseñain	Variable tipo entera para ingresar contraseña del sistema de seguridad	Int	%MW350
INGRESARHMI	Pulsador para ingresar al sistema desde HMI	Bool	%M30.7
SIRENA	Variable de salida para activación de sirena	Bool	%Q0.0
SALIR	Pulsador de salida del sistema desde HMI	Bool	%M31.0
BLOQUEO	Variable auxiliar que permite el bloqueo del sistema de seguridad	Bool	%Q24.3
CT1	Variable auxiliar para identificar cuando se ingresó la contraseña incorrecta	Bool	%Q24.4
C1	Variable tipo entera para contador	Int	%MW400
VENTANAS	Variable de entrada de contactos normalmente cerrados de ventanas	Bool	%I8.4
PANUALILUM	Pulsador físico para seleccionar modo manual en iluminación	Bool	%I0.0
PLUZ	Pulsador físico para encendido y apagado de iluminaria en modo manual	Bool	%I0.3
AUTOMATICO	Variable de salida para activación de sensor LDR en modo automático	Bool	%Q0.1
MANUAL	Variable auxiliar para activar el modo manual en la iluminaria	Bool	%Q24.5
PAUTOMATICO	Pulsador físico para seleccionar modo automático en la iluminaria	Bool	%I0.1
PRESET	Pulsador físico para resetear el sistema de iluminación	Bool	%I0.2
PANUALLUZHMI	Pulsador para selección de modo manual desde HMI	Bool	%M31.1
PAUTOMATICOHMI	Pulsador para selección de modo automático desde HMI	Bool	%M31.2
PRESETHMI	Pulsador resetear el sistema de iluminación desde HMI	Bool	%M31.3
PLUZHMI	Pulsador de encendido y apagado de iluminaria desde HMI	Bool	%M31.4
CT2	Variable auxiliar para mando alternado de pulsador de la iluminación	Bool	%Q24.6
C2	Variable tipo entera de contador para mando alternado de iluminación	Int	%MW450
ILUMINACION	Variable de salida para activación de iluminaria en modo manual	Bool	%Q0.2

Nombre de la variable	Descripción	Tipo de datos	Dirección
PUERTA	Variable de salida para activación de chapa eléctrica	Bool	%Q0.3
T3	Variable tipo Time para puerta	Time	%MD500
RT3	Variable para desactivar puerta	Bool	%Q24.7
VENTILADOR CASA	Variable de salida para activación de ventilador	Bool	%Q0.5
NIQUELINA	Variable de salida para activación de niquelina	Bool	%Q0.4
PCALIENTE	Pulsador físico para seleccionar modo calefacción	Bool	%I0.4
PFRIO	Pulsador físico para seleccionar modo ventilación	Bool	%I0.5
PRESETCAL	Pulsador físico para resetear el sistema de aire	Bool	%I0.6
PCALIENTEHMI	Pulsador para selección de modo calefacción desde HMI	Bool	%M31.5
PFRIOHMI	Pulsador para selección de modo ventilación desde HMI	Bool	%M31.6
PRESETCALHMI	Pulsador para resetear el sistema de aire desde HMI	Bool	%M31.7
PPUERTA	Pulsador físico para abrir puerta	Bool	%I0.7
PPUERTAHMI	Pulsador para abrir puerta desde HMI	Bool	%M32.0

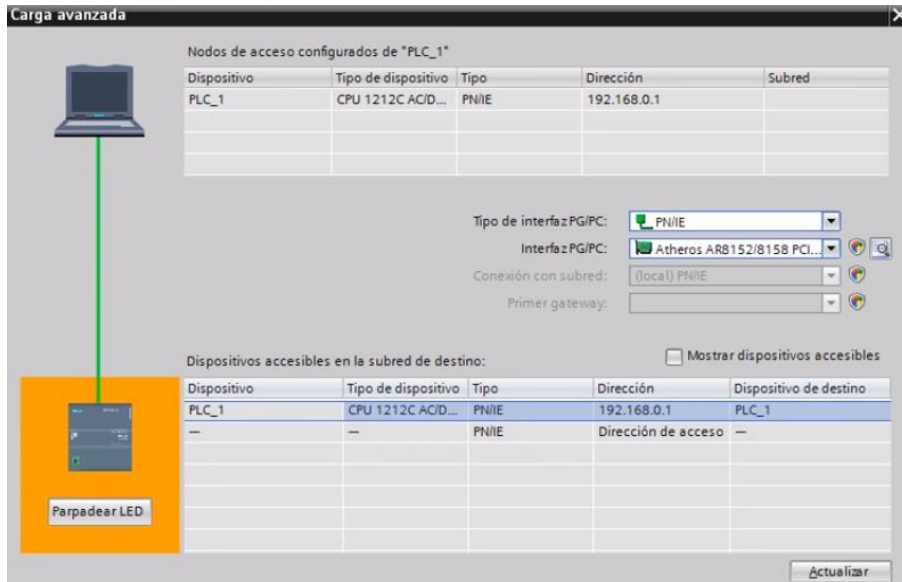
### 3.6 Pruebas y Análisis de Resultados

Para verificar el correcto funcionamiento de los módulos didácticos PLC's se realizaron pruebas eléctricas y de comunicación.

#### Prueba de comunicación

Se realizó la prueba de comunicación entre el PLC S7-1200, Pantalla HMI KTP700 y la PC para verificar que los puertos ethernet estén correctamente instalados. Además, dicha prueba se realizó para comprobar que la configuración de los equipos en el Portal TIA V15 sea la correcta.

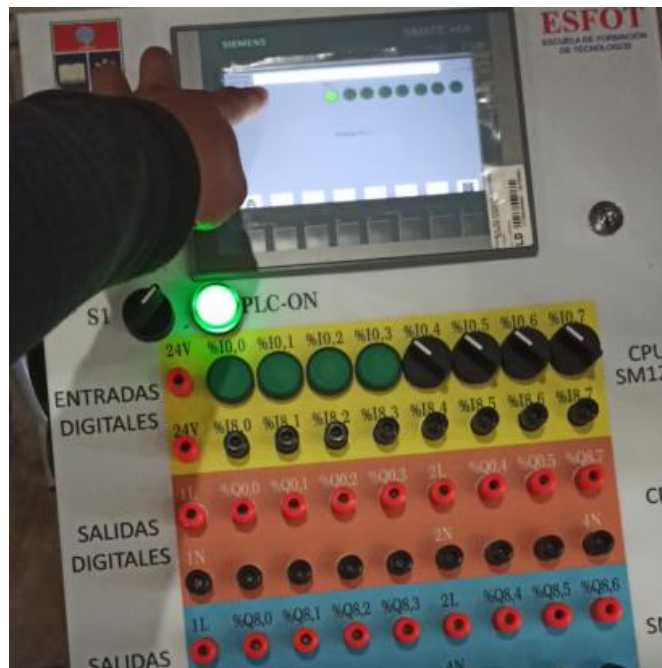
En la **Figura 3.50** se aprecia la correcta comunicación entre el PLC y la PC.



**Figura 3.50** Prueba de comunicación PLC y PC

Para la prueba de comunicación entre la pantalla HMI y el PLC, se desarrolló una imagen con gráficos enlazados a variables de entradas y salidas digitales del PLC. Posteriormente se procedió a cargar la imagen a la pantalla HMI mediante el nuevo puerto Ethernet implementado en la estructura del módulo didáctico.

Luego, se procedió a realizar la prueba de comunicación presionando el pulsador de la pantalla táctil y activando una salida del PLC tal como se muestra en la **Figura 3.51**.



**Figura 3.51** Prueba de comunicación entre PLC y HMI

En la **Tabla 3.5** se detallan los resultados de la prueba de comunicación realizada.

**Tabla 3.5** Resultados prueba de comunicación

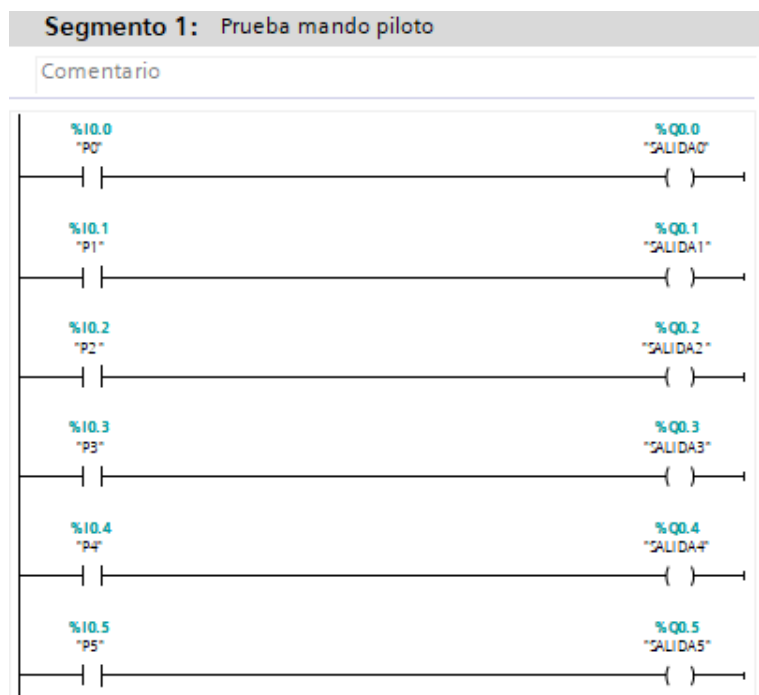
Comunicación	Cumple	No Cumple
PLC – PC	✓	
HMI – PC	✓	
PLC - HMI	✓	

### Prueba de funcionamiento de entradas y salidas digitales

La prueba de funcionamiento de entradas y salidas digitales se realizó con la finalidad de verificar que las conexiones entre pulsadores, selectores y borneras instalados en la cubierta del módulo sean correctas.

Para realizar esta prueba se desarrolló un algoritmo de control en el programa Portal TIA V15, tomando en cuenta todas las entradas y salidas digitales tanto del propio PLC como también de los módulos de expansión instalados.

En la **Figura 3.52** se muestra el algoritmo desarrollado en el programa Portal TIA V15 para verificar el funcionamiento de las entradas y salidas digitales del módulo didáctico.



**Figura 3.52** Algoritmo de prueba de I/O digitales



En la **Figura 3.53** se aprecia que al presionar el pulsador de la entrada digital %I0.0 se activa una luz indicadora en la pantalla HMI enlazada a la salida digital %Q0.0.



**Figura 3.53** Prueba de mando piloto

En la **Tabla 3.6** se muestran los resultados de la prueba de mando piloto para verificar que las conexiones estén correctamente realizadas en los módulos didácticos PLC's.

**Tabla 3.6** Resultados de la prueba de mando piloto

Entrada - Salida	Conexión correcta	Conexión incorrecta
%I0.0	✓	
%I0.1	✓	
%I0.2	✓	
%I0.3	✓	
%I0.4	✓	
%I0.5	✓	
%I0.6	✓	

Entrada - Salida	Conexión correcta	Conexión incorrecta
%I0.7	✓	
%I8.0	✓	
%I8.1	✓	
%I8.2	✓	
%I8.3	✓	
%I8.4	✓	
%I8.5	✓	
%I8.6	✓	
%I8.7	✓	
%Q0.0	✓	
%Q0.1	✓	
%Q0.2	✓	
%Q0.3	✓	
%Q0.4	✓	
%Q0.5	✓	
%Q8.0	✓	
%Q8.1	✓	
%Q8.2	✓	
%Q8.3	✓	
%Q8.4	✓	
%Q8.5	✓	
%Q8.6	✓	
%Q8.7	✓	

### Prueba de funcionamiento de entradas y salidas analógicas

La prueba de funcionamiento de entradas y salidas analógicas tiene la finalidad de comprobar que las conexiones desde los puertos del módulo SM 1234 hasta las borneras instaladas en la cubierta del módulo sean correctas. Además, dicha prueba permitió verificar que existe una correcta comunicación entre el módulo de expansión instalado y el PLC.

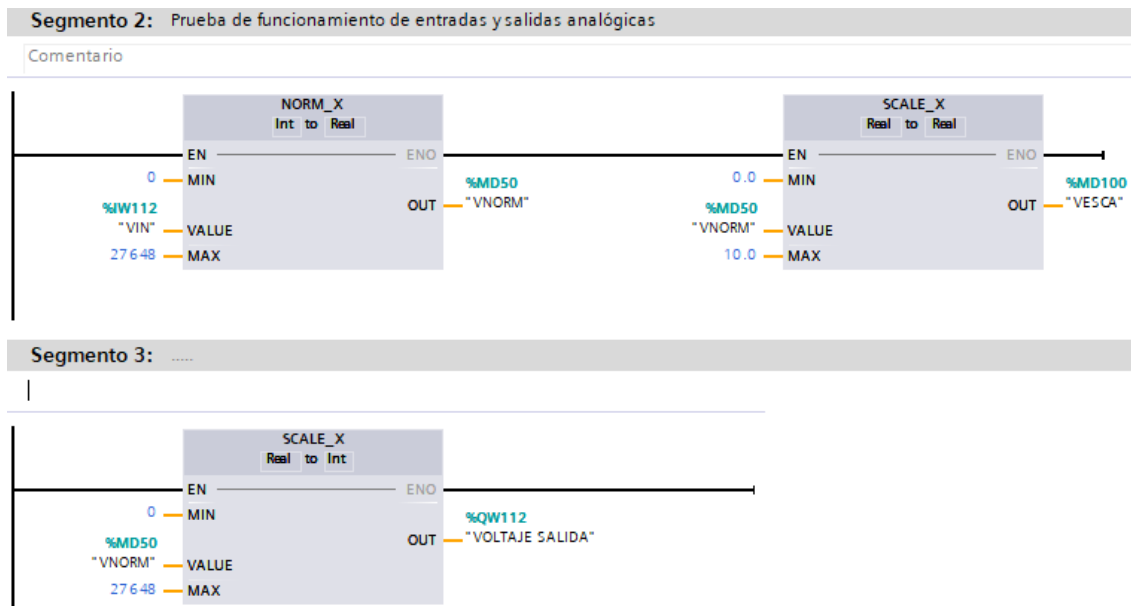
Para esta prueba se desarrolló un algoritmo de control el cual permite ingresar una señal tipo voltaje en una de las entradas analógicas para reflejarlo en una de las salidas



analógicas mediante un bloque de normalización y dos bloques de escalamiento. Se realizó el cambio de dirección de las variables en el algoritmo desarrollado para probar cada una de las entradas y salidas analógicas.

En la prueba se incluyeron las entradas analógicas %IW64 y %IW66 del propio PLC y además la salida analógica %QW80 del signal board ya instalado en el módulo didáctico.

En la **Figura 3.54** se aprecia el algoritmo de control desarrollado para realizar la prueba de I/O analógicas.



**Figura 3.54** Algoritmo de prueba de I/O analógicas

En la **Tabla 3.7** se muestra los resultados de la prueba realizada para determinar el correcto funcionamiento de todas las I/O analógicas disponibles en el módulo didáctico PLC.

**Tabla 3.7** Resultados de la prueba de I/O analógicas

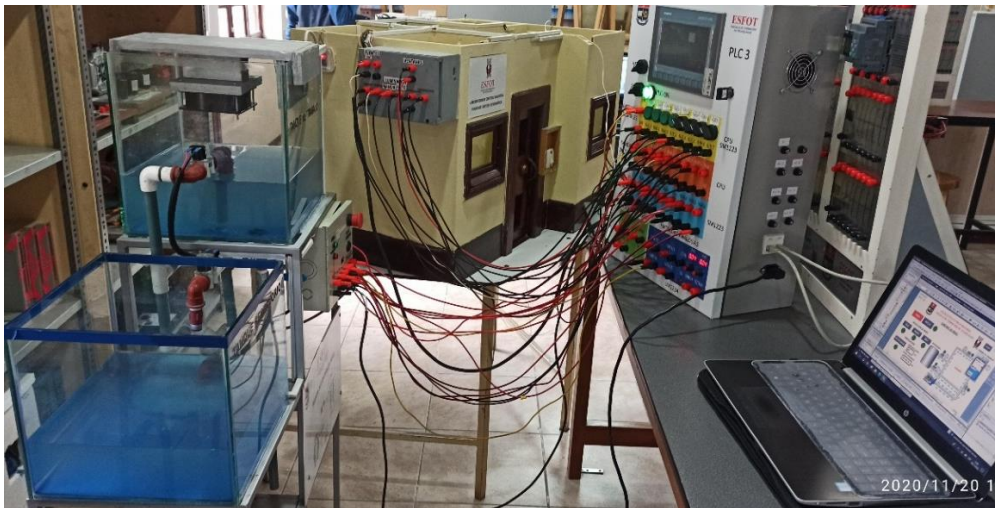
Entrada - Salida	Funcionamiento correcto	Funcionamiento incorrecto
%IW64	✓	
%IW66	✓	
%IW112	✓	
%IW114	✓	
%IW116	✓	

Entrada - Salida	Funcionamiento correcto	Funcionamiento incorrecto
%IW118	✓	
%QW80	✓	
%QW112	✓	
%QW114	✓	

### Prueba de funcionamiento del controlador y plantas didácticas

Dicha prueba se realizó con la finalidad de verificar el correcto funcionamiento del sistema de control y de todos los dispositivos, tanto de la planta de control de nivel y de la planta domótica.

En la **Figura 3.55** se muestra el sistema de control implementado. El sistema de control contiene un módulo didáctico PLC capaz de controlar, tanto la planta de control de nivel como la planta domótica, esto es posible gracias al correcto funcionamiento de los módulos de expansión de entradas y salidas digitales y analógicas.



**Figura 3.55** Prueba de funcionamiento en sistema de control

#### Planta de control de nivel

La primera parte de la prueba se realizó en la planta de control de nivel en la cual se comprobó si cumple o no las condiciones previamente establecidas para la planta mencionada.

En el desarrollo de la prueba se seleccionó el nivel deseado mediante la pantalla HMI, además se utilizaron los pulsadores conectados físicamente en las entradas digitales del controlador y expansiones del mismo.

Luego, se realizaron interrupciones del sistema mediante un paro de emergencia incluido en la pantalla HMI y mediante un pulsador físico.

En la **Figura 3.56** se muestra un ejemplo de selección de nivel. En la parte izquierda de dicha figura se muestra la imagen de la pantalla HMI indicando el tanque de trabajo en el nivel medio, al igual que el tanque de trabajo real que se muestra en la parte derecha de la figura.



**Figura 3.56** Prueba de selección de nivel

En la **Tabla 3.8** se aprecia los resultados de la prueba realizada con los pulsadores de selección y paro de emergencia tanto de la pantalla HMI como a través de pulsadores físicos.

**Tabla 3.8** Resultados de la prueba en la planta de control de nivel

Función	Funcionamiento correcto	Funcionamiento incorrecto
Selección nivel bajo desde HMI	✓	
Selección nivel medio desde HMI	✓	
Selección nivel alto desde HMI	✓	
Paro de emergencia HMI	✓	
Selección nivel bajo – pulsador	✓	
Selección nivel medio – pulsador	✓	
Selección nivel alto – pulsador	✓	
Paro de emergencia físico	✓	

### Planta domótica

En la segunda parte de la prueba se verificó que el sistema de control cumpla con las condiciones establecidas para la planta domótica. Como primer paso se verificó el sistema de seguridad, en el cual se ingresa una contraseña ya establecida en el algoritmo de control para lograr acceder a los sistemas de iluminación y calefacción de la casa.

En la **Figura 3.57** se muestra el accionamiento de la chapa eléctrica para abrir la puerta mediante un código de ingreso, que además permite el acceso al sistema de iluminación y calefacción.



**Figura 3.57** Sistema de seguridad accionado

En la **Figura 3.58** se muestra la ventana HMI del sistema de iluminación en la cual se ha seleccionado el modo automático, por lo que la iluminación es controlada mediante un sensor de luz LDR.



**Figura 3.58** Iluminación automática

En la **Figura 3.59** se aprecia el sistema de iluminación en modo manual utilizando un pulsador de mando alternado incluido en la pantalla HMI.



**Figura 3.59** Iluminación manual

El control del sistema de calefacción y ventilación se realizó mediante la ventana HMI de la **Figura 3.60**. En esta ventanase selecciona entre dos modos como son calefacción y ventilación mediante el accionamiento de una niquelina y un ventilador.



**Figura 3.60** Sistema de calefacción y ventilación

En la **Tabla 3.9** se muestran los resultados de las pruebas realizadas en la planta domótica, que establecen su correcto funcionamiento.

**Tabla 3.9** Resultados de las pruebas en la planta domótica

Función	Funcionamiento correcto	Funcionamiento incorrecto
Bloqueo y desbloqueo del sistema mediante una contraseña	✓	

Función	Funcionamiento correcto	Funcionamiento incorrecto
Iluminación – Modo manual	✓	
Iluminación – Modo automático	✓	
Calefacción	✓	
Ventilación	✓	
Activación de sirena mediante contactos normalmente cerrados	✓	
Activación de sirena por contraseña incorrecta	✓	

### 3.7 Manual de Uso y Mantenimiento

Se han realizado los manuales de uso y mantenimiento que consisten en dos videos explicativos que muestran la manipulación adecuada de los módulos didácticos y las respectivas acciones para garantizar su vida útil. Se accede a estos videos escaneando los siguientes códigos QR de la **Figura 3.61** y la **Figura 3.62**.

#### Manual de uso



**Figura 3.61** Código QR para el video del manual de uso.

#### Manual de mantenimiento



**Figura 3.62** Código QR para el video del manual de mantenimiento.

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El presente proyecto de titulación cumple con el objetivo de ampliar el número de entradas y salidas analógicas y digitales en los módulos didácticos PLC's del LTI-ESFOT, con el fin de permitir a los estudiantes desarrollar algoritmos más complejos que permitan la automatización de las respectivas plantas didácticas industriales, mejorando sus capacidades en el área de control industrial.
- Fue sumamente importante analizar el espacio de trabajo dentro de los gabinetes para poder distribuir correctamente los dispositivos, ya que es de vital importancia cumplir con las respectivas normas de instalación que se especifican en el manual de SIEMENS.
- Los nuevos equipos instalados en los módulos didácticos PLC's tienen un valor económico alto en el mercado, además de ser difíciles de adquirir. Es por esta razón, que tanto los módulos de expansión y las pantallas HMI fueron proporcionados por la ESFOT, mientras que los gastos de instalación como: modificaciones en la infraestructura, cableado y elementos eléctricos adicionales fueron cubiertos de manera propia. El precio por módulo es de USD 133.
- La instalación del dispositivo de supervisión en los módulos como lo es la pantalla HMI dispone de un entorno de interacción en tiempo real entre los sistemas de control y el operador, permitiendo de forma correcta controlar, supervisar y monitorear las diferentes acciones y variables que intervienen en los procesos.
- Se contemplaron todas las especificaciones técnicas de estandarización de los dispositivos que conforman los tres módulos didácticos, de tal manera que cumplan con los requerimientos necesarios para su funcionamiento, comenzando con las normas técnicas expuestas en el manual de SIEMENS para los equipos instalados y teniendo en cuenta la norma internacional IEC 60446 para la identificación de los conductores.
- Los módulos didácticos PLC's cuentan con una distribución adecuada de cada uno de los antiguos y nuevos elementos que componen el sistema, gracias a que en las modificaciones que se realizaron en la infraestructura del módulo se tomaron en cuenta características tales como: fácil interpretación de conexiones eléctricas, identificación de elementos, manejo y mantenimiento sencillos.



## 4.2 Recomendaciones

- Al momento de utilizar los módulos PLC, tener en cuenta los datos técnicos de cada elemento que componen las plantas didácticas industriales, esto con el fin de manejar los niveles adecuados tanto de tensión y corriente de las entradas y salidas analógicas y digitales.
- Es importante tener en cuenta conexiones eléctricas, dispositivos de protección, terminales y niveles de alimentación de cada dispositivo tanto de los módulos didácticos PLC's como de las plantas que se están operando, para un correcto funcionamiento de los mismos.
- Para futuras modificaciones de los módulos, se deberán tomar en cuenta las dimensiones de los mismos, ya que con la ampliación realizada en el presente proyecto se encuentra limitado el espacio disponible por lo que se deberán trasladar los dispositivos adicionales a un gabinete más grande.
- Al momento de desarrollar ventanas para la Interfaz Humano Máquina, se deben seguir lineamientos adecuados respecto al uso de colores, símbolos y distribución del espacio de la ventana, para evitar aglomeración visual que dificulte la manipulación de las herramientas dinámicas de control.
- Verificar los puertos de red destinados a cada dispositivo al momento de cargar el programa al PLC o a la HMI respectivamente, para evitar errores de configuración, programación y funcionamiento de los sistemas a controlar.
- Tener en cuenta el nivel de voltaje y modo de funcionamiento (interno o externo) de las entradas analógicas, por lo que se recomienda revisar la hoja de datos del módulo SM 1234.
- Antes de manipular los módulos didácticos PLC's es importante recibir una breve capacitación sobre su funcionamiento por parte de un docente o mediante los videos de manual de uso y mantenimiento disponibles en los códigos QR de las Figuras 3.61 y 3.62.
- Supervisar periódicamente los módulos didácticos y efectuar pruebas de funcionamiento para comprobar que todo marche adecuadamente y evitar contratiempos a la hora de realizar una práctica de laboratorio.
- Realizar mantenimientos preventivos a los módulos, ajustando las tuercas de las borneras, regulando las fuentes de voltaje de 10 (V<sub>DC</sub>), verificando el funcionamiento de los interruptores termomagnéticos y comprobando la continuidad de los conductores.



## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. A. Quinchiguango De la cruz y Y. G. Luzón Calderón, «BIBDIGITAL,» 08 Mayo 2018. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19393>. [Último acceso: 05 Noviembre 2019].
- [2] J. C. Villajulca, «Cómo Solucionar Problemas Típicos en PLCs,» Instrumentación y Control, 25 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://instrumentacionycontrol.net/como-solucionar-problemas-tipicos-en-plcs/>. [Último acceso: 06 Enero 2020].
- [3] M. Álvarez Pulido, Controladores lógicos, Marcombo, 2014.
- [4] J. A. Cedeño Ferrín, D. A. Molina Cruz, K. Marcillo Parrales, A. Marcillo Parrales, M. Ortiz Hernández, E. Mero Lino y F. Merchán García, Módulos con controladores lógicos programables para la enseñanza - aprendizaje de electrónica., 3Ciencias, 2019.
- [5] C. Pellicano, Corso pratico di PLC e supervisione HMI, Ilustrada: Lulu.com, 2016.
- [6] SIEMENS, «Manual de sistema SIMATIC S7-1200,» Febrero 2019. [En línea]. Available: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/129/109764129/att\\_974299/v1/s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/129/109764129/att_974299/v1/s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf). [Último acceso: 12 Febrero 2020].
- [7] A. Olmos y H. Poveda, «“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HMI PARA EL MONITOREO Y CONTROL DE LAS VARIABLES PRESIÓN, TEMPERATURA Y NIVEL EN LA CASA DE MÁQUINAS DEL HOSPITAL DEL IESS DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”,» UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS, Latacunga, 2016.
- [8] D. G. Simba Granizo, «Diseño e implementación de un módulo electro-neumático didáctico para el laboratorio de mandos neumáticos de la EPN,» ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2018.
- [9] R. D. Cajiao Torres, «Desarrollo de plantas didácticas de control ON.OFF de temperatura.,» ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2018.

- [10] SIEMENS, «Hoja de datos 6ES7223-1PH32-0XB0,» 09 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7223-1PH32-0XB0>. [Último acceso: 09 Diciembre 2020].
- [11] SIEMENS, «Hoja de datos 6ES7234-4HE32-0XB0,» 09 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/10045710>. [Último acceso: 09 Diciembre 2020].
- [12] NTE INEN-IEC 60445, «PRINCIPIOS FUNDAMENTALES Y DE SEGURIDAD PARA LA INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA, EL MARCADO Y LA IDENTIFICACIÓN - IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS TERMINALES, TERMINACIONES DE CONDUCTORES Y CONDUCTORES,» Geneva, Switzerland, 2010.
- [13] Y. G. Luzón Calderón y D. A. Quinchiguango De la cruz, «BIBDIGITAL,» Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/>. [Último acceso: 01 Diciembre 2020].
- [14] SIEMENS, «SIMATIC HMI KTP700 Basic (datasheet),» SIEMENS, 25 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/302298?pdtdi=td&dl=en&lc=en-WW>. [Último acceso: 30 Noviembre 2020].

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 11 de mayo de 2021

## CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Alan Daniel Cuenca Sánchez, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de los módulos PLC's del LTI de la ESFOT – EPN, los cuales fueron implementados por los estudiantes Luis Loor y Luis Quinchiguango.

El proyecto cumple con los requerimientos de implementación y parámetros necesarios para que los estudiantes y docentes de la ESFOT puedan usar los módulos didácticos con seguridad.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Alan Daniel Cuenca S.', written over a horizontal line.

**DIRECTOR**

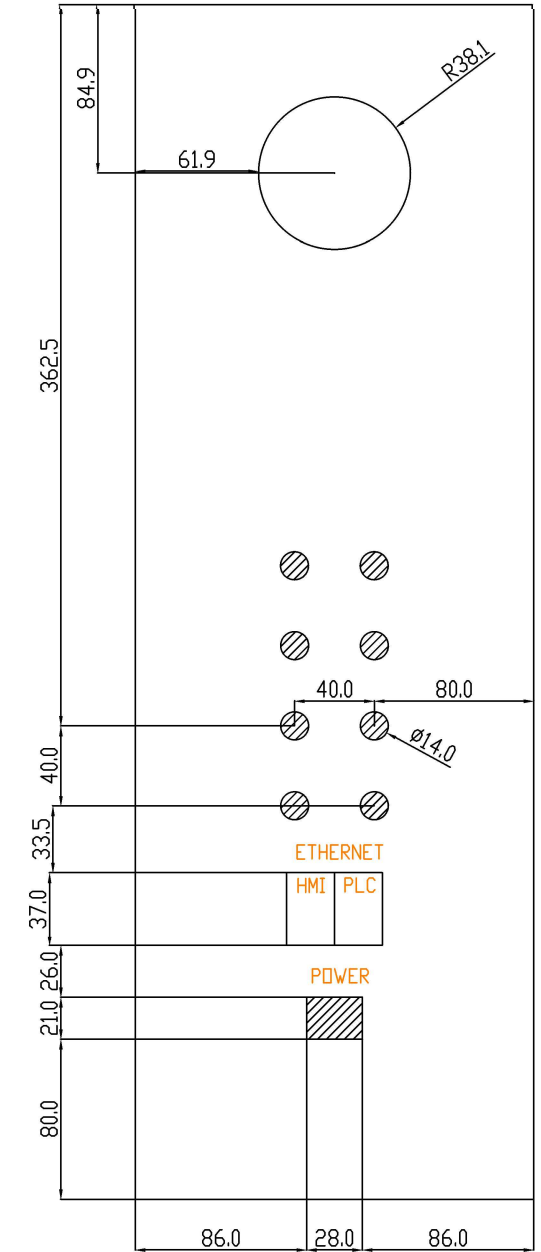
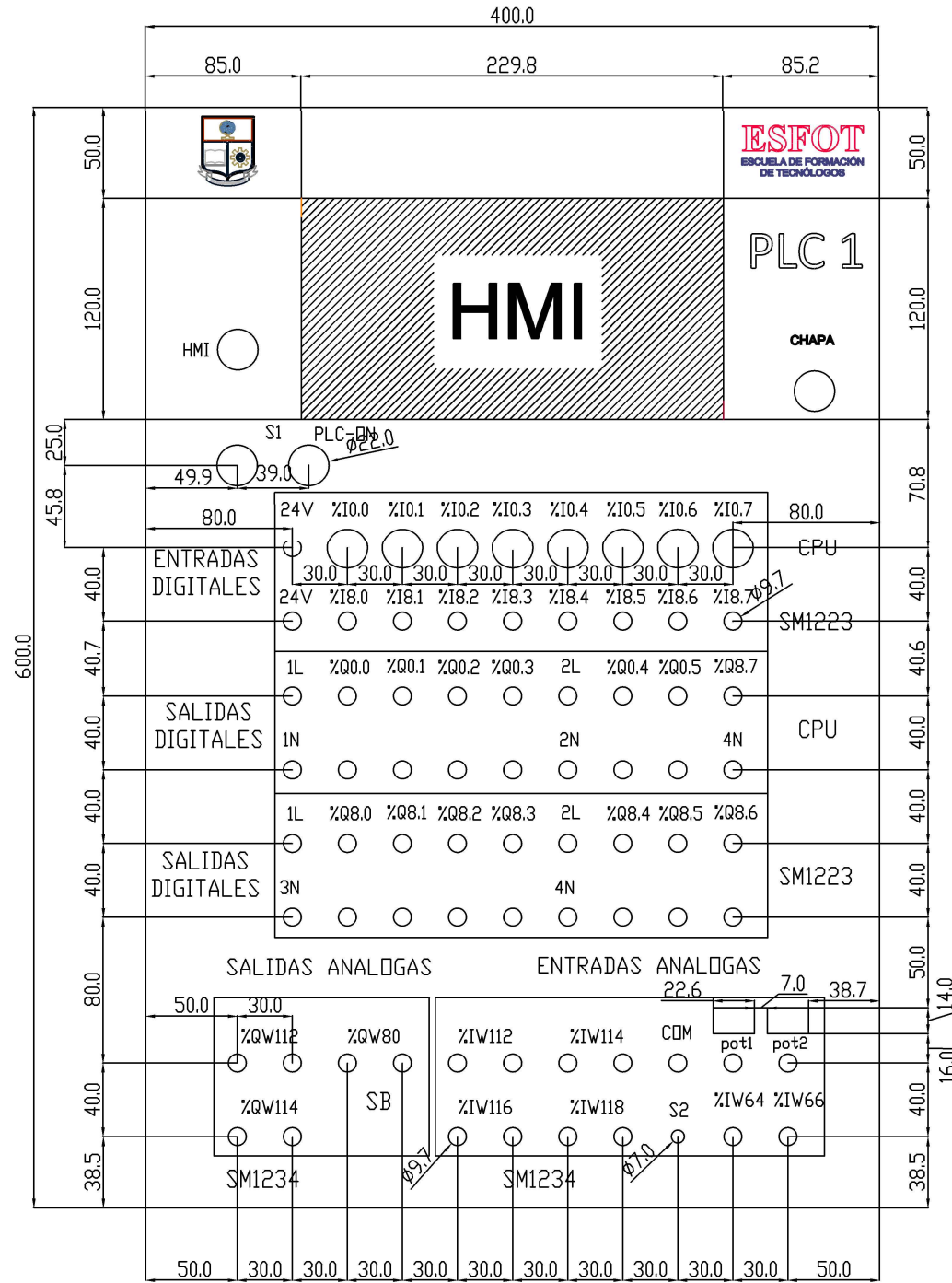
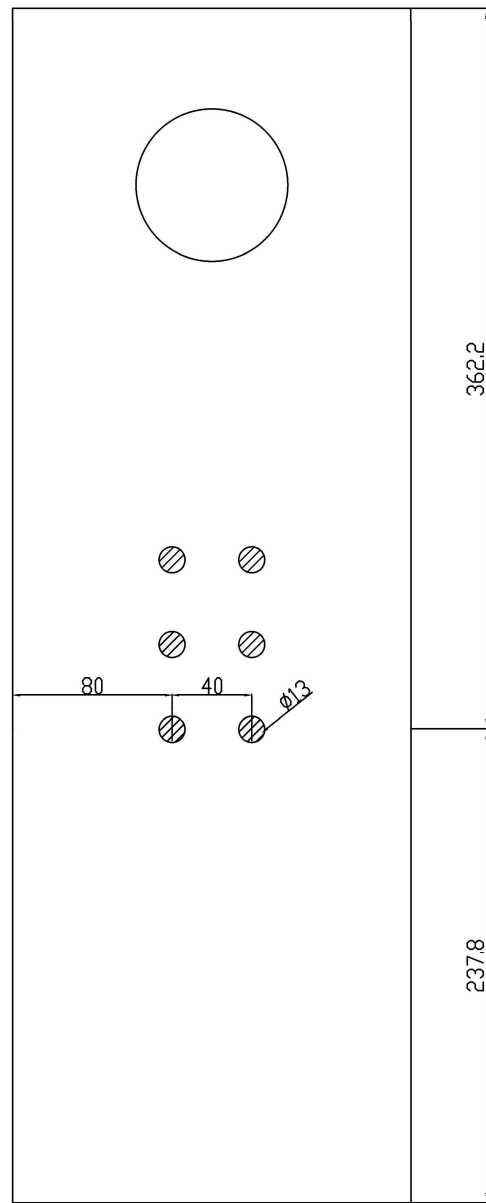
Ing. Alan Daniel Cuenca S., Msc.

---

Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 22. EXT: 2736  
email: alan.cuenca@epn.edu.ec

Quito-Ecuador

## **ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMAS**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
<b>PLANO ESTRUCTURAL - GABINETES DE LOS MÓDULOS PLC'S</b>	TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A	MATERIAL: Tol
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: LUIS LOOR LUIS QUINCHIGUANGO	FECHA: 11/05/2021	LÁMINA: 1

