



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN  
Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE  
ENTRENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE PLC's Y REDES  
INDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA,  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE  
LAS FUERZAS ARMADAS ESPE**

**AUTORES: ASIMBAYA PALACIOS, SANTIAGO PAÚL  
VITERI ZAMBRANO, DENNIS ADRIÁN**

**DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO**

**SANGOLQUÍ**

**2020**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación "*DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO PARA EL LABORATORIO DE PLC's Y REDES INDUSTRIALES DEL DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE*" fue realizado por los señores *Asimbaya Palacios Santiago Paúl y Viteri Zambrano Dennis Adrián*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud y contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Ing. Ortiz Tulcán Hugo Ramiro Mgs.  
Director**

C.C 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL  
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, *Asimbaya Palacios Santiago Paúl* y *Viteri Zambrano Dennis Adrián*, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Titulación: *Diseño e implementación de sistemas de entrenamiento para el laboratorio de PLC's y Redes Industriales del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, metodológicos legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación es veraz.

Sangolquí, 16 de enero del 2020

  
**Asimbaya Palacios Santiago Paúl**

C.C 172324755-5

  
**Viteri Zambrano Dennis Adrián**  
C.C 1723305122



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, *Asimbaya Palacios Santiago Paúl* y *Viteri Zambrano Dennis Adrián*, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE publicar el trabajo de titulación: *Diseño e implementación de sistemas de entrenamiento para el laboratorio de PLC's y Redes Industriales del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE* en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 16 de enero del 2020

**Asimbaya Palacios Santiago Paúl**

C.C 172324755-5

**Viteri Zambrano Dennis Adrián**

C.C 1723305122

## DEDICATORIA

*Dedicado a mi amada madre Kati, que con su esfuerzo, apoyo y experiencia me guía para ser una mejor persona cada día.*

*A mis abuelitos Efrén y Victoria, que fueron más que padres, gracias a ellos siempre recordando de dónde vengo y hacia donde me dirijo.*

*A mi hermana Vicky, que siempre está conmigo y me apoya en todos los momentos buenos y malos.*

*Y a todas las personas que me han ayudado para ser mejor cada día.*

**Santiago**

*Especialmente a mis padres Vinicio Viteri y Carlota Zambrano por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento, les agradezco mucho por todos sus esfuerzos y por todos los sacrificios que tuvieron que hacer para darme todo lo necesario, por todo su amor y por haberme enseñado muchos valores los cuales hicieron de mí un hijo muy responsable capaz de cumplir sus sueños a toda costa.*

*A mis hermanos Wladimir, Soraya y Mishell por su apoyo, por su tiempo, por su paciencia y por su inmenso cariño que me dieron a lo largo del tiempo, les agradezco inmensamente por sus consejos y por siempre haber estado ahí cuando les necesitaba, espero no haberles defraudado como hermano menor.*

*A Jimmy y a Cristina por ser los mejores cuñados, que me han brindado su apoyo a todo momento y gracias por sus consejos y su cariño hacia mí, de igual manera a mis sobrinos Matías, Arlette, Heidi y Emiliano que me han alegrado todos los días a de mi vida y han sido también un motor en mi vida para ser mejor cada día y no defraudarles como su tío.*

*A mi amor Angie por ser una persona muy importante e indispensable en mi vida, que me dió su amor incondicionalmente, que me ayudó a hacer mejor cada día a pesar de cualquier circunstancia, le agradezco mucho por estar en mi vida, por siempre sentirse orgullosa de mí, por hacerme ver el mundo desde otro punto de vista, siempre estarás en mi corazón (ET, EM, EO).*

*A mis amigos Sebas, Juan, Pablo, Gabriel por haber estado ahí cuando les necesitaba, por toda la confianza que me han tenido y que jamás me han dejado solo en cualquier problema de mi vida. También a Bryan, Santy, Wilo e Isra gracias por cada experiencia vivida en la universidad, por cada amanecida haciendo trabajos y por estar ahí cuando les necesitaba gracias chicos. Y a mi mascota Trapito que siempre ha estado conmigo por muchos años.*

**Dennis**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por permitirnos estar en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y permitirnos estar en este momento especial con muchas bendiciones y la compañía de nuestra familia y seres queridos que han estado siempre en los buenos y malos momentos apoyándonos siempre.

Estamos inmensamente agradecidos por cada uno de los docentes que a lo largo de toda la carrera nos han compartido sus conocimientos, experiencias y gracias a ellos pudimos seguir creciendo como personas y estudiantes.

Agradecemos a nuestro director de proyecto de titulación el Ing. Hugo Ortiz, que gracias a sus direcciones y apoyo hemos logrado culminar nuestro proyecto con éxito.

A nuestras familias que son el pilar fundamental de nuestras vidas, que nos permiten seguir adelante siempre con su apoyo, siempre estaremos agradecidos y haremos que se sientan orgullosos en la nueva etapa que vamos a empezar.

Y todos nuestros amigos que siempre nos apoyaron tanto en el estudio como en los momentos de tiempo libre, todos los momentos de alegrías y tristezas forman parte de nuestro crecimiento personal y forjaron el camino que estamos culminando, gracias a todos ustedes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>i</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORIZACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>v</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia.....	2
1.3 Alcance del proyecto .....	3
1.4 Objetivos.....	6
1.4.1 Objetivo General .....	6
1.4.2 Objetivos Específico.....	6
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>8</b>
2.1 Sistema de entrenamiento .....	8
2.1.1 Características .....	9

2.1.2	Protecciones.....	9
2.2	Controlador Lógico Programable .....	11
2.2.1	Lenguajes de Programación .....	13
2.3	Interfaz Humano Máquina HMI .....	14
2.4	LAN Inalámbricas industriales .....	15
2.4.1	Topología de infraestructura .....	16
2.4.2	Topología Ad-Hoc.....	16
2.5	Periferia Descentralizada .....	17
2.6	Redes industriales .....	18
2.6.1	Ventaja de una red de comunicación.....	19
2.6.2	Niveles de jerarquía en una Red Industrial .....	19
2.7	Norma IEC-61439 .....	20
	<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>23</b>
	<b>DISEÑO .....</b>	<b>23</b>
3.1	Requisitos de Diseño del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales.....	23
3.1.1	Requisitos de la estructura metálica .....	23
3.1.2	Requisitos de protección eléctrica.....	23
3.1.3	Equipos a Instalarse.....	24
3.2	Diseño de Estructura.....	24
3.2.1	Plano 3D .....	24



3.2.2	Vista frontal de la estructura metálica .....	26
3.2.3	Vista Lateral izquierda del Armario metálico .....	27
3.2.4	Vista lateral derecha del Armario metálico .....	28
3.2.5	Vista posterior del Armario metálico .....	29
3.3	Diseño de los Racks .....	29
3.3.1	Distribución de Equipos .....	30
3.3.2	Rack 1 .....	31
3.3.3	Rack 2 .....	33
3.3.4	Rack 3 .....	34
3.4	Requisitos de Diseño del Sistema de Entrenamiento de PLC. ....	37
3.4.1	Requisitos de la Estructura .....	37
3.4.2	Requisitos de Protección Eléctrica .....	37
3.4.3	Equipos a Instalarse .....	38
3.5	Diseño de la estructura del Sistema de Entrenamiento de PLC.....	38
3.5.1	Planos 3D .....	38
3.6	Diseño de racks del Sistema de Entrenamiento de PLC.....	40
3.6.1	Distribución de equipos .....	41
3.6.2	Rack 1 .....	41
3.6.3	Rack 2 .....	43

3.6.4 Rack 3.....	44
3.7 Dimensionamiento de Protecciones del Sistema de Redes Industriales.....	46
3.7.1 Cálculo de Corrientes de Equipos de Señalización y Mando.....	46
3.7.2 Cálculo de Corrientes de PLC Siemens S7-1500.....	47
3.7.3 Cálculo de Corrientes de PLC Siemens S7-1200.....	48
3.7.4 Cálculo de Corrientes de Panel Táctil Siemens TP 1500 Confort .....	48
3.7.5 Cálculo de Corrientes de la Periferia Descentralizada Siemens Simatic ET 200SP ...	49
3.7.6 Cálculo de Corrientes del Radio Modem Siemens Scalance W700.....	50
3.7.7 Cálculo de Corrientes del Switch Ethernet Scalance X208 .....	51
3.8 Dimensionamiento de Protecciones del Sistema de entrenamiento de PLC .....	52
3.8.1 Cálculo de Corrientes de Equipos de Señalización y Mando.....	52
3.8.2 Cálculo de Corrientes de PLC Schneider M241 .....	53
3.8.3 Cálculo de Corrientes de Panel Táctil HMISTU855 .....	54
3.8.4 Cálculo de Corrientes del Switch Ethernet TCSESU053FNO.....	54
3.9 Conductor para conexión de equipos de control, mando y señalización .....	56
3.10 Interconexión del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales .....	56
3.11 Interconexión del Sistema de Entrenamiento de PLC .....	60
3.12 Especificaciones Técnicas .....	63
3.12.1 Especificaciones del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales .....	64

3.12.2 Especificaciones del Sistema de Entrenamiento de PLC .....	64
3.13 Guía de laboratorio .....	65
3.14 Guías de Laboratorio para PLC's.....	66
3.14.1 Práctica 1: Instrucciones de Bits. ....	66
3.14.2 Práctica 2: Contadores.....	66
3.14.3 Práctica 3: Temporizadores.....	67
3.14.4 Práctica 4: Registro de Reloj/Calendario. ....	67
3.14.5 Práctica 5: Entradas y salidas analógicas .....	67
3.14.6 Práctica 6: Transferencia de datos.....	67
3.15 Guías de Laboratorio de Redes Industriales.....	67
3.15.1 Práctica 1: Comunicación Profinet.....	68
3.15.2 Práctica 2: Comunicación Profibus. ....	68
3.15.3 Práctica 3: Comunicación Maestro-Esclavo Profinet. ....	68
3.15.4 Práctica 4: Comunicación Maestro – Esclavo por IWLAN. ....	68
3.15.5 Práctica 5: Comunicación Profinet de ET200SP. ....	69
3.15.6 Práctica 6: Integración de comunicación. ....	69
3.16 Estructura de las Guías de Laboratorio .....	69
<b>CAPÍTULO 4 .....</b>	<b>70</b>
<b>IMPLEMENTACIÓN.....</b>	<b>70</b>
4.1 Estructura Metálica .....	71

4.2 Implementación de los Racks.....	73
4.3 Cableado de los Sistemas de Entrenamiento.....	77
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>79</b>
<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
5.1 Tiempos de Ejecución de las Prácticas de Laboratorio.....	79
5.2 Flexibilidad de los Sistemas de Entrenamiento .....	81
5.3 Mantenimiento de los Sistemas de Entrenamiento .....	82
5.4 Nivel de Seguridad Eléctrica.....	83
<b>CAPÍTULO 6.....</b>	<b>84</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
6.1 Conclusiones .....	84
6.2 Recomendaciones.....	85
<b>ANEXOS.....</b>	<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>87</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1 Tipo de fallas en un sistema de entrenamiento.....	10
Tabla 2 Características de la estructura básica de un PLC .....	12
Tabla 3 Símbolos básicos del lenguaje Ladder.....	13
Tabla 4 Etapas para la elaboración de HMI.....	14
Tabla 5 Lista de indicadores de la guía GEDIS.....	15
Tabla 6 Analogía entre una Red industrial y una Red de Empresa .....	19
Tabla 7 Descripción de los niveles jerárquicos .....	20
Tabla 8 Medidas generales de la estructura metálica .....	25
Tabla 9 Elementos del rack 1.....	32
Tabla 10 Elementos del rack 2.....	34
Tabla 11 Elementos del rack 3.....	36
Tabla 12 Características del panel de operación.....	36
Tabla 13 Medidas generales de la estructura metálica .....	39
Tabla 14 Elementos del rack 1.....	43
Tabla 15 Elementos del rack 2.....	44
Tabla 16 Elementos del rack 3.....	46
Tabla 17 Protecciones del sistema de entrenamiento de Redes Industriales .....	52
Tabla 18 Protecciones para cada equipo del sistema de entrenamiento de PLC .....	55
Tabla 19 Elección de cable conductor para conexión de equipos .....	56
Tabla 20 Lista de equipos para sistema de entrenamiento de Redes Industriales .....	64
Tabla 21 Lista de equipos y elementos para sistema de entrenamiento de PLC .....	65

Tabla 22 Tiempos de ejecución de las prácticas de laboratorio de PLC's .....80

Tabla 23 Tiempos de ejecución de las prácticas de laboratorio de Redes Industriales .....80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas de Protección .....	10
Figura 2. Estructura básica de controlador lógico programable .....	11
Figura 3. Topología de infraestructura .....	16
Figura 4. Topología Ad-Hoc.....	17
Figura 5. Topología de conexión con una periferia descentralizada .....	17
Figura 6. Red de Comunicación Industrial .....	18
Figura 7. Niveles Jerárquicos en una Red Industrial .....	20
Figura 8. Vista 3D de la estructura del sistema de entrenamiento.....	25
Figura 9. Vista frontal del armario metálico.....	26
Figura 10. Vista lateral izquierda de Armario metálico .....	27
Figura 11. Vista lateral derecha del Armario metálico.....	28
Figura 12. Vista posterior del Armario metálico .....	29
Figura 13. Distribución de Racks .....	30
Figura 14. Distribución de equipos en los Racks .....	31
Figura 15. Dimensiones del Rack 1 .....	31
Figura 16. Elementos de fijación para el Rack 1 .....	32
Figura 17. Distribución de elementos .....	32
Figura 18. Dimensiones del Rack 2 .....	33
Figura 19. Sección vacía para panel táctil .....	33
Figura 20. Distribución de elementos .....	34
Figura 21. Dimensiones del Rack 3 .....	34

Figura 22. Elementos de fijación para el Rack 3 .....	35
Figura 23. Distribución de elementos .....	35
Figura 24. Panel de operación .....	36
Figura 25. Vista 3D de la estructura del sistema de entrenamiento.....	39
Figura 26. Distribución de Racks .....	40
Figura 27. Distribución de equipos en los Racks .....	41
Figura 28. Dimensiones del Rack 1 .....	42
Figura 29. Elementos de fijación para el Rack 1 .....	42
Figura 30. Distribución de elementos .....	42
Figura 31. Dimensiones del Rack 2.....	43
Figura 32. Elementos de fijación y sección vacía.....	43
Figura 33. Distribución de elementos .....	44
Figura 34. Dimensiones del Rack 3 .....	45
Figura 35. Distribución de elementos.....	45
Figura 36. Alimentación de los elementos de mando y señalización .....	57
Figura 37. Alimentación de la periferia descentralizada .....	58
Figura 38. Alimentación del Panel Táctil, Radio Modem y Switch Ethernet .....	59
Figura 39. Alimentación del PLC Siemens (S7-1500, S7-1200) y Fuente de 24Vdc .....	60
Figura 40. Alimentación de los elementos de mando y señalización .....	61
Figura 41. Alimentación del Panel Táctil y Switch Ethernet .....	62
Figura 42. Alimentación del PLC Modicon M241 y Fuente de 24Vdc.....	63
Figura 43. Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales.....	70
Figura 44. Estructura Metálica .....	71



Figura 45. Vista lateral del Sistema de Entrenamiento.....	72
Figura 46. Vista Posterior de la Estructura Metálica.....	73
Figura 47. Implementación de los Racks.....	74
Figura 48. Implementación del Rack 1.....	74
Figura 49. Implementación del Rack 2.....	75
Figura 50. Implementación de Rack 3.....	75
Figura 51. Implementación del Rack 1, del Sistema de Entrenamiento de PLC.....	76
Figura 52. Implementación del Rack 2, del Sistema de Entrenamiento de PLC.....	76
Figura 53. Implementación del Rack 3, del Sistema de Entrenamiento de PLC.....	77
Figura 54. Conexión en el Área de Fuerza.....	77
Figura 55. Conexión entre Protecciones y Equipos de control.....	78

## **RESUMEN**

El presente proyecto tiene como objetivo implementar nuevos sistemas de entrenamientos para los laboratorios de Redes Industriales y PLC's para el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que permita a los estudiantes simular procesos industriales y lograr fortalecer los conocimientos adquiridos. La construcción de los sistemas de entrenamiento está dividida en dos partes, la primera es el diseño de la estructura metálica, distribución de equipos y elementos, protecciones y conexiones entre equipos. Para la segunda, es la implementación de los sistemas de entrenamiento donde se obtiene las estructuras físicas y se instala cada equipo, elemento en su respectivo módulo, también se realiza la conexión física entre equipos y elementos. El desarrollo de las guías de laboratorio se divide en dos partes, la primera parte en guías de laboratorio de PLC, que tiene como objetivo conocer las funciones principales que poseen los PLC's basado en equipos de la marca Schneider. La segunda parte en guías de laboratorio de Redes Industriales, que tiene como objetivo implementar protocolos de comunicación propio de la industria basado en equipos de la marca Siemens. Las pruebas de los sistemas de entrenamiento se realizaron para verificar la funcionalidad de cada módulo, con lo cual se determinó que los sistemas de entrenamiento se encuentran en excelente estado y su uso es completamente seguro para los usuarios.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SISTEMA DE ENTRENAMIENTO**
- **REDES INDUSTRIALES**
- **PLC'S**

## **ABSTRACT**

The objective of this project is to implement a new laboratory of industrial networks and PLC's for the Department of Electrical, Electronics and Telecommunications of the University of the Armed Forces ESPE, which allows students to simulate industrial processes and strengthen the knowledge acquired. For the construction of training systems, it has been divided into two parts, the first part is the design of the metal structure, distribution of equipment and elements, protections and connections between equipment. For the second part, it is the implementation of the training systems where the physical structures are obtained and each equipment and element begin to be embedded in its respective module, the physical connection between equipment and elements is also made. The development of laboratory guides is divided into two parts, the first part in PLC laboratory guides, which aims to know the main functions that PLC's have using Schneider technology. The second part in Industrial Networks laboratory guides, which aims to implement industry-specific communication protocols using Siemens technology. The tests of the training systems were carried out to be able to see the functionality that each module possesses, which determined that the training systems are in excellent condition and their use is completely safe for users.

### **KEYWORDS:**

- **TRAINING SYSTEM**
- **INDUSTRIAL NETWORKS**
- **PLC'S**

## **CAPÍTULO 1**

### **INTRODUCCIÓN**

En la actualidad, en las plantas industriales el uso y la comunicación entre equipos y procesos se ha hecho cada vez más imprescindible. Los procesos industriales constan de equipos de distintos fabricantes que se encuentran en diferentes niveles de la pirámide de automatización, pese a esto lo que se desea es que todos los equipos trabajen coordinadamente y exista una comunicación conjunta de todo el sistema.

Hoy en día, las industrias necesitan que sus equipos se comuniquen entre sí, teniendo en cuenta que esta comunicación debe ser segura, confiable y disponible, basándose en protocolos y los últimos estándares de comunicación. La productividad de cada empresa es esencial, por ende, los sistemas de comunicación deben adaptarse a los requerimientos que necesita cada empresa, así se llega a obtener mejores líneas de producción, teniendo en cuenta el estado de cada proceso por más remoto que se encuentre (Siemens, 2017).

#### **1.1 Antecedentes**

La Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, cuenta con departamentos académicos, uno de ellos es el Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Una de las carreras afines al departamento es la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control; esta carrera dispone de laboratorios que permiten el desarrollo de competencias prácticas en los estudiantes.

En la actualidad el laboratorio de PLC's y Redes Industriales del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones cuenta con equipos básicos de entrenamiento que están enfocados en el estudio y desarrollo de prácticas de control lógico y protocolos de comunicación

industrial. Los mencionados equipos han cumplido con su ciclo de vida útil y ante el vertiginoso desarrollo tecnológico actualmente pueden ser considerados como obsoletos.

Por lo anteriormente señalado y ante la necesidad de mejorar los sistemas de entrenamiento, la Universidad adquirió en el año 2018 una importante cantidad de equipos electrónicos que podrán permitir un entrenamiento actualizado, enfocado a la industria actual, siempre y cuando su utilización sea optimizada a través del diseño e implementación de un nuevo sistema de entrenamiento.

## **1.2 Justificación e Importancia**

La ejecución de este proyecto es importante y se justifica por las siguientes razones:

- El mejoramiento de la infraestructura tecnológica del laboratorio apoyará el proceso de acreditación de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control por parte del CACES (Concejo de Acreditación de la Calidad de la Educación Superior).
- Contribuir con la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en su misión de formar profesionales con visión del futuro, capaces de proponer e implementar soluciones rápidas y concisas al momento de aplicar métodos de automatización para la optimización de procesos industriales.
- La implementación del nuevo laboratorio de PLC's y Redes Industriales, permitirá el fortalecimiento académico de los estudiantes, aprovechando al máximo todas las características y ventajas que poseen los nuevos equipos.
- Facilitar el mantenimiento de los equipos, debido que, al encontrarse sobre estructuras modulares, podrán ser desplazadas al momento de encontrarse en mal estado y ser analizados con mayor facilidad.

- Mantener el buen estado de los equipos evitando caídas, cortos circuitos, desgastes de los mismos y malas conexiones.
- Actualmente el laboratorio de PLC's y Redes Industriales se encuentran en un estado desfavorable, principalmente se ha ido desgastando los materiales por el paso del tiempo y por la mala utilización del mismo, cabe decir que los PLC's se encuentra en una condición aceptable, pero se podría mejorar su uso realizando una nueva reestructuración del mismo considerando el cableado desde el PLC a los interruptores, botonera y luces piloto.

### **1.3 Alcance del proyecto**

El presente proyecto incluye el rediseño e implementación del Laboratorio de PLC's y Redes Industriales, junto con el desarrollo de guías de laboratorio; para ello pretende diseñar e implementar sistemas de entrenamiento de PLC's y Redes Industriales para uso y entrenamiento de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

El laboratorio contará con equipos de tecnología de gama alta que permitan simular los diferentes procesos que ocurren en la industria ecuatoriana; tomando en cuenta lo anterior se pretende diseñar e implantar dos modelos de sistemas de entrenamiento que se detallan a continuación.

- Sistema de entrenamiento de Redes Industriales

Componentes del sistema:

- Switch master
- Protecciones
- Fuente de poder
- Barra de neutros

- Panel táctil
  - Switch industrial
  - Estación terminal remota
  - Radio modem ethernet
  - PLC Siemens S7 – 1200
  - PLC Siemens S7 – 1500
    - Módulos de entradas digitales.
    - Módulos de salidas digitales.
    - Módulos de entradas analógicas.
    - Módulos de salida analógicas.
  - Luces piloto
  - Botoneras
  - Interruptores
  - Plugs
  - Monitor
  - CPU
  - Teclado
  - Mouse
- Sistema de entrenamiento de PLC

Componentes del sistema:

- Switch master
- Protecciones
- Fuente de poder

- Barra de neutros
- Guarda motor
- Panel táctil
- Switch industrial
- PLC Modicon M241
  - Módulo I/O analógicas
- PLC Siemens S7- 1200
- Variador de frecuencia
- Servo driver
- Motor
- Luces piloto
- Botoneras
- Interruptores
- Plugs
- Monitor
- CPU
- Teclado
- Mouse

Se realizará el diseño de las estructuras metálicas de cada estación de trabajo tomando en cuenta que tendrá racks y gaveta, también se realizará la distribución de los equipos previamente



mencionados, tomando en cuenta que cada sistema de entrenamiento contará con sus respectivas protecciones, equipos debidamente cableados, energizados y etiquetados.

La norma que se acatará en la ejecución del proyecto es la IEC 61439, que garantiza los niveles de seguridad tanto de los equipos instalados, las personas que ocupan y la vida útil del tablero. Esta norma es utilizada para equipos de baja tensión, distribución mando y control.

Se elaborará guías de laboratorio tanto de PLC como de Redes Industriales con un mínimo de seis prácticas de laboratorio, donde abarquen temas de configuración de equipos, simulaciones e interoperabilidad entre equipos de cada sistema de entrenamiento, de tal manera que el estudiante desarrolle sus habilidades.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

- Diseñar e implementar sistemas de entrenamiento para el Laboratorio de PLC's y Redes Industriales del Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

### **1.4.2 Objetivos Específico**

- Mejorar la formación académica de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control, mediante la generación de estaciones de trabajo altamente didácticas.
- Mejorar el tiempo de ejecución de las prácticas, a través de estaciones de trabajo modulares, que se encuentre precomisionadas.

- Facilitar la configuración modular del laboratorio mediante sistemas de entrenamiento móviles.
- Mejorar la conservación y el mantenimiento de los equipos del laboratorio considerando que cada sistema de entrenamiento tendrá los equipos ya instalados.
- Elaborar guías de laboratorio que permitan el correcto uso de cada estación de trabajo y el fortalecimiento académico de cada estudiante.
- Aumentar los niveles de seguridad eléctrica, mediante el cumplimiento de las normativas establecidas en la etapa de diseño e implementación de los sistemas de entrenamientos.

## CAPÍTULO 2

### MARCO REFERENCIAL

#### 2.1 Sistema de entrenamiento

Los sistemas de entrenamiento son también conocidos como tableros eléctricos, pero cumplen con un objetivo diferente a los tableros eléctricos y estos son entrenar a usuarios académicamente hacia posibles escenarios que suceden en la industria. Un sistema de entrenamiento debe poseer varias características de múltiples tableros eléctricos en uno solo, por lo cual un sistema de entrenamiento tiende a ser un sistema polifuncional que brinda varios escenarios de la industria en un solo módulo.

Los sistemas de entrenamiento pueden ser circuitos básicos como el control de un motor hasta circuitos mucho más complejos como el armado de una red industrial multimarca, depende del tipo de necesidad que se desee tratar, del tipo de capacitación que se desee brindar; teniendo en cuenta la infinidad de protocolos que se pueden usar y la variedad de prácticas que se puede realizar en un solo sistema de entrenamiento.

Los sistemas de entrenamiento están compuestos por estructuras metálicas que se utiliza para proteger a todos los equipos de control, motores eléctricos, equipos hidráulicos, equipos neumáticos, etc. Están constituidos por protecciones, alarmas y señalización con sus soportes correspondientes (Argentina, 2016). Los sistemas de entrenamiento deben ser montados en lugares de fácil acceso que cumplan con ciertas normas ambientales, buena iluminación y que permita la realización de un correcto mantenimiento (San Martín, 2016). Cada instalación de un sistema de entrenamiento debe tener guías de conexión que pueden ser:

- Diagrama Unifilar.
- Diagrama de control.
- Diagrama de interconexión

### **2.1.1 Características**

Las características fundamentales que deben tener un sistema de entrenamiento son las siguientes.

- Seguridad de las personas quien opera el sistema de entrenamiento.
- Continuidad del servicio.
- Correcto funcionamiento eléctrico y mecánico.
- Solidez estructural.
- Modularidad de sus componentes.
- Grado de protección (normas).
- Ergonómicos.

Para cada tipo de sistema de entrenamiento se deben tener en cuenta las características previamente descritas y las normas que recomiendan pautas de diseño, especificaciones para garantizar seguridad y calidad (Farina, 2017).

### **2.1.2 Protecciones**

Son elementos de maniobra que detectan parámetros anormales en la línea eléctrica, estos elementos permiten conducir e interrumpir la corriente eléctrica.

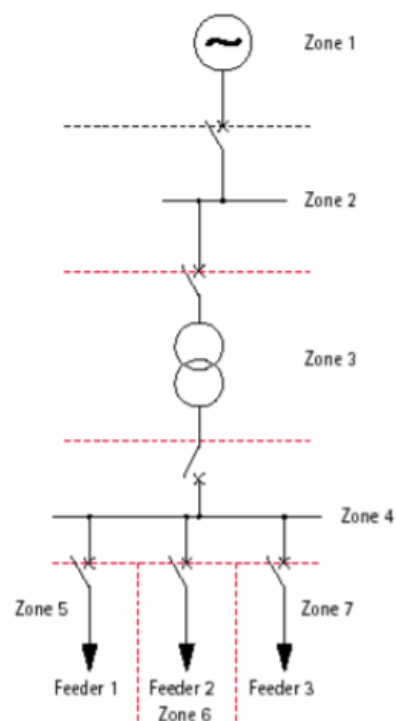
En la tabla 1, se muestra el porcentaje de la cantidad de fallas que ocurren en los sistemas de entrenamiento.

**Tabla 1***Tipo de fallas en un sistema de entrenamiento*

<b>Elemento</b>	<b>Fallas %</b>
Líneas de transmisión a tierra	28
Líneas de transmisión más de una fase	5
Cable	9
Equipo de maniobra	10
Equipo de generación	7
Equipo de transformación	12
Redes de distribución	29

Fuente: (Tamasco, 2007)

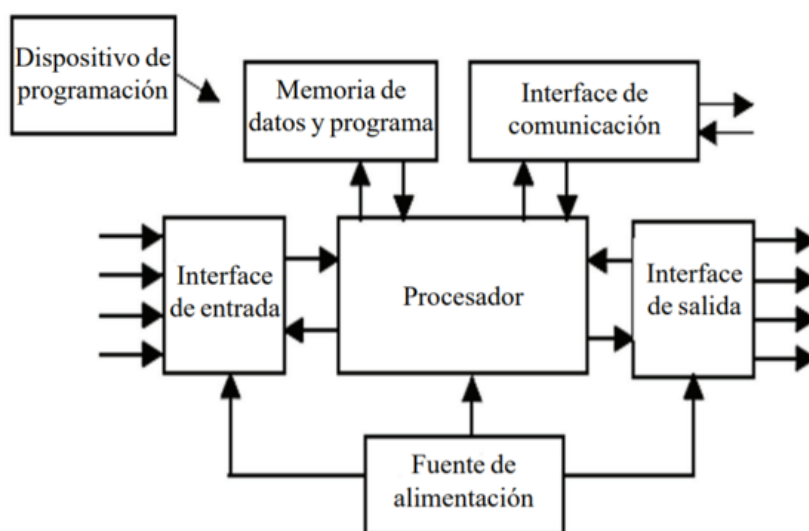
Existen zonas de protección, donde se puede limitar las fallas en el sistema eléctrico, la mejor opción es que ninguna zona del sistema quede desprotegida. En la figura 1 se observa un sistema dividido por zonas donde debe constar protecciones eléctricas.

**Figura 1.** Zonas de Protección

Fuente: (Tamasco, 2007)

## 2.2 Controlador Lógico Programable

Es una computadora que es diseñada para controlar procesos en tiempo real y enfocada a medios industriales con procesos secuenciales. Los PLC's son muy útiles cuando se tiene espacios reducidos, procesos de producción variable e instalaciones de procesos complejos (Vallejo, 2005).



**Figura 2.** Estructura básica de controlador lógico programable

Fuente: (Ricardo Guzmán, 2015)

En la figura 2, muestra la Estructura básica de un PLC, que está constituido por:

- Fuente de alimentación.
- Unidad de procesamiento central (CPU).
- Módulos de interfaces de entrada/salidas (E/S).
- Módulo de memorias.
- Dispositivo de programación.

En la tabla 2, muestra las características principales de la estructura del PLC.

**Tabla 2***Características de la estructura básica de un PLC*

<b>Estructura básica de un PLC</b>	<b>Características</b>
<b>Fuente de alimentación</b>	Suministrar energía al CPU y las tarjetas que posea el PLC
<b>Unidad de procesamiento central (CPU)</b>	<p>Diseñado a base de microcontroladores y memorias contiene:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Una unidad de control</li> <li>• Memoria RAM</li> <li>• Temporizadores</li> <li>• Contadores</li> <li>• Memoria tipo relé</li> </ul>
<b>Módulos o interfaces de entrada y salidas</b>	<p>Conectan la unidad de procesamiento central con los dispositivos de campo (sensores y actuadores). Los tipos de módulos son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Módulos de entradas discretas</li> <li>• Módulos de salidas discretas</li> <li>• Módulos de entradas analógicas</li> <li>• Módulos de salidas analógicas</li> </ul>
<b>Módulo de memorias</b>	<p>Guardan la información de forma permanente o provisional según el tipo de memoria que se utilice. Existen dos tipos de memoria:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volátiles (RAM)</li> <li>• No volátiles (EPROM y EEPROM)</li> </ul>
<b>Dispositivo de programación</b>	<p>Es el medio de comunicación entre el PLC y el ser humano. Existe tres tipos de programación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hand Held</li> <li>• PC</li> <li>• Computadora</li> </ul>







Fuente: (Ramirez, 2017)

### 2.2.1 Lenguajes de Programación

Existen diferentes tipos de programación divididos en dos grupos que son programación en lenguaje gráfico y programación en lenguaje textual. La programación en lenguaje se divide en esquema de contactos y listado de contactos. La programación de lenguaje textual es una lista de instrucciones de bajo nivel.

El esquema de contactos también conocido como lenguaje Ladder, es un lenguaje gráfico que se representa mediante símbolos de contacto y solenoides. La ventaja de esta programación es que todos sus símbolos trabajan bajo las normas NEMA y todos los fabricantes de PLC's los utilizan, los símbolos básicos del lenguaje Ladder se muestran en la tabla 3:

**Tabla 3**  
*Símbolos básicos del lenguaje Ladder*

Símbolo	Nombre
	Contacto NA
	Contacto NC
	Bobina NA
	Bobina NC
	Bobina SET
	Bobina RESET

Fuente: (Aguilera, 2002)

El listado de contactos son códigos simbólicos y cada uno de ellos representa una instrucción a desarrollarse, sirven para sistemas secuenciales y consiste en una secuencia de etapas y transiciones que se asocian a condiciones y acciones. Estos listados son:

- Gráfico secuencial de funciones Grafcet.



- Diagrama de flujo.
- Plano de funciones.

La lista de instrucciones corresponde a la programación de lenguaje textual, es un lenguaje de bajo nivel que está compuesta de letras, códigos y números de acuerdo al fabricante de cada marca de PLC's. Uno de los problemas más grandes de este lenguaje textual, es el trabajo de su programación que consta de cientos de instrucciones.

### 2.3 Interfaz Humano Máquina HMI

Es una interfaz entre el ser humano y un proceso que permite el control y monitoreo de señales de una aplicación industrial. Las interfaces deben ser funcionales, fácil acceso y manejables. Para realizar una interfaz se debe conocer el proceso que se desea tratar, una de las fallas de los HMI es el incorrecto diseño de tal, donde los usuarios no puedan interactuar correctamente con el proceso.

La norma técnica para el diseño de un HMI es la ANSI-ISA 101 que proporciona una dirección para el diseño, elaboración, operación y eficacia, que como resultado se obtiene un control más seguro para el proceso industrial. En la tabla 4 se definen las etapas para la elaboración de un HMI siguiendo la norma ANSI-ISA 101. Con las etapas se puede lograr la implementación de cualquier proceso industrial (Edward Bohórquez, 2019).

**Tabla 4**  
*Etapas para la elaboración de HMI*

<b>Etapas</b>	<b>Descripción</b>
<b>Etapas 1</b>	Definición de la HMI, conectividad, resolución y funcionalidad, conociendo el alcance del equipo.

**CONTINÚA**



<b>Etapa 2</b>	Conocimiento completo del proceso a tratar, detalle de los elementos y equipos
<b>Etapa 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño estándar del sistema</li> <li>• Diseño de la interfaz</li> <li>• Implementación</li> </ul>

Fuente: (Edward Bohórquez, 2019)

Otra herramienta para la elaboración de un interfaz humano maquina es la guía Gedís, es un método que está especializado para el diseño de distintos tipos de pantallas y contenidos. En la guía Gedís existen listas de indicadores que cubren todos los aspectos del diseño de una interfaz. En la tabla 5 se puede observar los indicadores que cubre la guía Gedís (Pere Ponsa, 2006).

**Tabla 5**

*Lista de indicadores de la guía GEDIS*

<b>Indicador</b>	<b>Definición</b>
<b>Arquitectura</b>	Jerarquía de pantallas
<b>Distribución de pantallas</b>	Diferentes tipos de pantallas
<b>Navegación</b>	Navegación entre pantallas
<b>Colores</b>	Asociación de funcionalidades para cada proceso
<b>Información textual</b>	Asociación de funcionalidades
<b>Estatus de los equipos y eventos de proceso</b>	Símbolos e iconos representan el proceso de una planta
<b>Información y valores de proceso</b>	Datos analógicos y digitales en cada gráfico
<b>Gráficos de tendencias y tablas</b>	Valores en gráficos de tendencias
<b>Comando y entrada de datos</b>	Modo de entrada de datos
<b>Alarmas</b>	Características del subsistema de alarmas

Fuente: (Pere Ponsa, 2006)

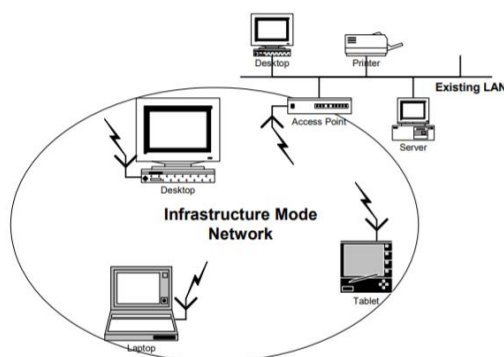
## 2.4 LAN Inalámbricas industriales

Las redes LAN inalámbricas, son utilizadas para la transmisión y recepción de datos de forma inalámbrica, estas pueden sustituir una infraestructura de cableado, teniendo en cuenta la arquitectura de red que se implemente en la industria. Las arquitecturas de red se dividen en:

- Topología de infraestructura
- Topología de red ad-hoc

### 2.4.1 Topología de infraestructura

La topología de infraestructura logra conectar una red LAN con cable a una red LAN inalámbrica, esta conexión lo realiza mediante un punto de acceso. Estos puntos de accesos realizan el intercambio de información entre múltiples dispositivos inalámbricos. En la figura 3 se observa la topología de infraestructura, que conectar una red con dispositivos inalámbricos con una red LAN con cable mediante un punto de acceso (Mora, 2004).

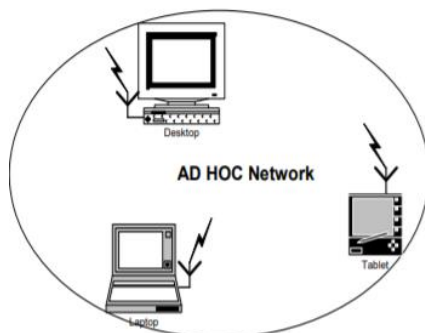


**Figura 3.** Topología de infraestructura

Fuente: (Mora, 2004)

### 2.4.2 Topología Ad-Hoc

En la topología ad-hoc, todos los dispositivos inalámbricos crean una red LAN sin contar con ningún punto de acceso. Cada dispositivo inalámbrico logra intercambiar información con los otros dispositivos que son parte de la red. Por lo general esta topología se aplica cuando el grupo de dispositivos inalámbricos son reducidos. En la figura 4 se observa como los dispositivos inalámbricos intercambian información directamente sin contar con un punto de acceso (Mora, 2004).

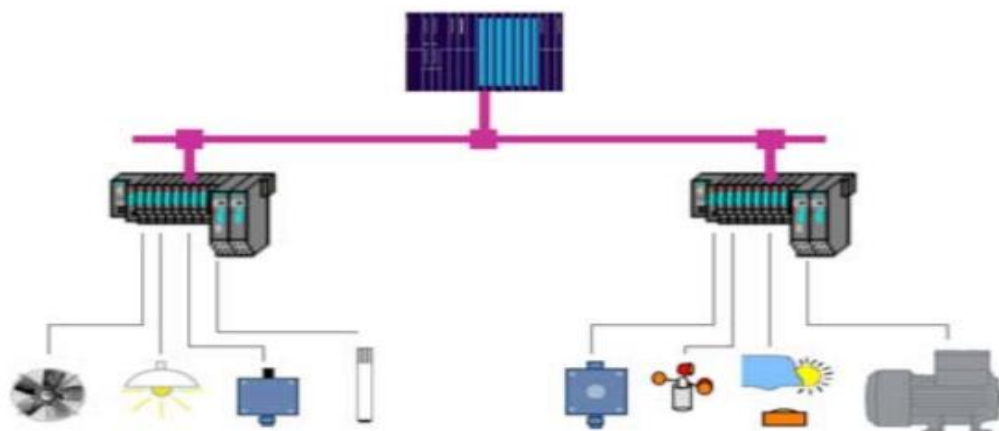


**Figura 4.** Topología Ad-Hoc

Fuente: (Mora, 2004)

## 2.5 Periferia Descentralizada

Son sistemas de periferia distribuida o descentralizada, son equipos que permiten recoger señales de los dispositivos de campo, por medio de un bus de campo transmiten las señales al PLC. Las periferias descentralizadas cumplen dos objetivos, por un lado, reciben las señales de los sensores y por otro lado envían las ordenes desde los PLC's hacia los actuadores de campo. En la figura 5, se observa la topología de conexión de una periferia descentralizada con dispositivos de campo y con el PLC (Isaías González, 2008).

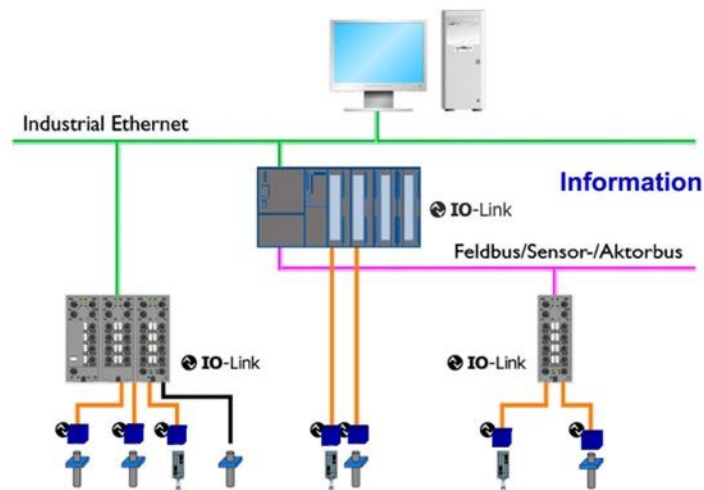


**Figura 5.** Topología de conexión con una periferia descentralizada

Fuente: (Isaías González, 2008)

## 2.6 Redes industriales

Son redes que trabajan en tiempo real, utilizadas en sistemas industriales que interconectar varios procesos de producción y aseguran la coordinación de todos los procesos, una red industrial tiene el trabajo de supervisar, gestionar y el mantenimiento de todos los procesos (Comunicación, 2009). En la figura 6, se observa un ejemplo de una red de comunicación industrial, teniendo en cuenta los dispositivos de campo y todos los dispositivos de control.



**Figura 6.** Red de Comunicación Industrial

Fuente: (InfoPLC, 2013)

Dentro de una industria existen dos tipos de redes, una es la red empresarial y la otra red es la red industrial, en la tabla 6, se observa una analogía entre la red industrial y la red empresarial, teniendo en cuenta los usuarios, tráfico de información, servicios, simultaneidad, el tiempo de respuesta y el método de comunicación.

**Tabla 6**  
*Analogía entre una Red industrial y una Red de Empresa*

	<b>RED INDUSTRIAL</b>	<b>RED DE EMPRESA</b>
<b>Usuario</b>	Procesos	Personas
<b>Tráfico</b>	Determinístico	Aleatorio
<b>Servicios</b>	Predeterminado	Adaptados Al Usuario
<b>Simultaneidad</b>	Predeterminada	Todos Los Usuarios
<b>Tiempo De Respuesta</b>	Crítico	No Crítico
<b>Método De Comunicación</b>	Según La Aplicación	Generales

Fuente: (Comunicación, 2009)

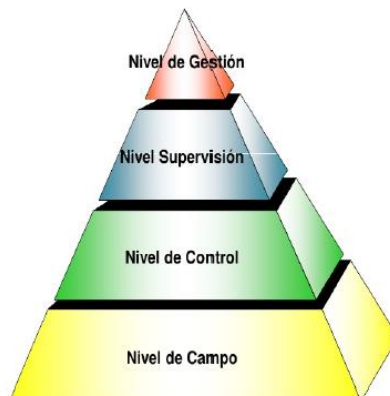
### 2.6.1 Ventaja de una red de comunicación

Las ventajas de tener una red industrial son las siguientes:

- Visualización y monitoreo de los procesos industriales.
- Toma de datos en tiempo real.
- Intercambio de datos entre sectores o subredes.
- Programación flexible y a distancia.
- Comunicación entre humano-máquina.
- Control de calidad, estadística y gestión.
- Manejo de lenguajes de alto nivel.

### 2.6.2 Niveles de jerarquía en una Red Industrial

Dependiendo de los equipos que se utiliza en una red industrial, existen niveles donde se procesan la información, comenzando desde el nivel de campo y así elaborando una estructura jerárquica. En la figura 7, se observa la estructura jerárquica básica de una red industrial.



**Figura 7.** Niveles Jerárquicos  
en una Red Industrial

Fuente: (Toro, Sánchez, & Strefezza, 2017)

En la tabla 7, se detalla cada nivel de jerarquía, teniendo en cuenta niveles bajos donde actúan sensores y actuadores, y niveles altos donde se manejan redes LAN o WAN.

**Tabla 7**

*Descripción de los niveles jerárquicos*

<b>Nivel</b>	<b>Descripción</b>
<b>Nivel de gestión</b>	Integra todos los niveles y realiza un puente entre el proceso de producción y el área de gestión. Utiliza redes LAN o WAN.
<b>Nivel de control</b>	Enlaza las zonas de trabajo con los autómatas programables. Se trabaja con una red LAN
<b>Nivel de campo</b>	Se emplea buses de campo por donde se transporta las señales en el tiempo requerido.
<b>Nivel de entradas y salidas</b>	Es el nivel más cercano al proceso, constituido por sensores y actuadores.

Fuente: (Comunicación, 2009)

## 2.7 Norma IEC-61439

La norma IEC 61439 garantiza el correcto funcionamiento de tableros armados. Esta norma se aplica a tableros eléctricos de baja tensión con una tensión nominal máxima de 1000 Vac en corriente alterna y 1500 Vdc en corriente continua. La norma consta de varias partes y estas son las siguientes:

- 61439-1: Reglas generales
- 61439-2: Tablero de potencia
- 61439-3: Tablero de distribución
- 61439-4: Tablero para obras
- 61439-5: Tablero para redes de distribución públicas
- 61439-6: Canalización eléctricas prefabricadas
- 61439-7: Vehículos eléctricos

La norma implementa puntos en que los cuadros eléctricos garanticen la seguridad y fiabilidad.

La prevención de daños es un punto importante, debido a que no se interrumpe los servicios por el cual fue diseñado, la prevención también afecta a la economía, ahorrando dinero a los usuarios finales (Barnils, 2019).

En la norma 61439-1 se especifican los materiales aislantes para cada armario metálico y son las siguientes:

- Estabilidad térmica
- Resistencia al calor normal
- Resistencia al fuego
- Resistencia a la radiación ultravioleta

En la resistencia de calor normal, se debe comprobar que los materiales aislantes no varíen el funcionamiento con temperaturas de 125 grados centígrados para las piezas que transporten corriente y a 70 grados centígrados para el resto de piezas. La resistencia al fuego, se debe



comprobar que los materiales aislantes no varíen a temperaturas 960 grados centígrados cuando transporten corrientes y a 650 grados centígrados para el resto de piezas (Barnils, 2019).

La resistencia de radiación ultravioleta, se debe comprobar que el material este expuesto un total de 500 horas a la radiación ultravioleta. Se debe verificar la fuerza estructural y la resistencia de cada tablero.

Con todas estas pruebas de resistencia al calor, fuego y radiación ultravioleta, se puede garantizar que el material aislante funciona correctamente. El tablero se mantendrá en correcto funcionamiento a pesar que se vea afecto del clima o condiciones ambientales.

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO

#### 3.1 Requisitos de Diseño del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales.

El sistema de entrenamiento de Redes Industriales debe cumplir con los siguientes requisitos de diseño:

##### 3.1.1 Requisitos de la estructura metálica

- Construidas con paneles de tol galvanizado de 1.4 mm de espesor.
- Perfiles de tipo C y U para los costados.
- Dimensiones 1,60 [m] de alto – 0.80[m] de ancho, 0.60[m] de profundidad.
- Pintura electrostática en color negro.
- Doble fondo metálico.
- Gabeta con dos puertas abisagradas con cerradura.
- Cuatro ruedas de 4 pulgadas de diámetro de uso industrial.
- Soporte giratorio para monitor conformado por un anclaje giratorio pivotante y una base abatible para anclar un monitor de 17 pulgadas.
- Soporte giratorio para teclado conformado por un anclaje giratorio pivotante y una bandeja rectangular para sobreponer un teclado y un mouse de computador.
- Incluye una bandeja fija con su respectiva base de soporte para un CPU.

##### 3.1.2 Requisitos de protección eléctrica

- Protecciones termo magnéticas para equipos electrónicos.
- Barra de neutro.

- Switch master.

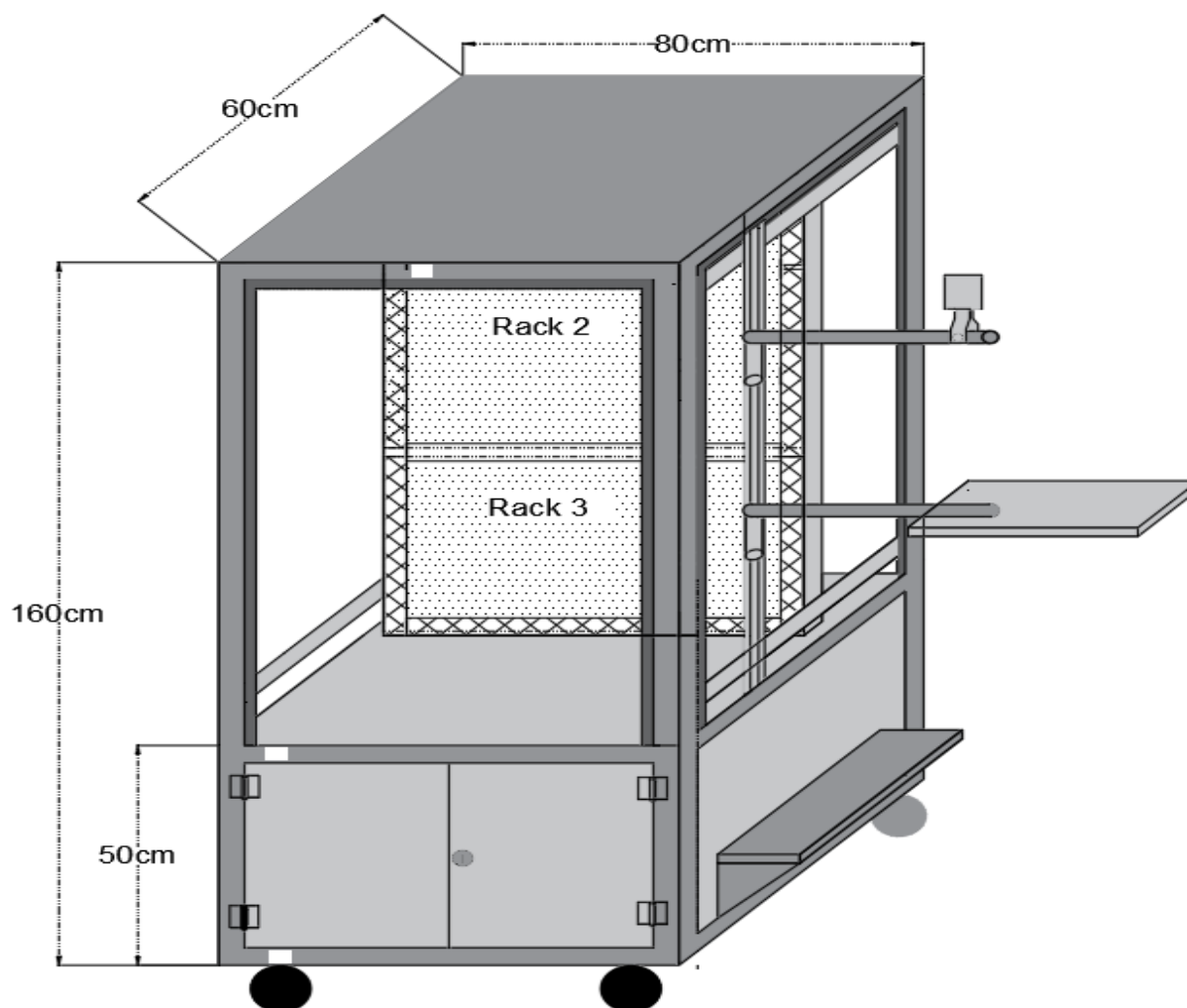
### **3.1.3 Equipos a Instalarse**

- Fuente de poder AB 24Vdc.
- Panel Táctil Siemens TP-1500 Comfort.
- PLC Siemens S7-1500.
- PLC Siemens S7-1200.
- Radio Modem Ethernet Siemens Scalance-W700.
- Periferia Descentralizada Siemens Simatic ET 200SP.
- Switch Ethernet Siemens Scalance X208.
- Luces piloto color rojo/verde.
- Interruptores ON/OFF tipo ojo de cangrejo.
- Conectores Jack banana.
- Pulsadores.

## **3.2 Diseño de Estructura**

### **3.2.1 Plano 3D**

En la figura 8, se observa el plano 3D de la estructura del sistema de entrenamiento con sus respectivas medidas, este plano cuenta con una vista general del módulo completo.



**Figura 8.** Vista 3D de la estructura del sistema de entrenamiento

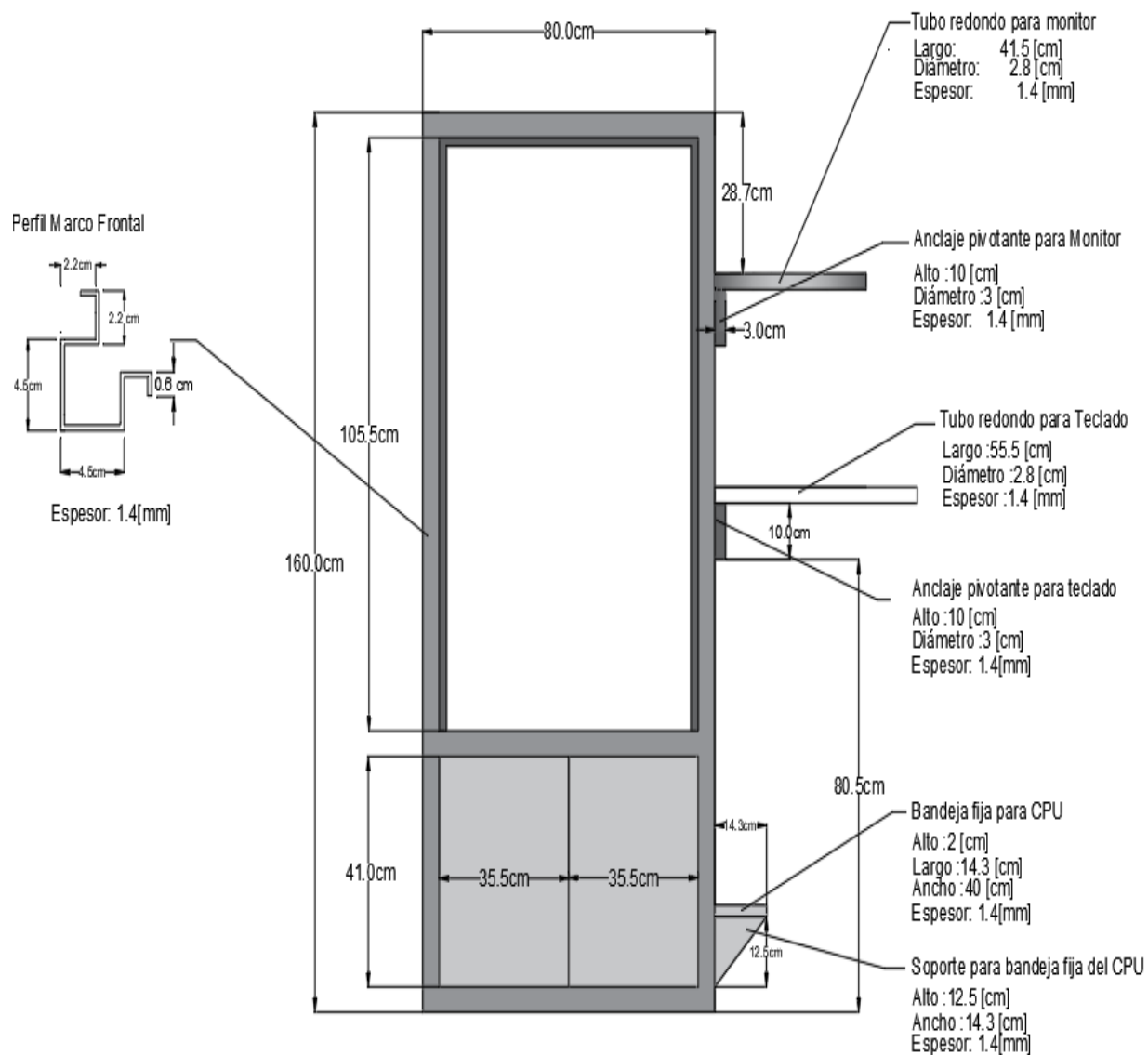
Las medidas del armario metálico se detallan en la tabla 8, todas las medidas se encuentran en centímetros.

**Tabla 8**  
*Medidas generales de la estructura metálica*

	<b>Altura</b>	<b>Ancho</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Estructura metálica</b>	160 cm	80 cm	60 cm

### 3.2.2 Vista frontal de la estructura metálica

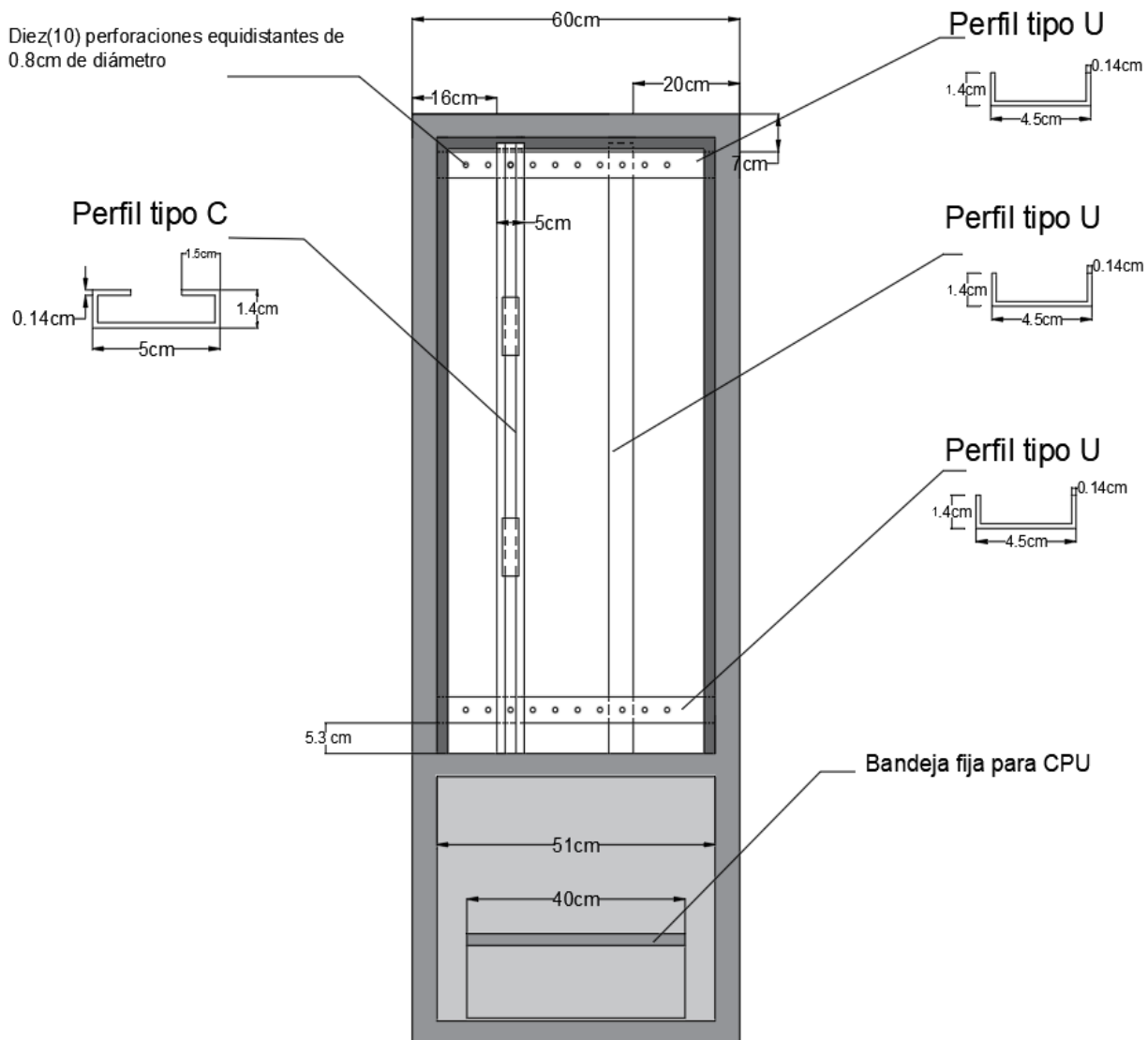
En la figura 9, se observa la vista frontal del armario metálico, donde se detalla el perfil a utilizarse, la bandeja del CPU y las medidas de los brazos para el monitor y teclado.



**Figura 9.** Vista frontal del armario metálico

### 3.2.3 Vista Lateral izquierda del Armario metálico

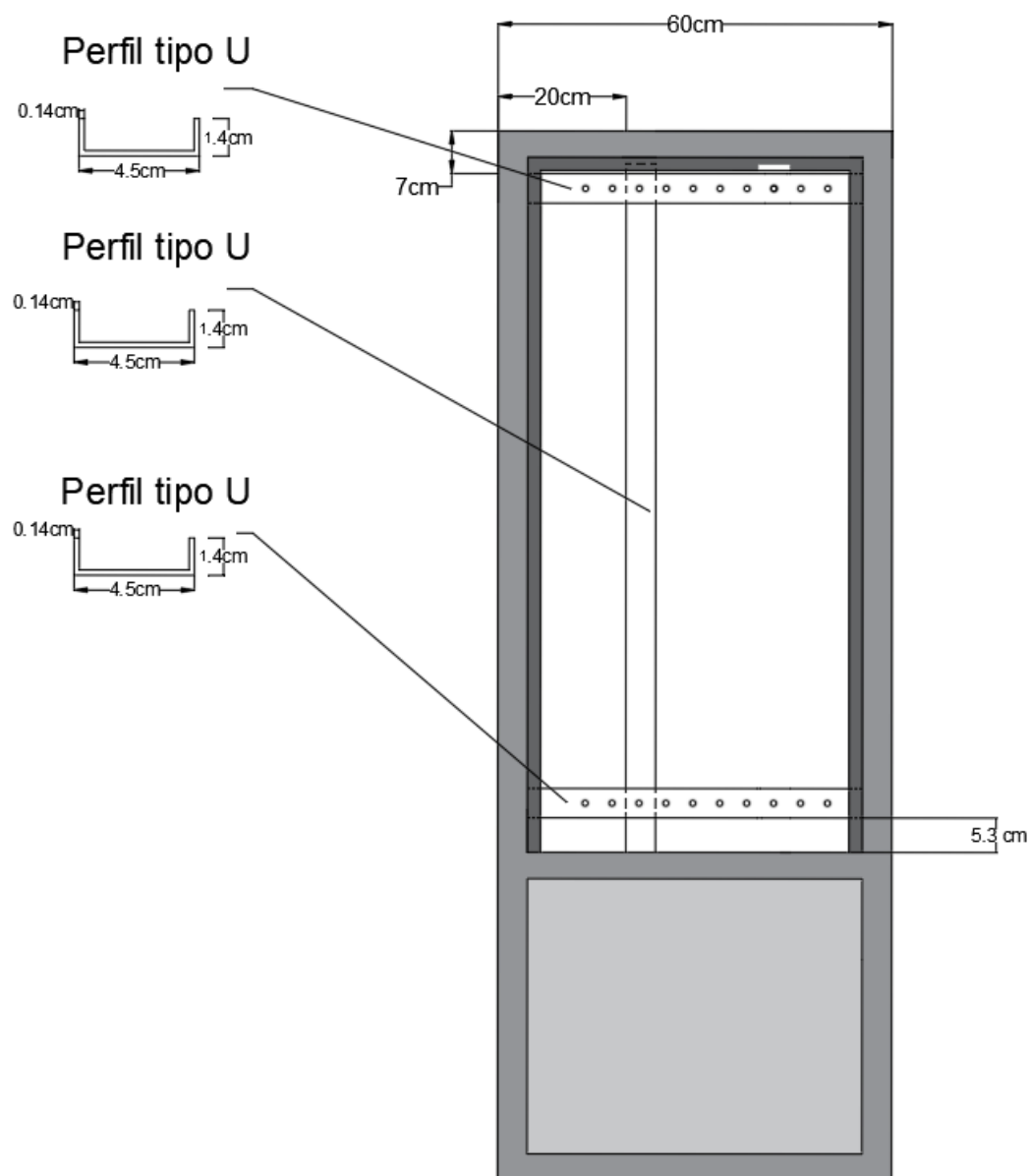
En la figura 10, se observa la vista lateral izquierda del armario metálico, donde se detalla los perfiles a utilizarse, la bandeja del CPU y el soporte para los brazos del monitor y teclado.



**Figura 10.** Vista lateral izquierda de Armario metálico

### 3.2.4 Vista lateral derecha del Armario metálico

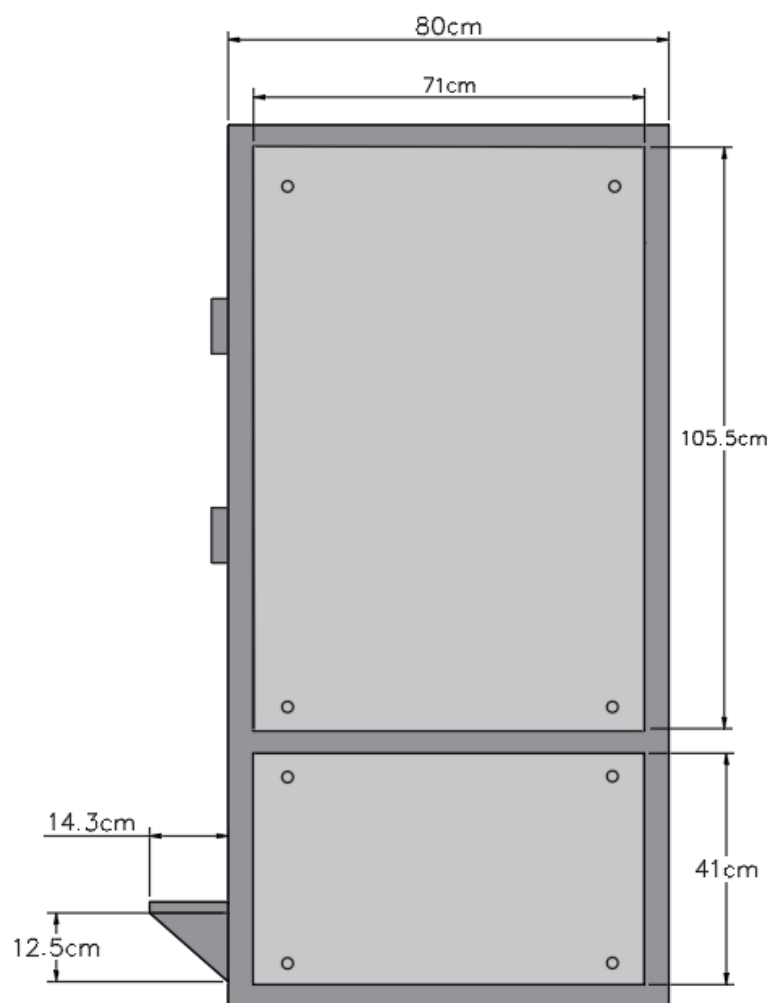
En la figura 11, se observa la vista lateral derecha del armario metálico, donde se detalla los perfiles a utilizarse.



*Figura 11.* Vista lateral derecha del Armario metálico

### 3.2.5 Vista posterior del Armario metálico

En la figura 12, se observa la vista posterior del armario metálico, donde se detalla las tapas metálicas con sus respectivas medidas.



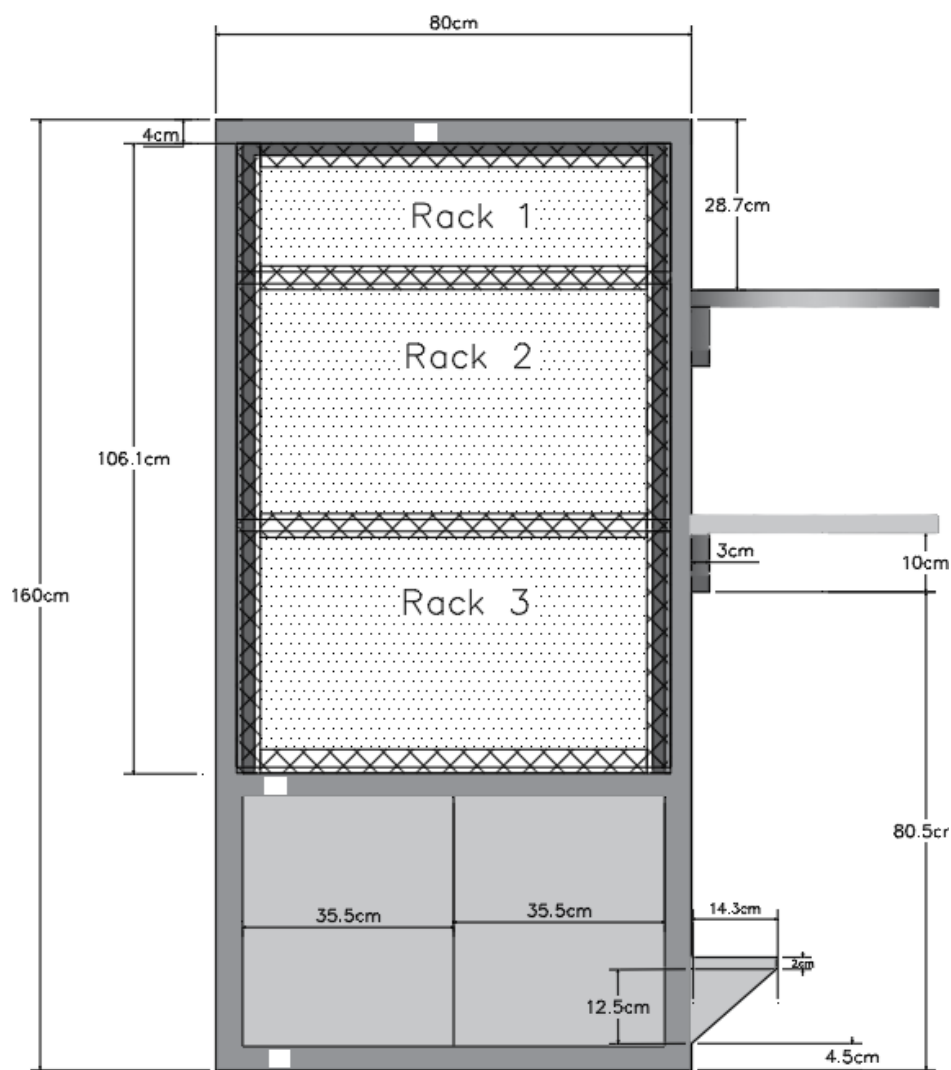
*Figura 12.* Vista posterior del Armario metálico

### 3.3 Diseño de los Racks

Para el diseño de los racks se debe definir los equipos a instalarse, las características de cada elemento y la distribución respectiva. También se debe tener en cuenta las secciones tanto de protecciones, control, visualización y comunicación.



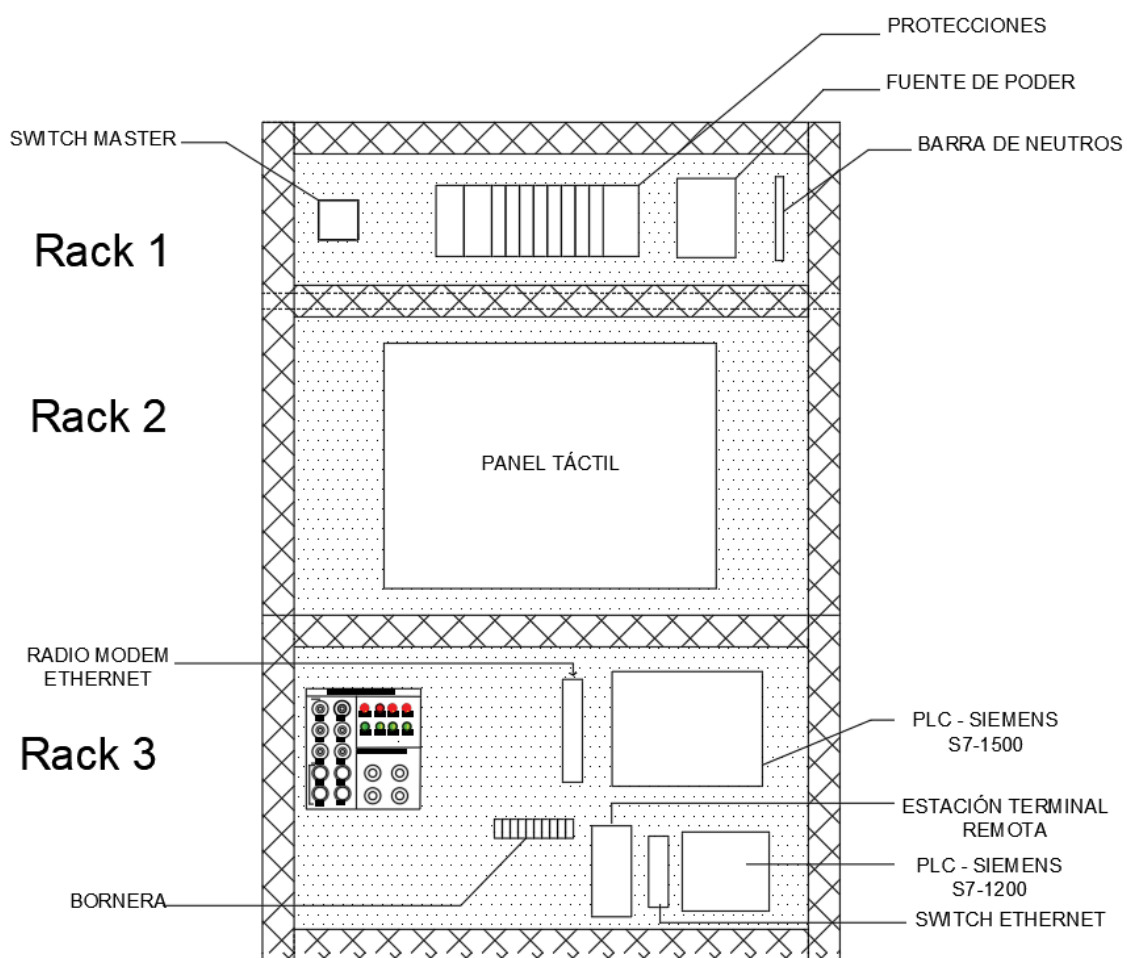
Se establece un diseño que cuente con tres racks. En la figura 13, se observa la distribución general de los racks en el armario metálico.



*Figura 13.* Distribución de Racks

### 3.3.1 Distribución de Equipos

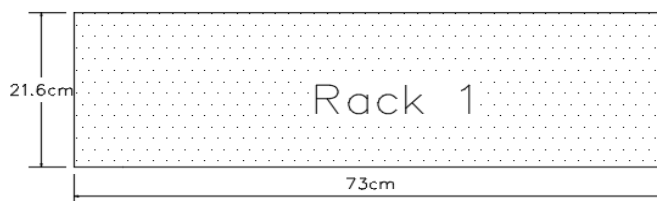
Para la distribución de equipos se debe tomar en cuenta las secciones ya mencionadas. En la figura 14, se observa la distribución general de los equipos dentro de cada rack.



**Figura 14.** Distribución de equipos en los Racks

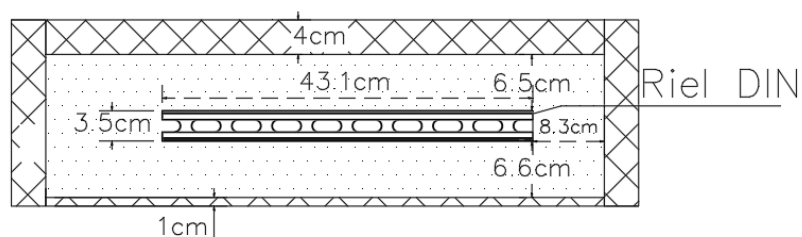
### 3.3.2 Rack 1

En la figura 15 se observa las medidas del rack 1. El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



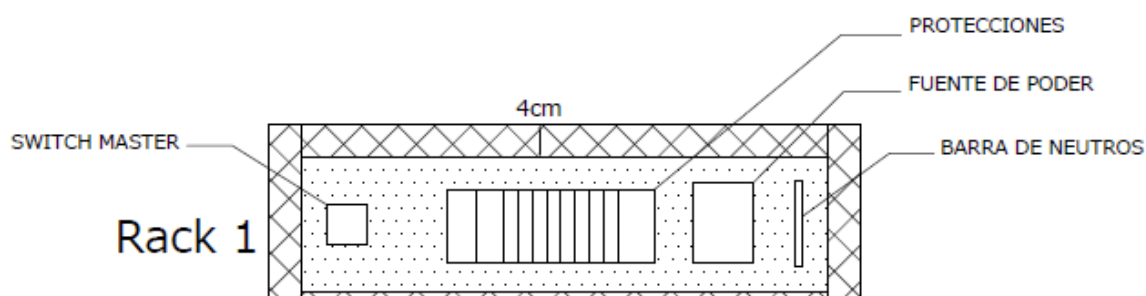
**Figura 15.** Dimensiones del Rack 1

En la figura 16, se observa el elemento de fijación para las protecciones, este elemento es una Riel Din de 3.5 cm de ancho y 43.1 cm de largo.



**Figura 16.** Elementos de fijación para el Rack 1

En la figura 17, se observa la distribución de los elementos de fuerza y protección.



**Figura 17.** Distribución de elementos

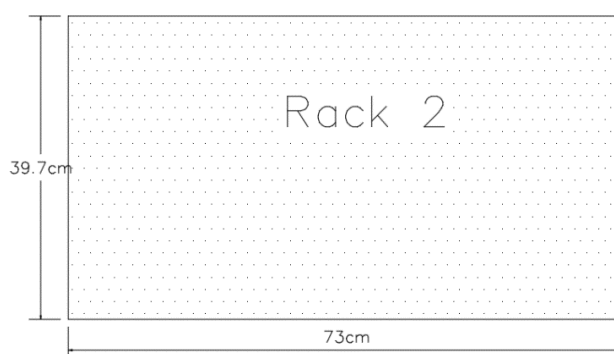
En la tabla 9, se especifica los equipos y elementos que conforman el rack 1 considerando el tipo de sujeción.

**Tabla 9**  
*Elementos del rack 1*

Elementos	Sujeción
Switch master	Empotrado
Protección termo-magnética	Riel Din
Barra de neutros	Empotrado
Fuente de poder	Riel Din

### 3.3.3 Rack 2

En la figura 18 se observa las medidas del rack 2 El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



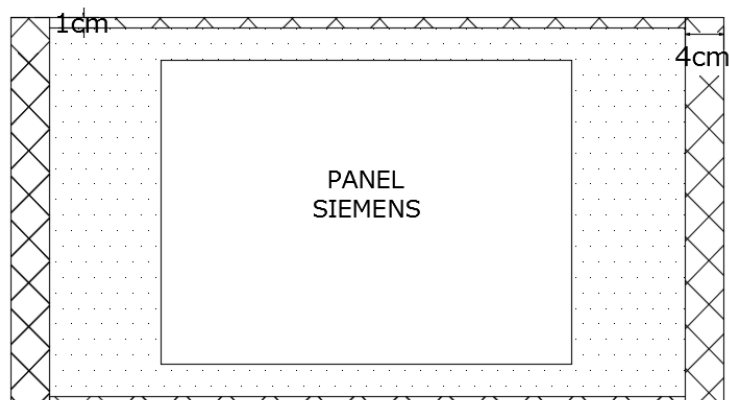
**Figura 18.** Dimensiones del Rack 2

En la figura 19, se observa la sección vacía la cual será usada para el empotramiento del panel táctil TP 1500 Comfort, teniendo en cuenta las medidas de corte.



**Figura 19.** Sección vacía para panel táctil

En la figura 20, se observa el panel táctil Siemens el cual se empotrará en la sección vacía. Debido a las medidas del panel táctil se instalará en un solo rack.



**Figura 20.** Distribución de elementos

En la tabla 10, se especifica el equipo conforman el rack 2 considerando el tipo de sujeción.

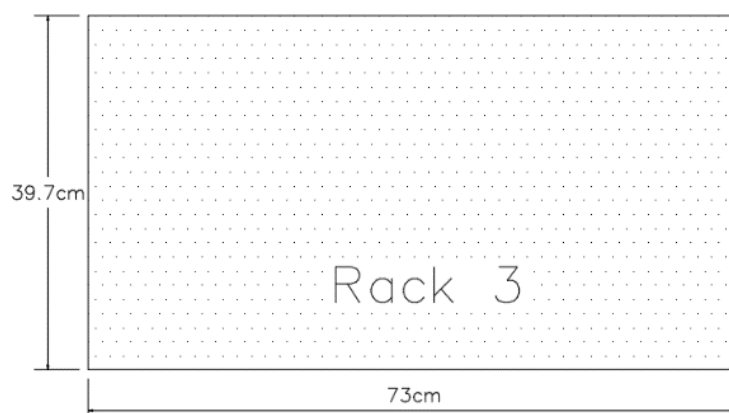
**Tabla 10**

*Elementos del rack 2*

Elementos	Sujeción
Panel Tactil Siemens	Empotrado

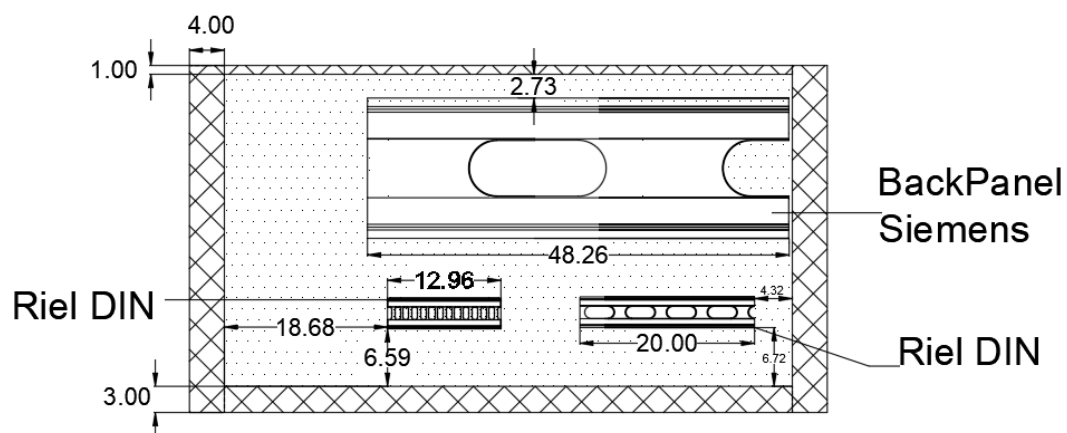
### 3.3.4 Rack 3

En la figura 21 se observa las medidas del rack 3. El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



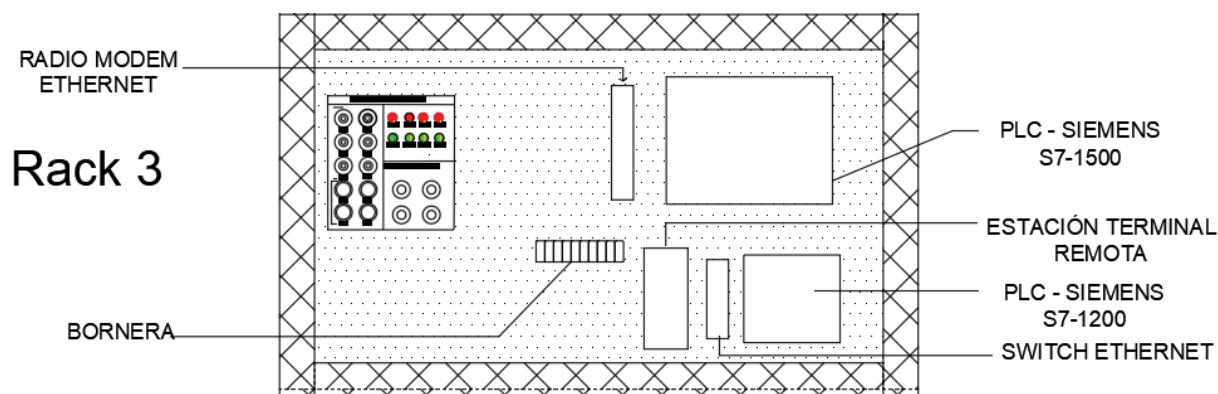
**Figura 21.** Dimensiones del Rack 3

En la figura 22, se observa los elementos de fijación para los equipos de control y comunicación, los cuales están compuestos por Riel Din y un BackPanel.



**Figura 22.** Elementos de fijación para el Rack 3

En la figura 23, se observa la distribución de los equipos y elementos del rack 3, considerando las medidas de dichos equipos.



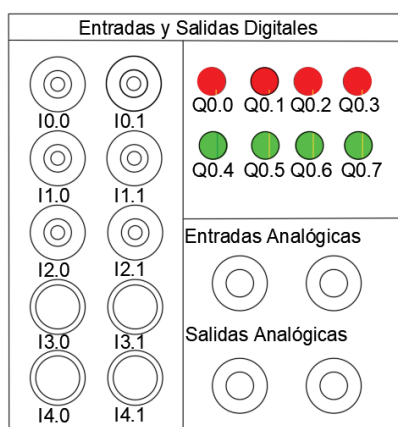
**Figura 23.** Distribución de elementos

En la tabla 11, se especifica los equipos y elementos que conforman el rack 3 considerando el tipo de sujeción.

**Tabla 11**  
*Elementos del rack 3*

Elementos	Sujeción
Switch Ethernet	Riel Din
PLC s7-1200	Riel Din
Estación Terminal Remota	Riel Din
PLC s7-1500	Back Panel Siemens
Radio Modem Ethernet	Back Panel Siemens
Panel de Operación	Empotrado

En la figura 24, se observa el panel de operación el cual va conectado a los módulos de entrada y salida del PLC.



**Figura 24.** Panel de operación

En la tabla 12, se especifica las características del panel de operación

**Tabla 12**  
*Características del panel de operación*

Elementos	Características
Interruptores tipo palanca	Material: metálico Diámetro: 1 cm Norma: IEC 60947

**CONTINÚA**



<b>Pulsadores</b>	<b>Material: plástico</b> <b>Diámetro: 1 cm</b> <b>Norma: IEC 60204</b>
<b>Luz piloto</b>	Color: rojo/verde Diámetro: 16 mm Voltaje: 16v-24v
<b>Plugs</b>	Material: plástico Diámetro: 1 cm Norma: IEC 60529

### 3.4 Requisitos de Diseño del Sistema de Entrenamiento de PLC.

El sistema de entrenamiento de PLC debe cumplir con los siguientes requisitos:

#### 3.4.1 Requisitos de la Estructura

- Construidas con paneles de tol galvanizado de 1.4 mm de espesor.
- Perfiles de tipo C y U para los costados.
- Dimensiones 1,60 [m] de alto – 0.80[m] de ancho, 0.60[m] de profundidad.
- Pintura electrostática en color beige.
- Doble fondo metálico.
- Gabeta con dos puertas abisagradas con cerradura.
- Par de cuatro ruedas de 4 pulgadas de diámetro de uso industrial.
- Soporte giratorio para monitor conformado por un anclaje giratorio pivotante y una base abatible para anclar un monitor de 17 pulgadas.
- Soporte giratorio para teclado conformado por un anclaje giratorio pivotante y una bandeja rectangular para sobreponer un teclado y un mouse de computador.
- Incluye una bandeja fija con su respectiva base de soporte para sobreponer un CPU.

#### 3.4.2 Requisitos de Protección Eléctrica

- Protecciones termo magnéticas para equipos electrónicos



- Barra de neutro
- Switch master

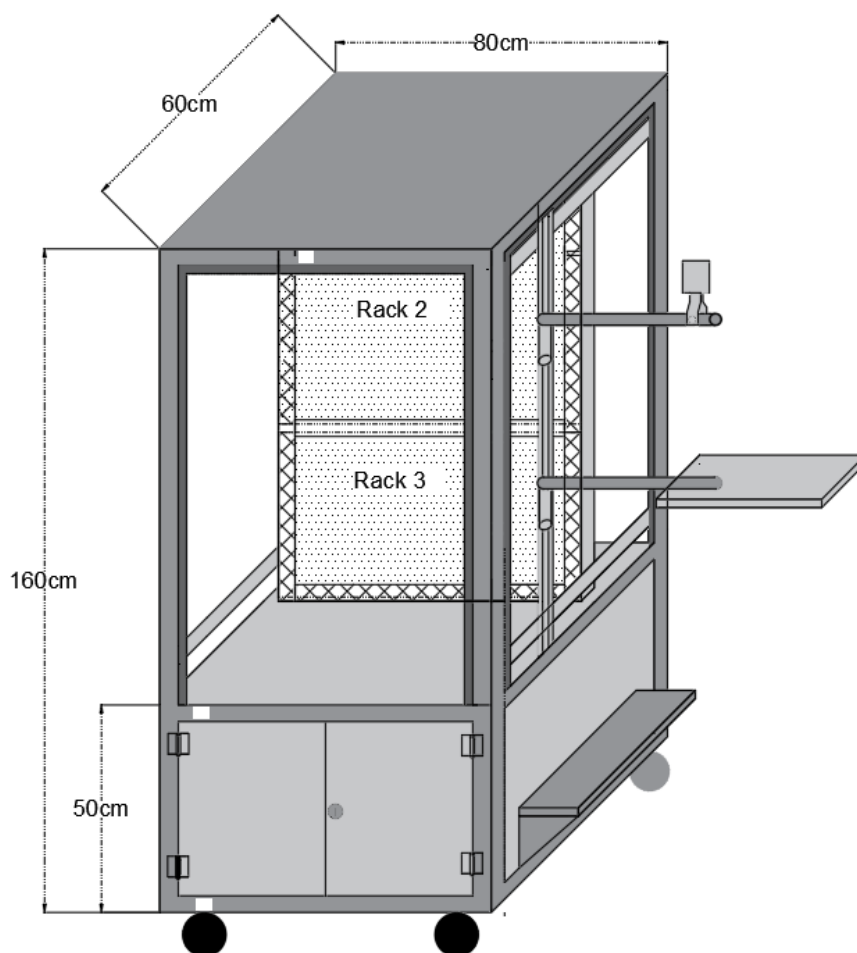
### **3.4.3 Equipos a Instalarse**

- Fuente de poder AB 24V
- Panel Táctil
- PLC Modicon
- Switch Ethernet
- Luces piloto color rojo/verde
- Interruptores ON/OFF tipo ojo de cangrejo
- Conectores Jack banana
- Pulsadores

## **3.5 Diseño de la estructura del Sistema de Entrenamiento de PLC**

### **3.5.1 Planos 3D**

En la figura 25, se observa el plano 3D de la estructura del sistema de entrenamiento con sus respectivas medidas, este plano cuenta con una vista general del módulo completo, teniendo en cuenta los accesorios que se implementó en el módulo como son los tres racks, las ruedas, los brazos para el monitor y teclado, la bandeja para el CPU y una gabeta con sus respectivas cerradura y bisagras



**Figura 25.** Vista 3D de la estructura del sistema de entrenamiento

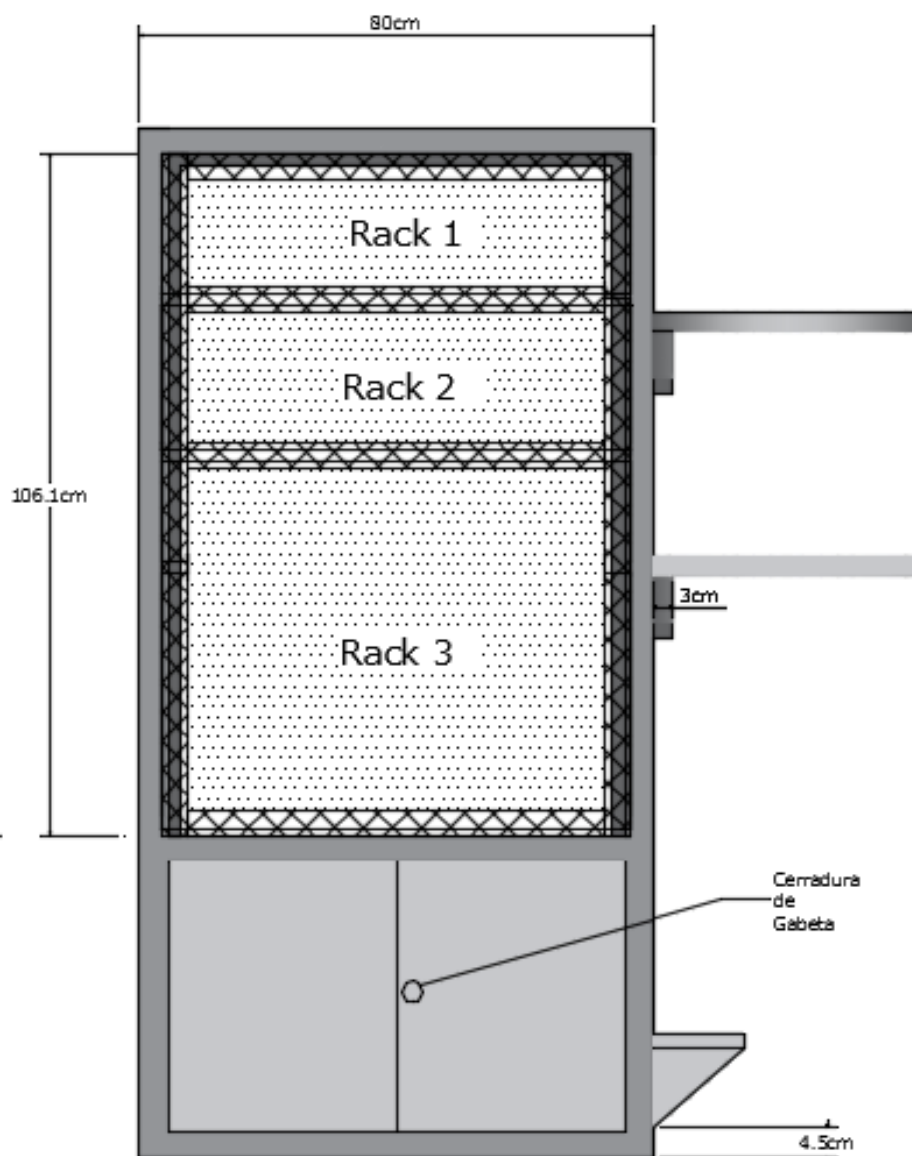
Las medidas del armario metálico se detallan en la tabla 13. Para la vista frontal del armario metálico se la puede observar en la figura 9, la vista lateral izquierda del armario metálico se la puede observar en la figura 10, vista lateral derecha del armario metálico se la puede observar en la figura 11 y la vista posterior del armario metálico se la puede observar en la figura 12.

**Tabla 13**  
*Medidas generales de la estructura metálica*

	<b>Altura</b>	<b>Ancho</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Estructura metálica</b>	160 cm	80 cm	60 cm

### 3.6 Diseño de racks del Sistema de Entrenamiento de PLC

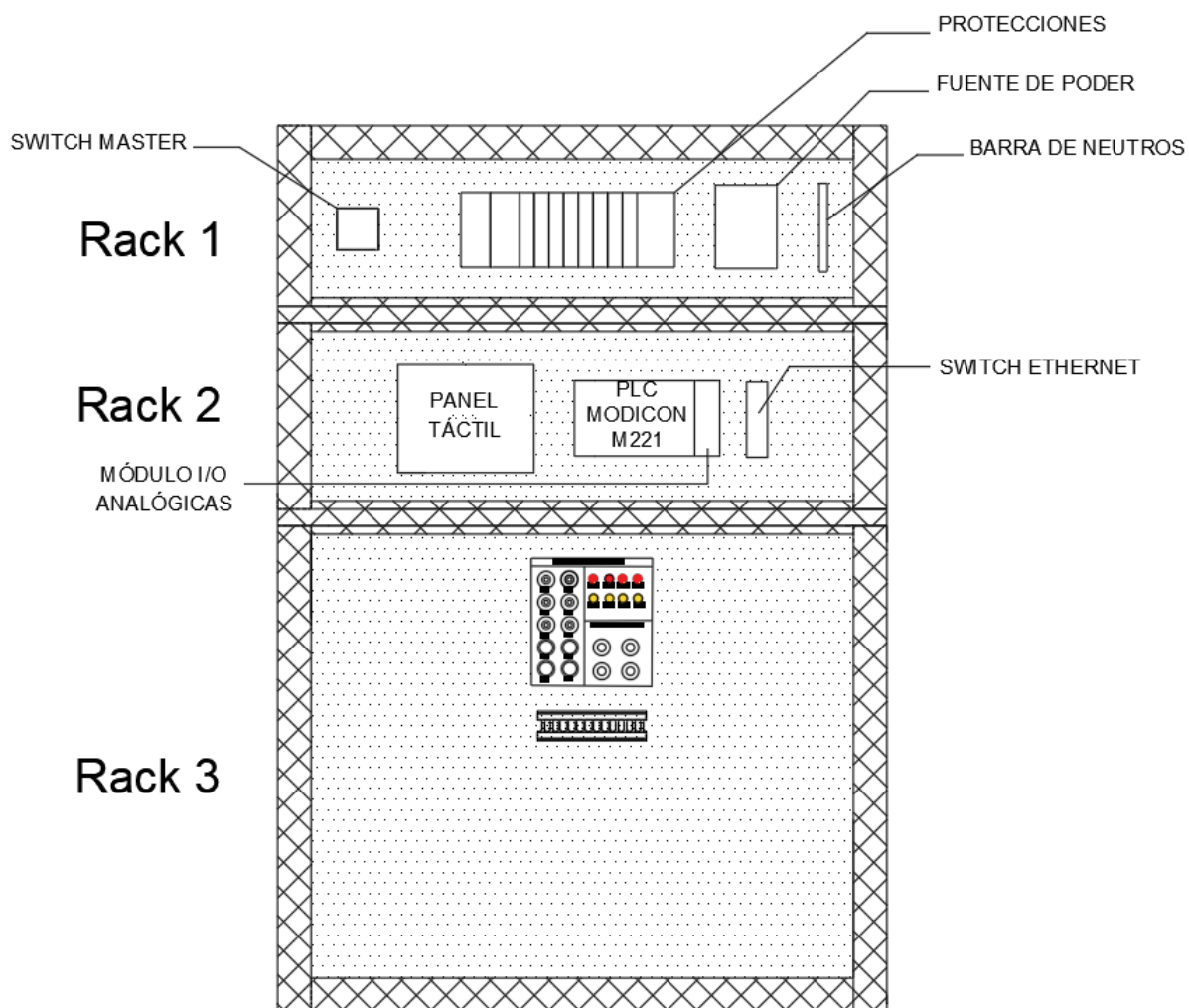
Para el diseño de los racks se debe definir los equipos a instalarse, las características de cada elemento y la distribución respectiva. También se debe tener en cuenta las secciones tanto de protecciones, control, visualización y comunicación. Se establece un diseño que cuente con tres racks. En la figura 26, se observa la distribución general de los racks en el armario metálico.



*Figura 26.* Distribución de Racks

### 3.6.1 Distribución de equipos

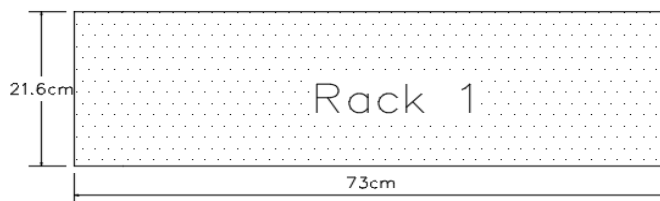
Para la distribución de equipos se debe tomar en cuenta las secciones ya mencionadas. En la figura 27, se observa la distribución general de los equipos dentro de cada rack.



*Figura 27.* Distribución de equipos en los Racks

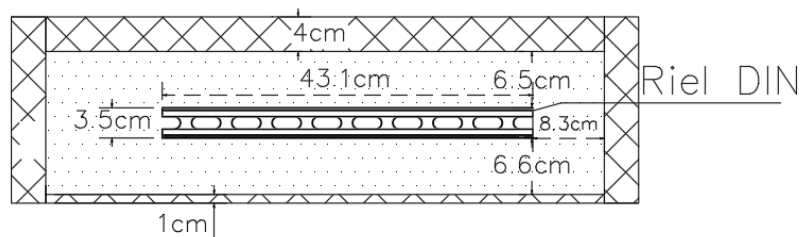
### 3.6.2 Rack 1

En la figura 28, se observa las medidas del rack 1. El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



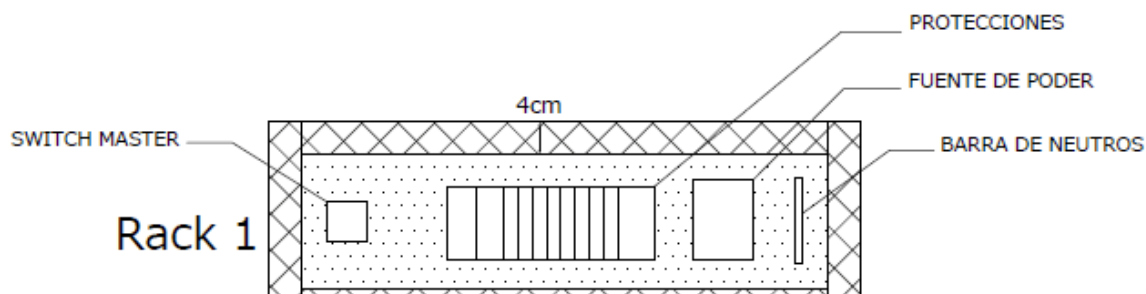
**Figura 28.** Dimensiones del Rack 1

En la figura 29, se observa el elemento de fijación para las protecciones, este elemento es una Riel Din de 3.5 cm de ancho 43.1 cm de largo



**Figura 29.** Elementos de fijación para el Rack 1

En la figura 30, se observa la distribución de elementos de fuerza y protección.



**Figura 30.** Distribución de elementos

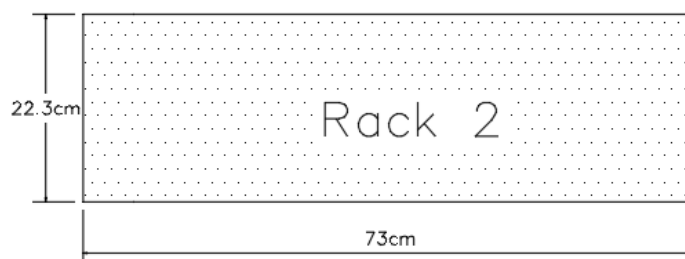
En la tabla 14, se especifica los equipos y elementos que conforman el rack 1 considerando el tipo de sujeción.

**Tabla 14**  
*Elementos del rack 1*

Elementos	Sujeción
Switch master	Empotrado
Protección termo-magnética	Riel Din
Barra de neutros	Empotrado
Fuente de poder	Riel Din

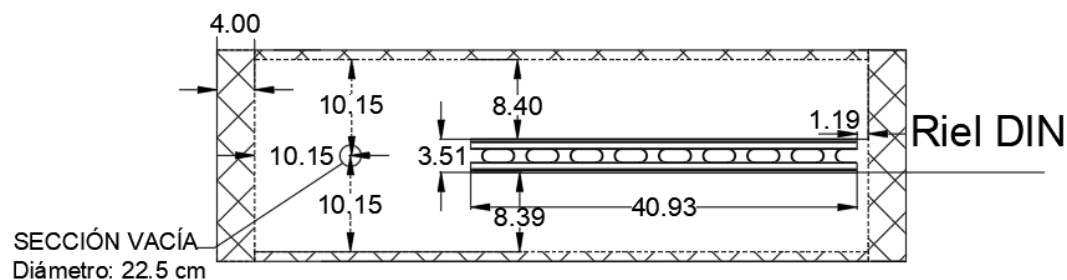
### 3.6.3 Rack 2

En la figura 31, se observa las medidas del rack 2. El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



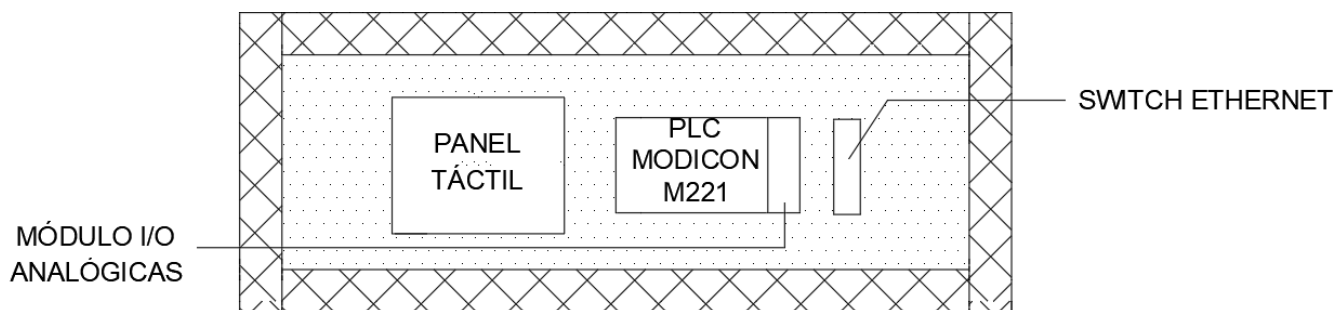
**Figura 31.** Dimensiones del Rack 2

En la figura 32, se observa los elementos de fijación para los equipos de control y la sección vacía para el panel táctil.



**Figura 32.** Elementos de fijación y sección vacía

En la figura 33, se observa la distribución de equipos de control y la pantalla táctil, dentro del rack 2.



**Figura 33.** Distribución de elementos

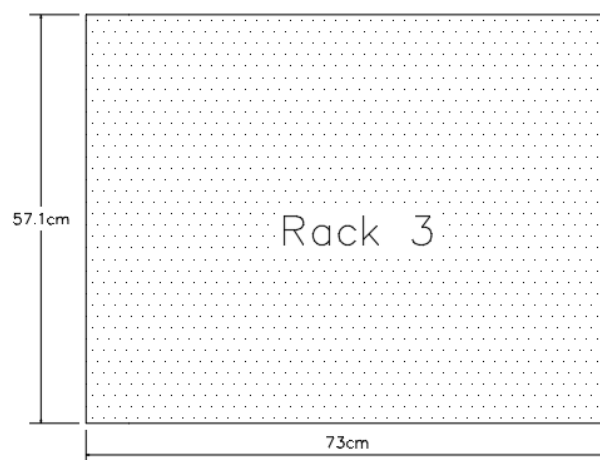
En la tabla 15, se especifica los equipos que conforman el rack 2, considerando el tipo de sujeción.

**Tabla 15**  
*Elementos del rack 2*

Elementos	Sujeción
Panel Táctil	Empotrado
PLC Modicon M241	Riel Din
Switch Ethernet	Riel Din

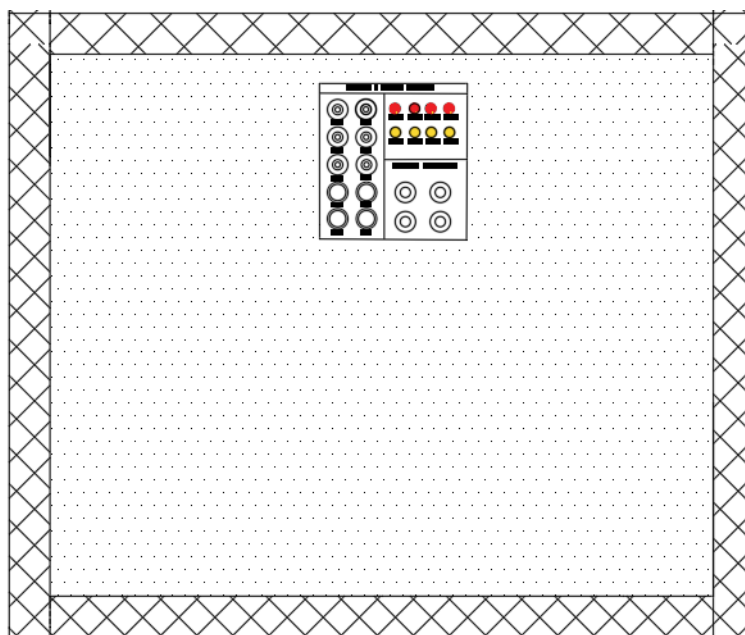
### 3.6.4 Rack 3

En la figura 34, se observa las medidas del rack 3. El material del rack que se utilizará es tol galvanizado de 1.4mm.



**Figura 34.** Dimensiones del Rack 3

En la figura 35, se observa el panel de operación, que corresponde a las entradas y salidas del PLC Modicon M241



**Figura 35.** Distribución de elementos.

En la tabla 16, se especifica los elementos que conforman el rack 3, considerando el tipo de sujeción.



**Tabla 16**  
*Elementos del rack 3*

Elementos	Sujeción
Panel de Operación	Empotrado

En la figura 24, se observa el panel de operación el cual va conectado a los módulos de entrada y salida del PLC.

### 3.7 Dimensionamiento de Protecciones del Sistema de Redes Industriales

#### 3.7.1 Cálculo de Corrientes de Equipos de Señalización y Mando

Para dimensionar la protección de los equipos de señalización y mando se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 2W$  (por cada luz piloto)
- $I_L =$  corriente por luz piloto
- $I_T =$  Corriente total

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{2 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 0.083 [A]$$

El número total de las luces pilotos es 8 por lo tanto, la corriente total que consume es:

$$I_T = 8 * I_L$$

$$I_T = 8 * 0.083 [A]$$

$$I_T = 0.664[A]$$

La protección que se debe colocar para mando y señalización es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.7.2 Cálculo de Corrientes de PLC Siemens S7-1500

Para dimensionar la protección del PLC Siemens S7-1500 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 120 Vac$
- $P = 190W$
- $I_L = corriente de línea$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{190 [w]}{120 [v]}$$

$$I_L = 1.586 [A]$$

La protección que se debe colocar para el PLC Siemens S7-1500 es un breaker de un polo de 2A (amperio).

### 3.7.3 Cálculo de Corrientes de PLC Siemens S7-1200

Para dimensionar la protección del PLC Siemens S7-1200 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 120 \text{ Vac}$
- $P = 36 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{12 [w]}{120 [v]}$$

$$I_L = 300m [A]$$

La protección que se debe colocar para el PLC Siemens S7-1200 es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.7.4 Cálculo de Corrientes de Panel Táctil Siemens TP 1500 Confort

Para dimensionar la protección del panel táctil Siemens TP 1500 Confort se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 36 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{36 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 1.5 [A]$$

La protección que se debe colocar para el panel táctil TP 1500 es un breaker de un polo de 2A (amperio).

### 3.7.5 Cálculo de Corrientes de la Periferia Descentralizada Siemens Simatic ET 200SP

Para dimensionar la protección de la periferia descentralizada Siemens Simatic ET 200sp con sus módulos de entrada y salida se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 43.2 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{43.2 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 1.8 [A]$$

La protección que se debe colocar para la periferia descentralizada Siemens Simatic ET 200sp es un breaker de un polo de 2A (amperio).

### 3.7.6 Cálculo de Corrientes del Radio Modem Siemens Scalance W700

Para dimensionar la protección del Siemens Scalance W700 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 Vdc$
- $P = 6 W$
- $I_L = corriente de línea$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{6 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 250m [A]$$

La protección que se debe colocar para el Scalance W700 es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.7.7 Cálculo de Corrientes del Switch Ethernet Scalance X208

Para dimensionar la protección del Scalance X208 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 4.45 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{4.45 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 185m [A]$$

La protección que se debe colocar para el Scalance X208 es un breaker de un polo de 1A (amperio).

Evaluando los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las hojas técnicas de cada equipo de control y comunicación del sistema de entrenamiento de Redes Industriales, a continuación, se presenta una la tabla 17, donde se detalle la protección para cada equipo.

**Tabla 17***Protecciones del sistema de entrenamiento de Redes Industriales*

<b>Equipo</b>	<b>Protección</b>
<b>Fuente de 24Vdc – 3.3 A</b>	1 Breaker 2 polos, 10 A
<b>PLC Siemens S7-1500</b>	1 Breaker 1 polo, 2 A
<b>PLC Siemens S7-1200</b>	1 Breaker 1 polo, 2 A
<b>Panel Táctil TP 1500</b>	1 Breaker 1 polo, 1 A
<b>Radio Modem Scalance W700</b>	1 Breaker 1 polo, 1 A
<b>Switch Scalance X208</b>	1 Breaker 1 polo, 1 A
<b>Periferia Descentralizada ET 200sp</b>	1 Breaker 1 polo, 2 A
<b>Señalización y Mando</b>	1 Breaker 1 polo, 1 A

### 3.8 Dimensionamiento de Protecciones del Sistema de entrenamiento de PLC

#### 3.8.1 Cálculo de Corrientes de Equipos de Señalización y Mando

Para dimensionar la protección de los equipos de señalización y mando se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 2W$  (por cada luz piloto)
- $I_L =$  corriente por luz piloto
- $I_T =$  Corriente total

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{2 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 0.083 [A]$$

El número total de las luces pilotos es 8 por lo tanto, la corriente total que consume es:

$$I_T = 8 * I_L$$

$$I_T = 8 * 0.083 [A]$$

$$I_T = 0.664[A]$$

La protección que se debe colocar para mando y señalización es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.8.2 Cálculo de Corrientes de PLC Schneider M241

Para dimensionar la protección del PLC Scheneider M241 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 100 Vac$
- $P = 78W$
- $I_L = corriente de línea$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{78 [w]}{100 [v]}$$

$$I_L = 780m [A]$$



La protección que se debe colocar para el PLC Scheneider M241 es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.8.3 Cálculo de Corrientes de Panel Táctil HMISTU855

Para dimensionar la protección del HMISTU855 se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ V Dc}$
- $P = 6.8 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{6.8 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 283m [A]$$

La protección que se debe colocar para el HMISTU855 es un breaker de un polo de 1A (amperio).

### 3.8.4 Cálculo de Corrientes del Switch Ethernet TCSESU053FNO

Para dimensionar la protección del TCSESU053FNO se debe tomar en cuenta los valores de voltaje y potencia como se muestra a continuación.

Datos:

- $V = 24 \text{ Vdc}$
- $P = 2.4 \text{ W}$
- $I_L = \text{corriente de línea}$

Se considera la siguiente fórmula:

$$I_L = \frac{P[w]}{V[v]}$$

$$I_L = \frac{2.4 [w]}{24 [v]}$$

$$I_L = 100m [A]$$

La protección que se debe colocar para el TCSESU053FNO es un breaker de un polo de 1A (amperio).

Evaluando los resultados obtenidos y teniendo en cuenta las hojas técnicas de cada equipo de control del sistema de entrenamiento de PLC, a continuación, se presenta la tabla 18, donde se detalle las protecciones para cada equipo.

**Tabla 18**

*Protecciones para cada equipo del sistema de entrenamiento de PLC*

<b>Equipo</b>	<b>Protección</b>
<b>Fuente de 24Vdc – 3.3 A</b>	1 Braker 2 polos, 10 A
<b>PLC Schneider M241</b>	1 Braker 1 polo, 2 A
<b>Panel Táctil HMISTU855</b>	1 Braker 1 polo, 1 A
<b>Switch Scalance TCSESU053FNO</b>	1 Braker 1 polo, 1 A
<b>Señalización y Mando</b>	1 Braker 1 polo, 1 A

### 3.9 Conductor para conexión de equipos de control, mando y señalización

Para la elección del calibre del cable conductor, se basa en los cálculos de consumo de corriente de cada equipo que fue mencionado anteriormente, para ello se decide utilizar el cable de calibre 16AWG, que se especifica en la tabla 19.

**Tabla 19**

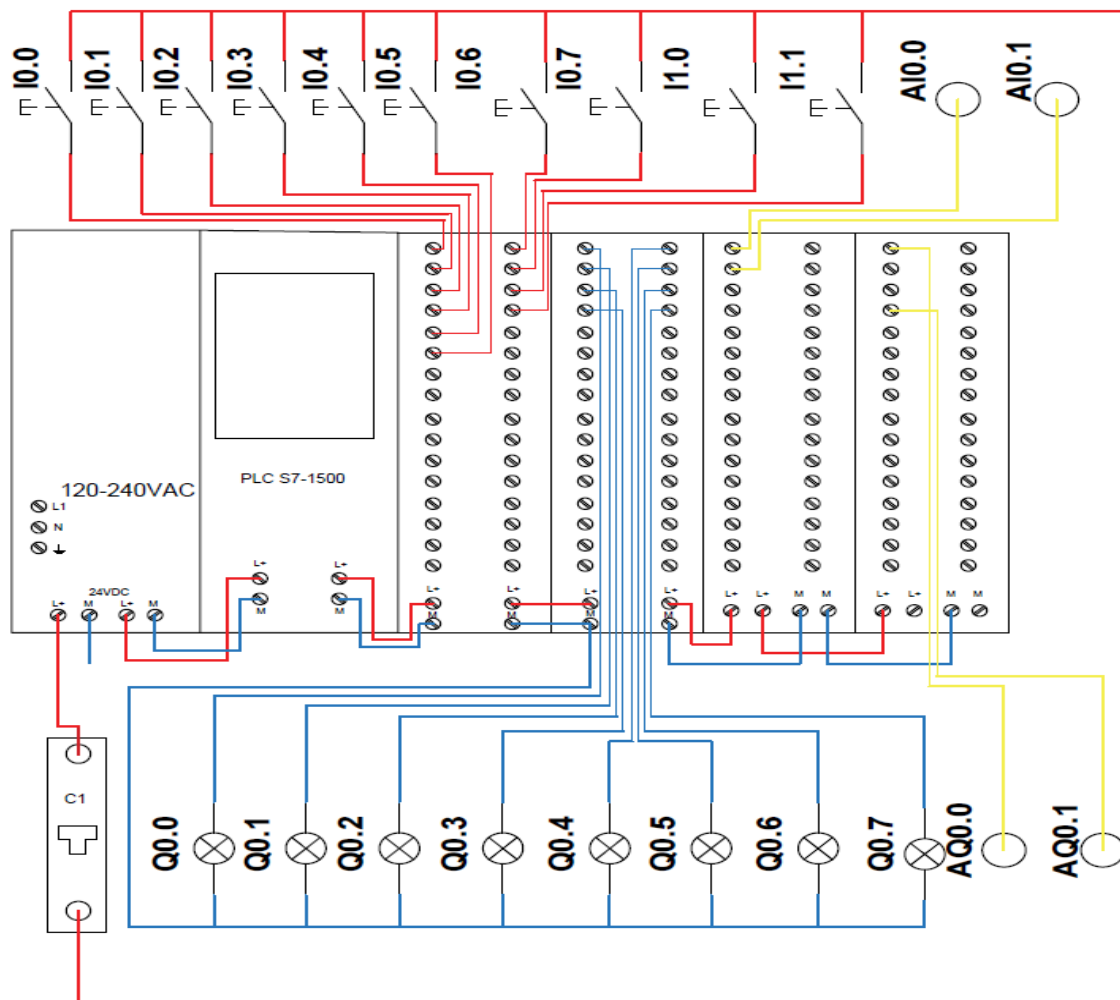
*Elección de cable conductor para conexión de equipos*

AWG	Diámetro mm	Ohms/100 m	Máxima Corriente
11	2.30	0.47	12
12	2.05	0.67	9.3
13	1.83	0.85	7.4
14	1.63	1.07	5.9
15	1.45	1.35	4.7
<b>16</b>	<b>1.29</b>	<b>1.48</b>	<b>3.7</b>
18	1.024	2.04	2.3

Fuente: (Powergreen, 2015)

### 3.10 Interconexión del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales

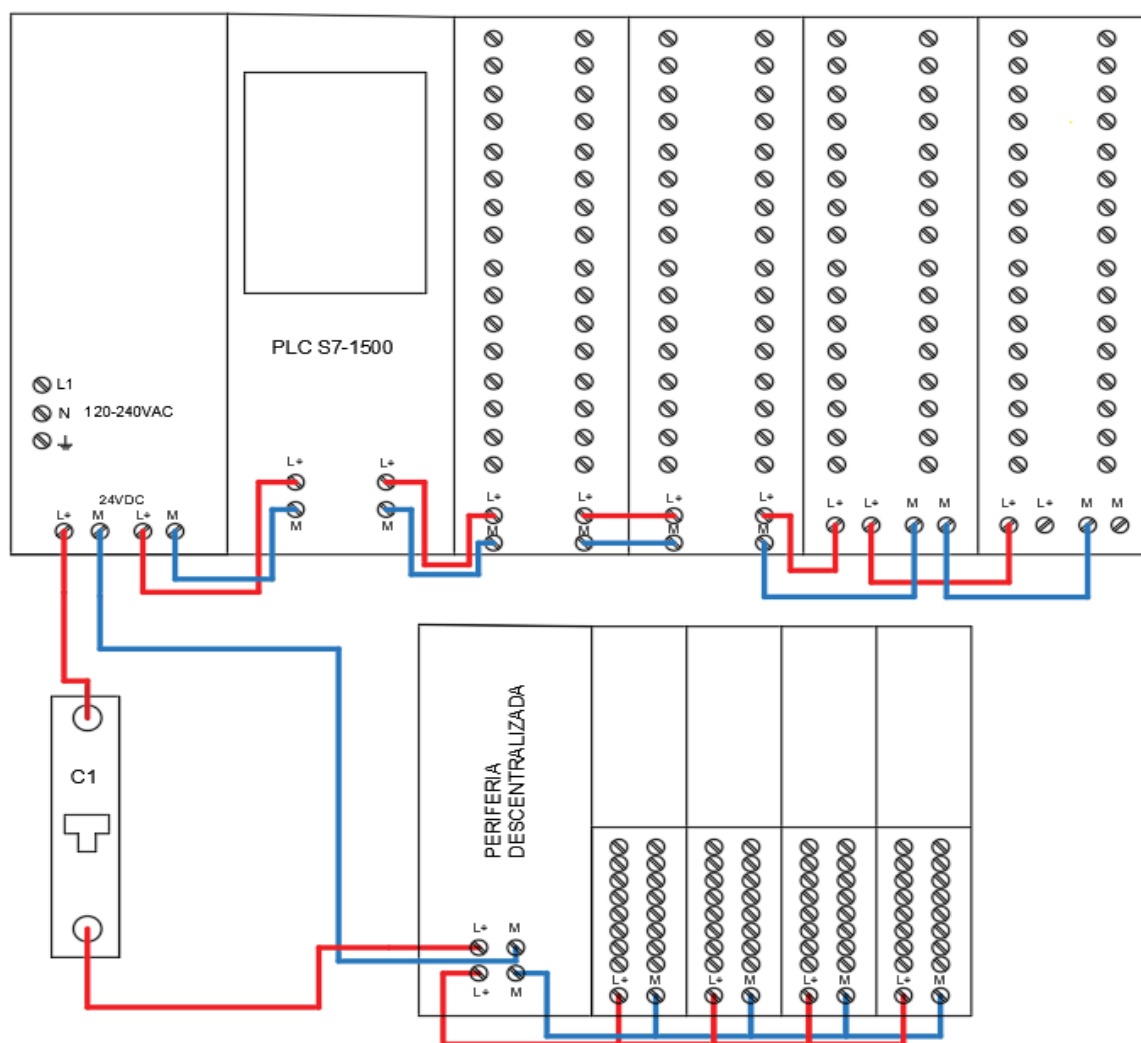
La interconexión completa de equipos se encuentra en el anexo 1, en la figura 36 se observa la conexión de los interruptores, botones y las luces piloto al PLC Siemens S7-1500, considerando la alimentación de cada elemento de mando y señalización, los cuales están protegidos por breakers para poder preservar su funcionalidad.



**Figura 36.** Alimentación de los elementos de mando y señalización

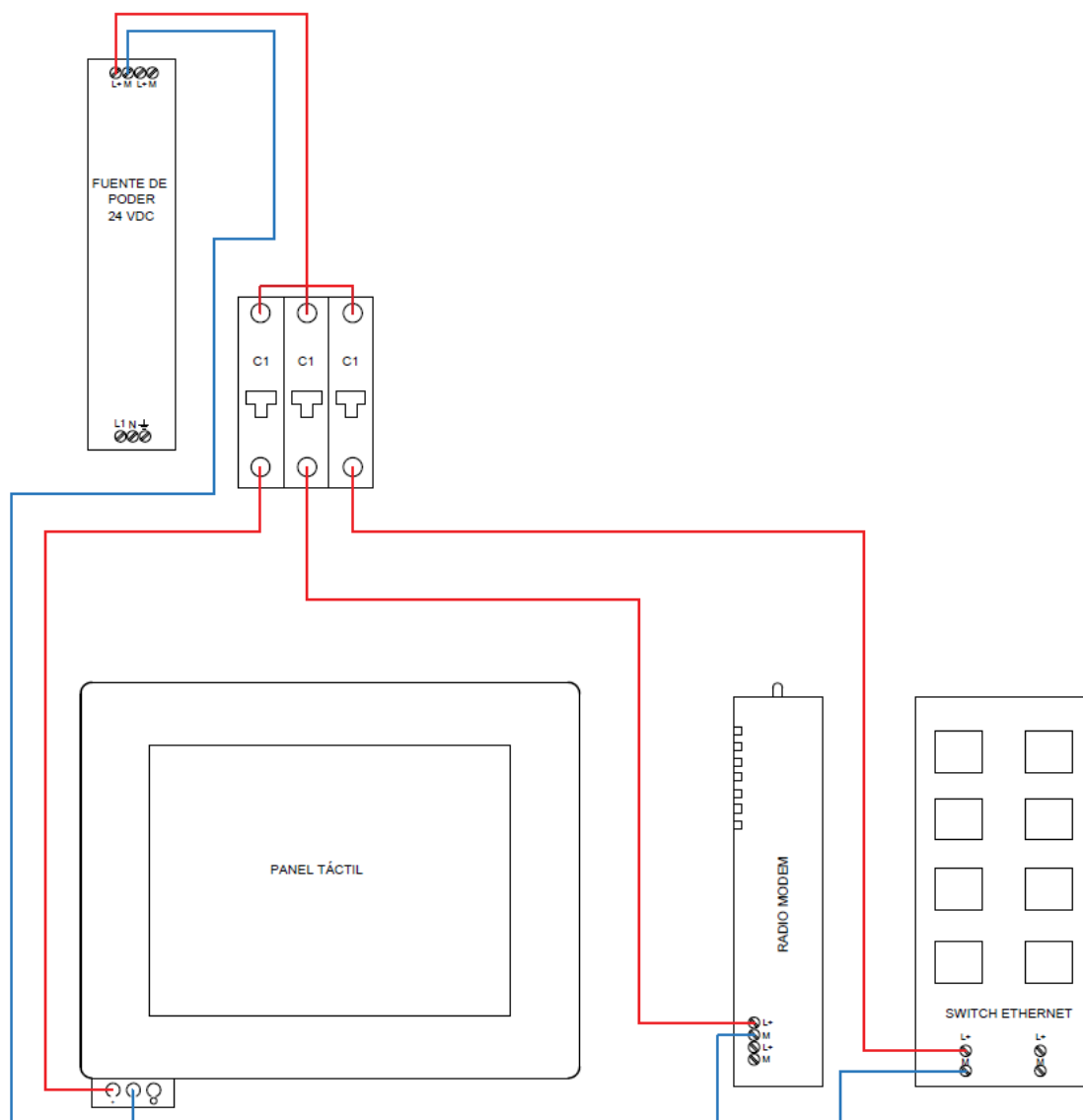
En la figura 36, se observa que la alimentación de 24Vdc que proviene de la fuente del PLC Siemens S7-1500 que se conecta a los elementos de mando por medio de un breaker de un polo, 1A. Con esto se cuida los elementos de mando y las entradas del PLC de sobre corrientes.

En la figura 37, se observa la alimentación de la periferia descentralizada. Esta se alimenta de la fuente de 24Vdc del PLC Siemens S7-1500, el cual se conecta a un breaker de un polo, 1A. Con esto se cuida a la periferia descentralizada de sobre corrientes.



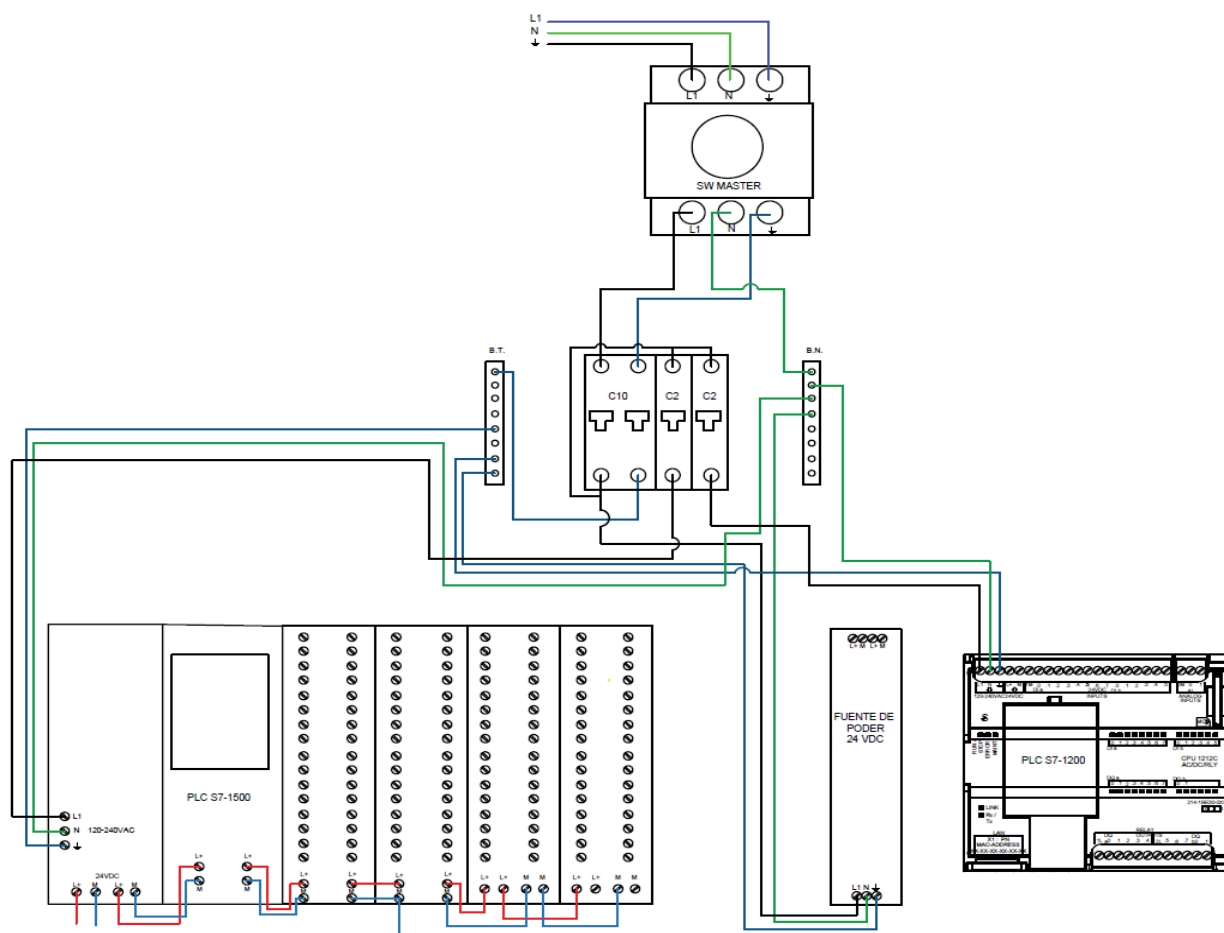
**Figura 37.** Alimentación de la periferia descentralizada

En la figura 38, se observa los equipos que son alimentados por la fuente de 24Vdc independiente, estos equipos están protegidos cada uno por un breaker de un polo, 1A. Los equipos que están conectados a las fuentes son el panel táctil Siemens, el radio modem y switch ethernet.



**Figura 38.** Alimentación del Panel Táctil,  
Radio Modem y Switch Ethernet

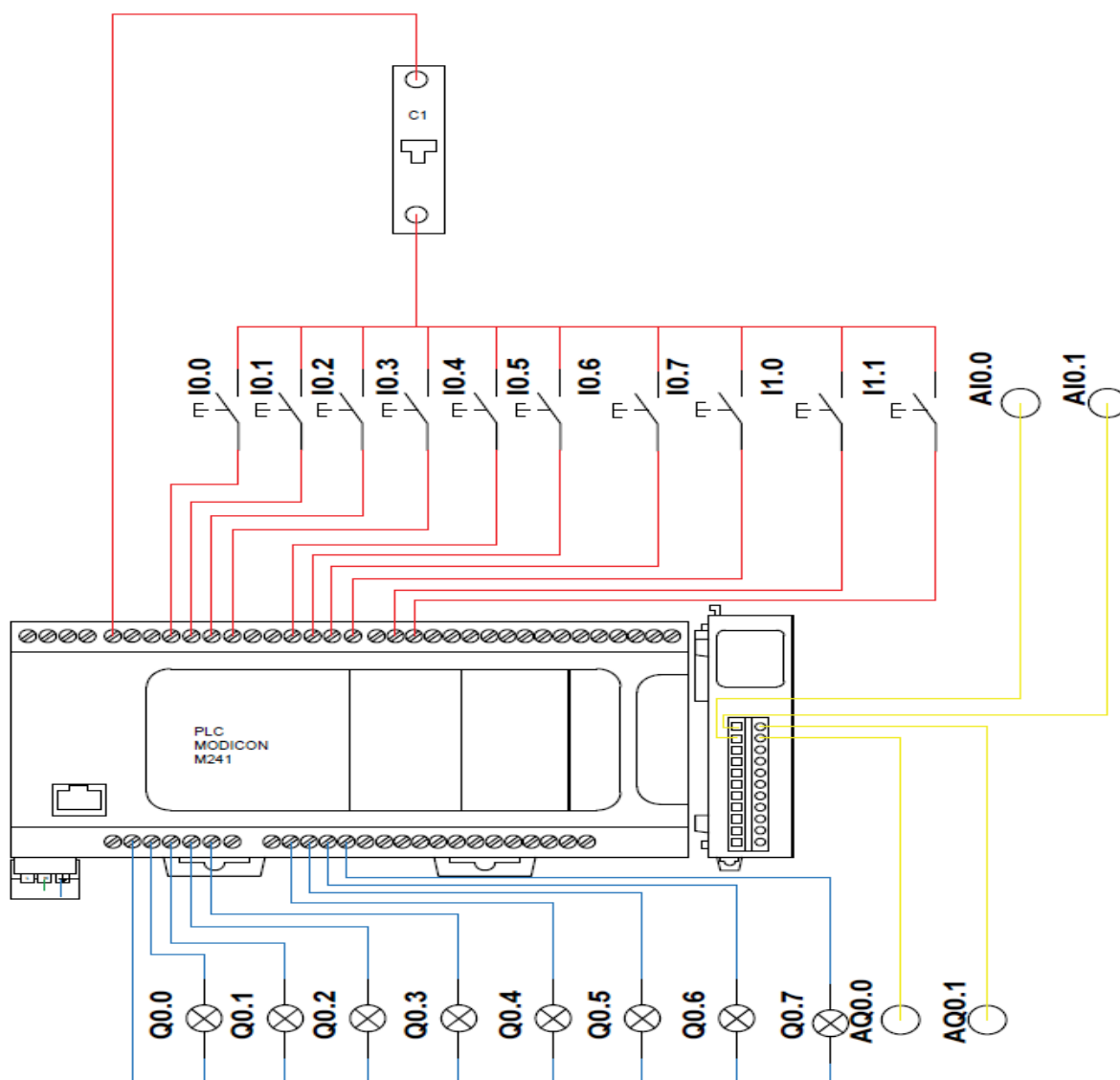
En la figura 39, se observa la conexión de los equipos que operan a 110Vac, estos equipos poseen protecciones de dos polos y un polo, de 10A y 2A respectivamente. Los equipos reciben la alimentación de línea, pasando por un switch master y teniendo una barra de neutro y una barra de tierras. Los equipos son la fuente de 24Vdc, el PLC Siemens S7-1500 y el PLC Siemens S7-1200.



**Figura 39.** Alimentación del PLC Siemens (S7-1500, S7-1200) y Fuente de 24Vdc

### 3.11 Interconexión del Sistema de Entrenamiento de PLC

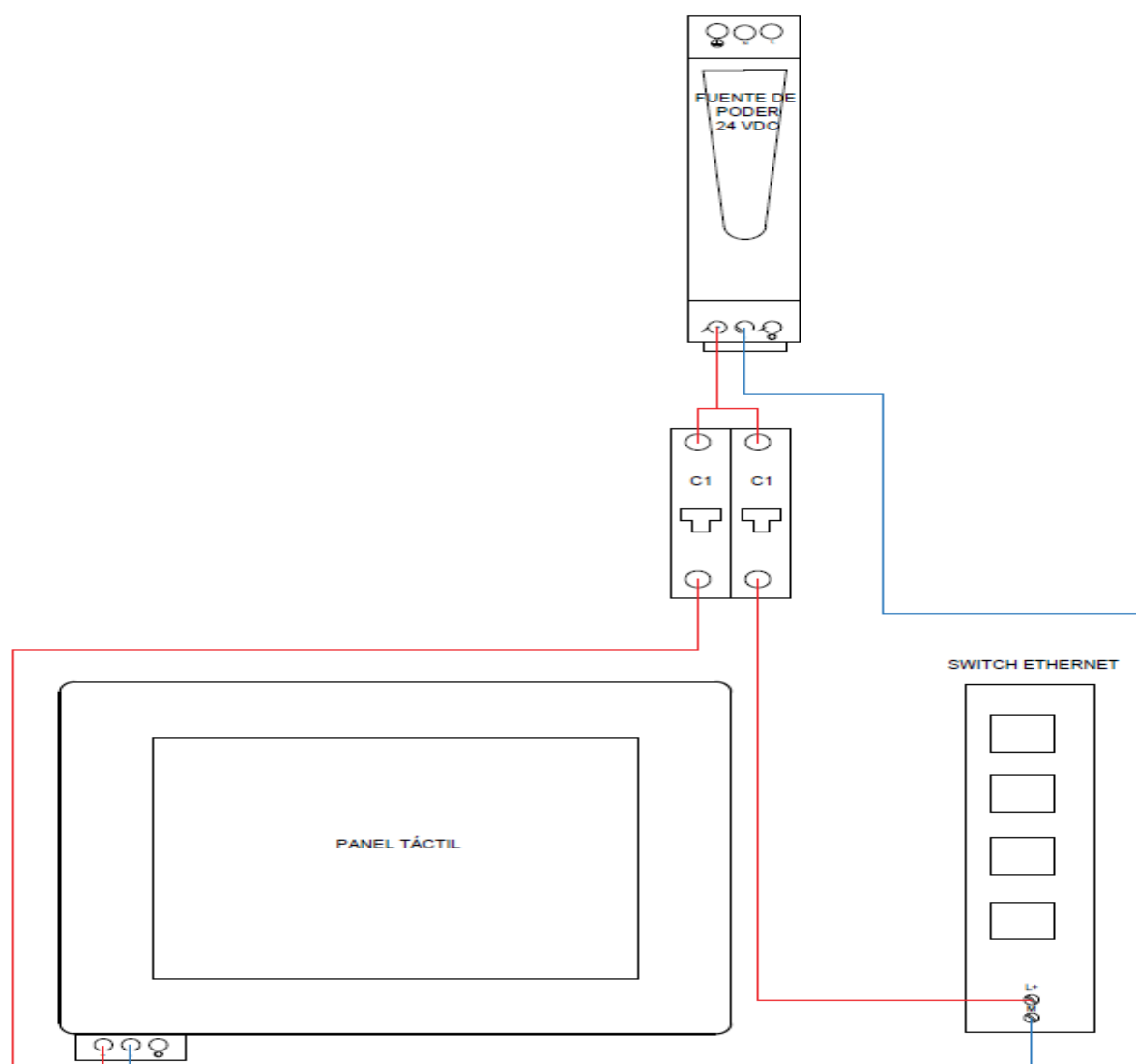
Para la interconexión completa de equipos se encuentra en el anexo 2, en la figura 40, se observa la conexión de los elementos de mando y señalización al PLC Modicon M241, teniendo en cuenta que la alimentación proviene del mismo PLC. La alimentación de 24Vdc proviene de la fuente del PLC que conecta a los elementos de mando por medio de un breaker de un polo, 1A. Con esto se cuida los elementos de mando y las entradas del PLC de sobre corrientes.



**Figura 40.** Alimentación de los elementos de mando y señalización

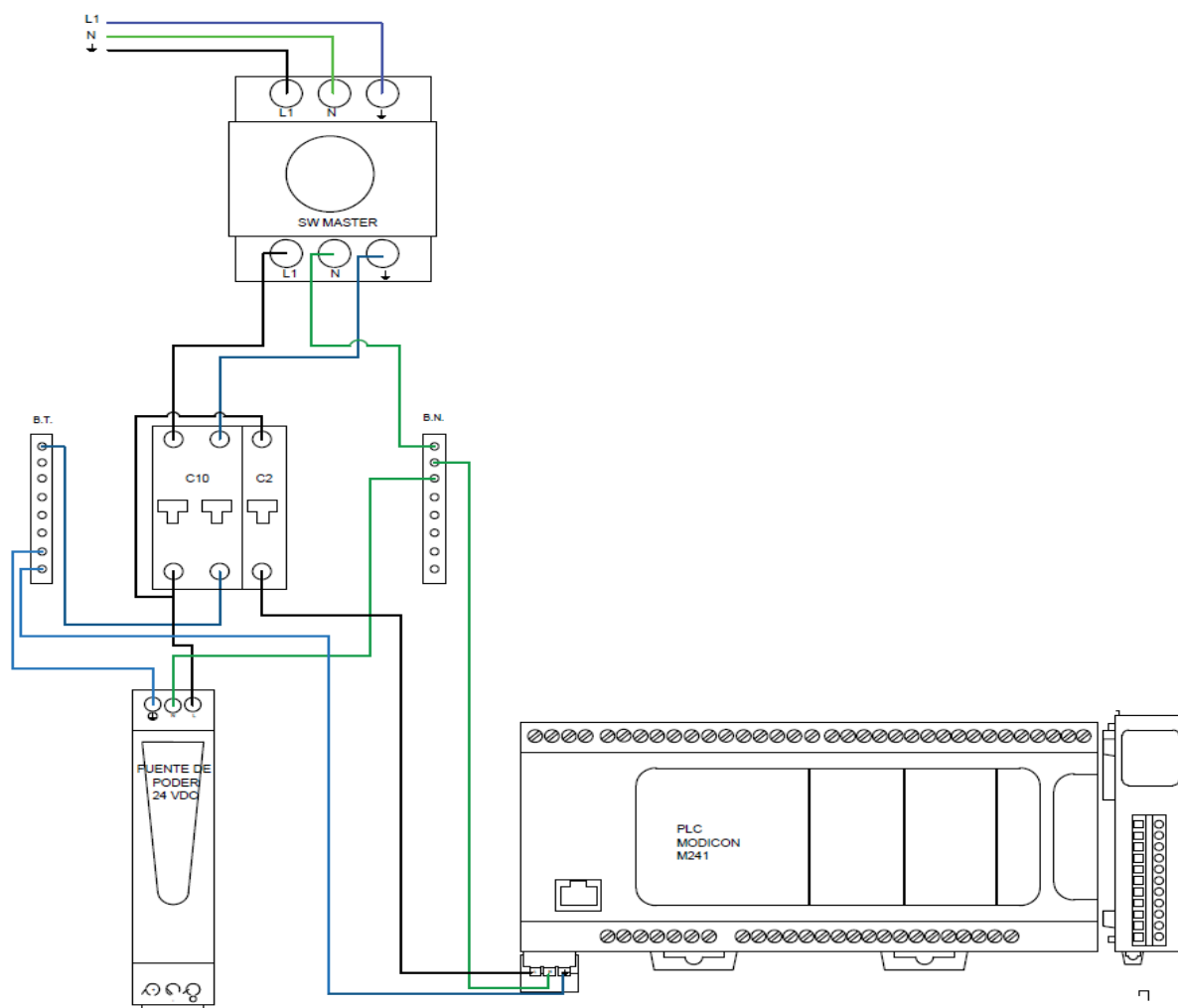
En la figura 41, se observa los equipos que son alimentados por la fuente de 24Vdc independiente, estos equipos están protegidos cada uno por un breaker de un polo, 1A. Los equipos que están conectados a las fuentes son el panel táctil Schneider y switch ethernet.





**Figura 41.** Alimentación del Panel Táctil y Switch Ethernet

En la figura 42, se observa la conexión de los equipos que consumen 110Vac, estos equipos poseen protecciones de dos polos y un polo, de 10A y 2A respectivamente. Los equipos reciben la alimentación de línea eléctrica, pasando por el switch master considerando las barras de neutro y tierra. Los equipos son la fuente de 24Vdc, el PLC Modicon M241



**Figura 42.** Alimentación del PLC Modicon M241 y Fuente de 24Vdc

### 3.12 Especificaciones Técnicas

En las especificaciones técnica se detalla los elementos y equipos que se utiliza para cada sistema de entrenamiento, tomando en cuenta los diseños previos de este capítulo. En el anexo 3 va especificado las hojas de datos técnicos de los equipos.

### 3.12.1 Especificaciones del Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales

En la tabla 20, se detalla la lista de equipos de control, elementos de protección y elementos de mando y señalización que se requiere para la implementación del sistema de entrenamiento de Redes Industriales.

**Tabla 20**

*Lista de equipos para sistema de entrenamiento de Redes Industriales*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Controlador 1</b>	PLC Siemens S7-1500	1
<b>Controlador 2</b>	PLC Siemens S7-1200	1
<b>Periferia descentralizada</b>	Simatic ET 200SP	1
<b>Radio Modem</b>	Scalance W700	1
<b>Switch Ethernet</b>	Scalance X208	1
<b>Panel Táctil</b>	Simatic HMI TP 1500 Comfort	1
<b>Fuente de Poder 24V</b>	1606-XLE Power Supply 3.3A	1
<b>Breaker 10 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 2 Polo – 10A	1
<b>Breaker 2 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 1 Polo – 2A	2
<b>Breaker 1 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 1 Polo – 1A	5
<b>Switch Master</b>	Selector de dos posiciones industrial	1
<b>Barra de Neutro</b>	Barra de Neutro para 12 conexiones	1
<b>Barra de Tierras</b>	Barra de Tierras para 6 conexiones	1
<b>Luces Piloto rojo</b>	Bombilla AC/DC 24V Led rojo	4
<b>Luces Piloto verde</b>	Bombilla AC/DC 24V Led verde	4
<b>Interruptor tipo Palanca</b>	Interruptor ON/OFF	6
<b>Pulsador</b>	Pulsadores NC	4

### 3.12.2 Especificaciones del Sistema de Entrenamiento de PLC

En la tabla 21, se detalla la lista de equipos de control, elementos de protección y elementos de mando y señalización que se requiere para la implementación del sistema de entrenamiento de PLC.

**Tabla 21***Lista de equipos y elementos para sistema de entrenamiento de PLC*

<b>Elemento</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
<b>Controlador 1</b>	PLC Modicon M241	1
<b>Switch Ethernet</b>	ConneXlum Switch 5TX	1
<b>Panel Táctil</b>	Magelis STO & STU	1
<b>Fuente de Poder 24V</b>	Phaseo Power Supply 24V – 3A	1
<b>Breaker 10 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 2 Polo – 10A	1
<b>Breaker 2 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 1 Polo – 2A	1
<b>Breaker 1 AMP</b>	Breaker Termomagnético para Riel Din – 1 Polo – 1A	2
<b>Switch Master</b>	Selector de dos posiciones industrial	1
<b>Barra de Neutro</b>	Barra de Neutro para 12 conexiones	1
<b>Barra de Tierras</b>	Barra de Tierras para 6 conexiones	1
<b>Luces Piloto rojo</b>	Bombilla AC/DC 24V Led rojo	4
<b>Luces Piloto verde</b>	Bombilla AC/DC 24V Led verde	4
<b>Interruptor tipo Palanca</b>	Interruptor ON/OFF	6
<b>Pulsador</b>	Pulsadores NC	4

### 3.13 Guía de laboratorio

La elaboración de prácticas de laboratorio ayuda al aprendizaje académico de todos los estudiantes que toman las asignaturas de PLC y Redes Industriales. Con ello se intenta recrear ámbitos industriales en un sistema de entrenamiento, el cual posee varios equipos industriales.

Las guías de laboratorio están enfocadas en la identificación, configuración, programación, visualización y sincronización de diferentes equipos en red. Las guías de laboratorio se distribuyen en dos grupos:

- Guías de laboratorio para PLC.
- Guías de laboratorio para Redes Industriales.

### **3.14 Guías de Laboratorio para PLC's**

- Guía 1: Instrucciones de Bits 1.
- Guía 2: Instrucciones de Bits 2.
- Guía 3: Contadores.
- Guía 4: Temporizadores
- Guía 5: Registro de reloj/calendario.
- Guía 6: Entradas y salidas analógicas.
- Guía 7: Transferencia de datos.

A continuación, se describe cada guía de laboratorio, teniendo en cuenta que el PLC que se usa es el PLC Modicon M241 y el software a utilizar es el SoMachine.

#### **3.14.1 Práctica 1: Instrucciones de Bits.**

Existen varias instrucciones que permiten el manejo de entradas y salidas discretas de un PLC, estas instrucciones se denominan Instrucciones de Bit, estos manejan un solo bit. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

#### **3.14.2 Práctica 2: Contadores.**

Se utiliza un contador para registrar eventos o impulsos que detecta un PLC, la cuenta puede de forma ascendente y descendente progresivamente. Cada contador cuenta con un reset que permite regresar el contador a su estado inicial, con ello se puede volver a empezar la cuenta ascendente o descendente. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

### **3.14.3 Práctica 3:** Temporizadores.

Los temporizadores permiten poner una cuenta de temporización tanto ascendente como descendente, con ello se puede activar o desactivar salidas del PLC o generar eventos programados. Los temporizadores cuentan con un reset para poder volver la cuenta a su estado inicial, así se puede volver a empezar la cuenta, tanto descendente como ascendente. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

### **3.14.4 Práctica 4:** Registro de Reloj/Calendario.

Se desea activar o desactivar una salida o función del PLC en una hora o fecha preestablecida, el PLC cuenta con registros que permiten realizar operaciones en función de la hora y fecha. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

### **3.14.5 Práctica 5:** Entradas y salidas analógicas

Se realiza una práctica que permita el uso del módulo de entradas y salidas analógicas, los cuales permiten recibir señales que entregan voltaje y/o corriente y enviar señales de control hacia actuadores. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

### **3.14.6 Práctica 6:** Transferencia de datos

Se realiza una práctica que permita el uso de registro de transferencia de datos, los cuales permiten intercambiar datos internamente en el PLC. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 3.

## **3.15 Guías de Laboratorio de Redes Industriales**

- Guía 1: Comunicación Profinet.
- Guía 2: Comunicación Profibus.

- Guía 3: Comunicación Maestro-Esclavo Profinet.
- Guía 4: Comunicación Maestro – Esclavo por IWLAN.
- Guía 5: Comunicación Profinet ET200SP.
- Guía 6: Integración de comunicaciones.

A continuación, se detalla una descripción de cada guía de laboratorio, teniendo en cuenta que los PLC's que se usan son el PLC Siemens S7-1500 y el PLC Siemens S7-1200 con el software Tia Portal.

#### **3.15.1 Práctica 1: Comunicación Profinet.**

Se realiza la comunicación Profinet entre el PLC Siemens S7-1500 y el panel táctil, teniendo una simulación industrial que valide las prácticas de laboratorio. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

#### **3.15.2 Práctica 2: Comunicación Profibus.**

Se realiza la comunicación Profibus entre el PLC Siemens S7-1500, el PLC Siemens S7-1200 y el PLC Siemens S7-1500 de otro módulo, teniendo una simulación industrial que valide las prácticas de laboratorio. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

#### **3.15.3 Práctica 3: Comunicación Maestro-Esclavo Profinet.**

Se realiza la comunicación Maestro-esclavo por medio de una red Profinet, la cual permite la comunicación de un PLC con otro PLC. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

#### **3.15.4 Práctica 4: Comunicación Maestro – Esclavo por IWLAN.**

Se realiza la comunicación maestro esclavo mediante una red inalámbrica que funciona por medio de un Access Point. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

### **3.15.5 Práctica 5:** Comunicación Profinet de ET200SP.

Se realiza la comunicación con una periferia descentralizada que permite conectar redes remotas mediante una red Profinet. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

### **3.15.6 Práctica 6:** Integración de comunicación.

Se realiza la configuración maestro-esclavos mediante una red Profibus y comunicación IWLAN. La guía de laboratorio se encuentra en el Anexo 4.

## **3.16 Estructura de las Guías de Laboratorio**

Cada guía de laboratorio cuenta con secciones que permite la ejecución correcta de cada práctica de laboratorio, estas secciones son las siguiente:

- Introducción
- Objetivos
- Materiales
- Instrucciones
- Planteamiento
- Procedimiento
- Conclusiones
- Recomendaciones



## CAPÍTULO 4

### IMPLEMENTACIÓN

La base de la implementación es el capítulo 3, el cual muestra la elaboración de la estructura metálica, la distribución de los equipos y la conexión entre todos los equipos y los elementos de mando y señalización. A continuación, se presenta la implementación de los sistemas de entrenamiento de Redes Industriales y PLC, los cuales se evidencia en las siguientes figuras.



**Figura 43.** Sistema de Entrenamiento de Redes Industriales

En la figura 43, se observa la implementación completa, teniendo en cuenta todas las características del capítulo de diseño. Para realizar la implementación completa se realizó pasos previos que se detallan a continuación.

#### 4.1 Estructura Metálica

En la figura 44, se observa la Estructura Metálica de material de tol galvanizado color negro. Teniendo en cuenta el diseño, se colocó la gabeta con las bisagras y las cerraduras



*Figura 44.* Estructura Metálica

En la figura 45, se observa la estructura metálica vista lateralmente, teniendo en cuenta los diseños, se cumplió con todos los requerimientos. Se evidencia la bandeja para el CPU y los orificios para la instalación de los brazos del monitor y teclado.



**Figura 45.** Vista lateral del Sistema de Entrenamiento

En la figura 46, se observa la vista posterior de la estructura metálica, el cual está compuesta por una tapa que protege a los elementos de mando y señalización. La parte posterior se encuentra bajo los requerimientos del capítulo de diseño.



**Figura 46.** Vista Posterior de la Estructura Metálica

#### **4.2 Implementación de los Racks**

En la figura 47, se observa los Racks del Sistema de Entrenamiento, en los cuales se evidencia las perforaciones del panel táctil, switch master y los elementos de mando y señalización. Teniendo en cuenta las medidas que se obtuvo del diseño del capítulo 3.



**Figura 47.** Implementación de los Racks

En la figura 48, se observa la implementación del rack 1, el cual fue diseñado para la sección de fuerza. En el rack 1 va instalado el switch master, las protecciones (Breaker), la fuente de 24 y la barra de neutros.



**Figura 48.** Implementación del Rack 1

En la figura 49, se observa la Implementación del Rack 2, el cual fue diseñado para el área de visualización. En el rack 2 va instalado el panel táctil.



**Figura 49.** Implementación del Rack 2

En la figura 50, se observa la Implementación del Rack 3, el cual fue diseñado para el área de control y comunicación. En el rack 3 va instalado el panel de operación, switch ethernet, los PLC's, la periferia descentralizada y el radio modem.



**Figura 50.** Implementación de Rack 3

En la figura 51, se observa la implementación del Rack 1 del sistema de entrenamiento de PLC, el cual fue diseñado para la sección de fuerza. En el rack 1 va instalado el switch master, las protecciones (Breaker), la fuente de 24 y la barra de neutros.



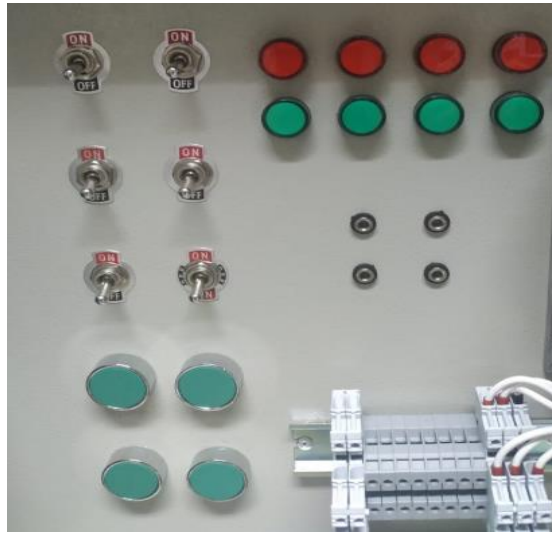
**Figura 51.** Implementación del Rack 1 del Sistema de Entrenamiento de PLC

En la figura 52, se observa la Implementación del Rack 2 del sistema de entrenamiento de PLC, el cual fue diseñado para el área de visualización y control. En el rack 2 va instalado el panel táctil, el PLC Modicom M241 y el switch ethernet.



**Figura 52.** Implementación del Rack 2 del Sistema de Entrenamiento de PLC

En la figura 53, se observa la Implementación del Rack 3 del sistema de entrenamiento de PLC, el cual fue diseñado para el área de mando y señalización. En el rack 3 va instalado el panel de operación.



**Figura 53.** Implementación del Rack 3 del Sistema de Entrenamiento de PLC

#### 4.3 Cableado de los Sistemas de Entrenamiento

En el capítulo de diseño se estableció el calibre que se utilizará para la conexión entre equipos y elementos. El calibre que se definió es el cable flexible AWG 16. En la figura 54, se observa cómo se realiza la conexión en el Rack 1.



**Figura 54.** Conexión en el Área de Fuerza



En la figura 55, se observa la conexión entre los equipos de control y las protecciones. Cada equipo posee su propia protección. En la figura 43, se evidencia el proceso de cableado completo del sistema de entrenamiento



**Figura 55.** Conexión entre Protecciones y Equipos de control

## CAPÍTULO 5

### PRUEBAS Y RESULTADOS

El presente capítulo trata de las pruebas y resultados que se obtuvo de los sistemas de entrenamiento.

Las pruebas están enfocadas en determinar la eficiencia de los sistemas de entrenamiento comparativamente respecto a la ejecución de las mismas prácticas utilizando los mismos equipos, pero disponibles para los estudiantes sin integración previa, es decir que deben ser tomados de armarios y conectados físicamente en mesas de trabajo.

También se realizó pruebas para verificar la flexibilidad de los sistemas de entrenamiento en sus diferentes prácticas de laboratorio. Se realizó pruebas para determinar las facilidades para el mantenimiento de los sistemas de entrenamiento. Se realizó también pruebas de seguridad eléctrica para determinar el nivel de protección eléctrica.

#### **5.1 Tiempos de Ejecución de las Prácticas de Laboratorio**

Para esta prueba se determinó los tiempos de ejecución de cada práctica considerando dos escenarios:

- Primer escenario sin tener el sistema de entrenamiento
- Segundo escenario con el sistema de entrenamiento.

Los parámetros que se consideraron fueron:

- El tiempo que se demora en conectar físicamente los equipos y dispositivos para cada práctica de laboratorio.
- El tiempo de ejecución de cada práctica de laboratorio.
- El tiempo que se demora en desconectar los equipos y dispositivos para cada práctica de laboratorio.

En la tabla 22 se muestra los tiempos aproximados de cada laboratorio de PLC's, tomando en cuenta los dos escenarios ya descritos.

**Tabla 22**

*Tiempos de ejecución de las prácticas de laboratorio de PLC's*

<b>Prácticas de Laboratorio</b>	<b>Tiempo de escenario 1</b>	<b>Tiempos de escenario 2</b>	<b>Diferencia</b>
<b>Práctica 1</b>	2h :00 min	1h :30 min	30 min
<b>Práctica 2</b>	2h :40 min	2h: 00 min	40 min
<b>Práctica 3</b>	2h :00 min	1h: 20 min	40 min
<b>Práctica 4</b>	1h :30 min	1h :00 min	30 min
<b>Práctica 5</b>	2h :50 min	2h :10 min	40 min
<b>Práctica 6</b>	3h :00 min	2h :00 min	60 min
<b>Práctica 7</b>	3h :30 min	3h :10 min	20 min

La reducción de tiempo promedio en la ejecución de las prácticas es de aproximadamente 40 min. En la tabla 23 se muestra los tiempos de cada laboratorio de Redes Industriales, tomando en cuenta los dos escenarios ya dicho.

**Tabla 23**

*Tiempos de ejecución de las prácticas de laboratorio de Redes Industriales*

<b>Prácticas de Laboratorio</b>	<b>Tiempo de escenario 1</b>	<b>Tiempos de escenario 2</b>	<b>Diferencia</b>
<b>Práctica 1</b>	2h :00 min	1h :20 min	40 min
<b>Práctica 2</b>	2h :20 min	1h :30 min	50 min
<b>Práctica 3</b>	2h :40 min	2h :00 min	40 min
<b>Práctica 4</b>	2h :30 min	1h :50 min	40 min
<b>Práctica 5</b>	3h :00 min	2h :10 min	50 min
<b>Práctica 6</b>	4h :00 min	3h :00 min	60 min

La reducción de tiempo promedio en la ejecución de las prácticas es de aproximadamente 50 min

## **5.2 Flexibilidad de los Sistemas de Entrenamiento**

En esta prueba se trata de determinar la flexibilidad que tiene los sistemas de entrenamiento, considerando la escalabilidad, la movilidad y la adaptabilidad.

Para las pruebas de escalabilidad de los sistemas de entrenamiento, se ejecutó otras prácticas diferentes de laboratorio que permitieron ver el funcionamiento de los módulos. Los sistemas de entrenamiento cumplieron satisfactoriamente todas las prácticas de laboratorio considerando todos los equipos y elementos.

Para las pruebas de movilidad de los sistemas de entrenamiento, se procedió a realizar el traslado de los módulos hacia diferentes sectores del laboratorio, considerando necesidades como reubicación de estaciones de trabajo, mantenimiento de cada sistema de entrenamiento, ejecución de prácticas de laboratorio donde intervengan el uso de más de un módulo y el traslado a diferentes laboratorios.

Para las pruebas de adaptabilidad de los sistemas de entrenamiento, se procedió a ejecutar las prácticas de laboratorio planteadas en el capítulo 5. Durante la ejecución de las prácticas descritas, se procedió a variar las guías de laboratorio con el fin de evaluar el funcionamiento de los sistemas de entrenamiento. Para ello se determinó que los sistemas de entrenamiento se adaptan a cualquier cambio durante la ejecución de las prácticas de laboratorio.

### 5.3 Mantenimiento de los Sistemas de Entrenamiento

El mantenimiento de los sistemas de entrenamiento debe ser tanto preventivo como correctivo. Para las pruebas de mantenimiento, se procedió a realizar un mantenimiento correctivo para el proceso de sustitución de un elemento de maniobra (foco).

Para la sustitución del elemento de maniobra se procedió a realizar los siguientes pasos:

- Revisar los planos de interconexión, para ello se procedió a identificar las conexiones eléctricas que posee el elemento de maniobra.
- Se reviso físicamente el elemento de maniobra con sus conexiones y se determinó un diagnostico que concluyó con el cambio de elemento.
- Se procedió a realizar el desmontaje del elemento de maniobra considerando los planos de interconexión
- Se procedió a realizar la sustitución con un nuevo elemento de maniobra considerando los planos de interconexión.
- Se verifico la funcionalidad del elemento de maniobra.

El tiempo que se demoró en realizar todo el proceso fue aproximadamente de 20 minutos.

Otra prueba que se realizó fue detectar y solucionar una falla tipo dentro del sistema de entrenamiento. Los pasos que se realizó fueron los siguientes:

- Generar un fallo simulado, en este caso es la desconexión de un cable de alimentación
- Revisar los planos de interconexión, para identificar posibles localizaciones de falla.
- Se reviso físicamente las conexiones y se determinó un diagnostico que concluyó con una desconexión de cable de alimentación.

- Se procedió a realizar la conexión del cable de alimentación
- Se verificó que ya no exista fallo y que el sistema de entrenamiento funcione correctamente.

El tiempo que se demoró en realizar todo el proceso fue aproximadamente de 15 minutos.

#### **5.4 Nivel de Seguridad Eléctrica**

Para la prueba de seguridad eléctrica, se procedió a simular un cortocircuito, para realizar la prueba se realizaron los siguientes pasos:

- Se procedió a retirar un breaker de cada sistema de entrenamiento
- Se realizó las conexiones para que circule corriente eléctrica por los breakers
- Se realizó un cortocircuito el cual permita elevar un corriente que supere la corriente nominal de los breakers.
- Se evidenció la funcionalidad del breaker al desconectar el paso de corriente.
- Se retiró el cortocircuito y se procedió a conectar nuevamente los breakers a los sistemas de entrenamiento.
- Se alimentó los sistemas de entrenamiento y se verificó la funcionalidad de los módulos.

Otra prueba realizada fue la prueba de aislamiento eléctrico en los cables de interconexión de los sistemas de entrenamiento, para ello se utilizó un detector de corriente por todas las conexiones de los equipos. Se determinó que el sistema de entrenamiento no posee fugas eléctricas y por ende su funcionamiento es correcto.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

Los tiempos de ejecución de las prácticas de laboratorio bajaron gradualmente, considerando que los sistemas de entrenamiento ya están armados, cableados y son móviles, los cuales beneficiaron a cada práctica de laboratorio.

La movilidad de los sistemas de entrenamiento benefició varios aspectos como la ejecución de las prácticas de laboratorio, la reubicación de cada módulo en los laboratorios físicos y al mantenimiento de cada modulo

Los sistemas de entrenamiento cuentan con un diseño que permiten que el mantenimiento correctivo y preventivo se realice de manera sencilla considerando el uso correcto de cada módulo.

Las propuestas de cada guía de laboratorio, poseen temas el cual cubre conceptos de las asignaturas a las cuales fueron aplicadas, teniendo en cuenta protocolos de comunicación, simulaciones industriales y elaboración de HMI.

Los sistemas de entrenamiento cumplen con todas las normas de protección eléctricas, los cuales permiten la seguridad de los usuarios considerando las pruebas que se realizaron y el material con el que fue construido los sistemas de entrenamiento.

Con todas las pruebas que se realizaron, las guías de laboratorio y el diseño con todas las características que posee los sistemas de entrenamiento se logró mejorar la formación e interés académico del estudiante de la carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control.

## **6.2 Recomendaciones**

Elaborar un plan de mantenimiento de los sistemas de entrenamiento teniendo en cuenta la integridad de todos sus componentes como los equipos, conductores, pulsadores, interruptores, luces pilotos y conexiones entre equipos.

Reemplazar elementos y equipos que se encuentren en mal estado para preservar la integridad de cada sistema de entrenamiento y no exista fallos eléctricos que perjudiquen el objetivo para los que fueron diseñados e implementados.

Mantener la limpieza de cada sistema de entrenamiento, teniendo en cuenta utensilios de limpieza como paños de microfibras, spray especial para contactos eléctricos, que permita la correcta eliminación de impurezas como polvo que puedan afectar al funcionamiento y provoca cortocircuitos.

Explorar más prestaciones tecnológicas de los equipos que permitan elaborar nuevas guías de laboratorio y así lograr obtener más ventajas de los sistemas de entrenamiento, con la finalidad de que los estudiantes logren nuevas destrezas en el ámbito industrial.



**ANEXOS**

## BIBLIOGRAFÍA

Aguilera, P. (2002). Programación de PLC's. San Nicolas de los Garzas.

Argentina, A. E. (2016). *Reglamentación Para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles*.

Barnils, X. (10 de 01 de 2019). *Schneider Electric*. Obtenido de <https://blogspanol.se.com/normativa-energetica/2019/01/10/norma-iec-61439-asegurar-los-materiales-aislantes-para-proteger-los-cuadros-electricos/>

Comunicación, R. D. (27 de 9 de 2009). *Introducción a las redes de comunicación*. Obtenido de Universidad del Cauca:  
<ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Redes%20Industriales/Redes/Conferencias/>

Edward Bohórquez, E. P. (2019). *Implementación de la norma ISA 101, sobre las HMI, pertenecientes a los módulos de instrumentación de la Universidad ECCI*. Bogotá.

Farina, A. L. (2017). *Tableros Eléctricos. Notas técnicas*.

InfoPLC. (21 de Diciembre de 2013). *IO-Link la comunicación de los sensores industriales*. Obtenido de InfoPLC: <https://www.infopl.net/documentacion/7-comunicaciones-industriales/1952-io-link>

Isaías González, A. C. (2008). *Automatización de invernadero mediante autómeta programable y periferia descentralizada a través de profibus-dp*. Mérida.

Mora, M. (2004). *Tecnologías para redes lan inalámbricas*. Zulia. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/784/78430107.pdf>

Pere Ponsa, M. D. (2006). *Creación de guía ergonómica para el diseño de interfaz*. Barcelona.

Powergreen. (09 de 10 de 2015). *Powergreen*. Obtenido de <https://pepegreen.com/awg-ques/>

Ramirez, C. (2017). *Controladores Lógicos Programables*.

Ricardo Guzmán, A. Q. (2015). Sistema de adquisición de datos meteorológicos. *Mexicana de Ciencias Agrícola*, 1701-1713.

San Martin, S. (2016). *San Martin*. Obtenido de <https://www.elecsanmartin.com/es/noticias/dt/id/59/todo-lo-que-hay-que-saber-sobre-tableros-electricos>

Siemens. (2017). *Siemens AG*. Obtenido de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/com\\_industriales/pages/comunicaciones\\_industriales.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/com_industriales/pages/comunicaciones_industriales.aspx)

Tamasco, R. (2007). Protecciones Eléctricas. En R. T. Amador, *Protecciones Eléctricas* (pág. 48). Colombia.

Toro, A., Sánchez, G., & Strefezza, M. (21 de Marzo de 2017). *IIoT y Sistemas de Control: oportunidades, desafíos y arquitecturas*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507555085001/index.html>

Vallejo, H. D. (2005). Los Controladores Lógicos Programables. 11.