UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

DESARROLLO DE EXPERIENCIAS DE CONTROL PARA LA ASIGNATURA REDES COMPUTACIONALES IECII

Trabajo de titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Alumno:
Felipe Alonso Liberona Barraza

Profesor Guía:
Mag. Víctor Cárdenas Schweiger

2025

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): X Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo:Desarrollo de experiencias de control para la asignatura de redes computacionales IECII

Nombre del candidato(a): Felipe Alonso Liberona Barraza

Carrera / Grado: Ingeniería en control e instrumentación industrial

Campus: Viña del mar

Departamento: Departamento de electrotecnia e informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Victor Cardenas Schweiger, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

X El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

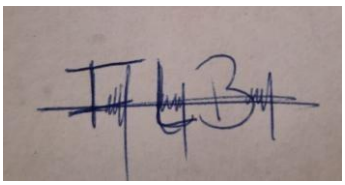
4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 26/10/2025 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 26 de Octubre 2015 Firma:



Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

RESUMEN

KEYWORDS: REDES, COMUNICACIONES, PROTOCOLOS, EXPERIENCIAS DE LABORATORIO.

El presente trabajo de título tiene como objetivo general aplicar cuatro distintas experiencias para la asignatura de redes computacionales, cada una de estas experiencias abordan la transmisión de datos a través de diferentes protocolos.

1. Comparación por medios físicos de transmisión: Se realizará una comparación entre dos medios físicos para la transmisión de datos, un cable de red (par trenzado) y fibra óptica, evaluando características, rendimiento y aplicabilidad para posibles escenarios.

2. Comunicación maestro-esclavo: Se realizará una comunicación entre dos PLC de la marca siemens un con una función de maestro y el otro como esclavo. Esta comunicación entre los dos PLC se realizará a través de un RS-485 para así demostrar interoperabilidad y confiabilidad del protocolo.

3. Red Wifi (USR-W610): Se realizará una comunicación inalámbrica de largo alcance utilizando un protocolo de red inalámbrica conectada a través de RS485, integrando redes IoT con protocolos tradicionales industriales.

4. Integración de Snap Trainer con PLC Arduino Opta: Se realizará una experiencia educativa usando el programa Snap Trainer y un PLC Arduino Opta para simular procesos industriales, permitiendo una visualización del funcionamiento de redes de control.

Estas experiencias permitirán adquirir conocimientos prácticos en la implementación y análisis de distintos tipos de tecnologías de red, abarcando desde redes tradicionales hasta soluciones de automatización industrial IoT.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... 1

1 PROBLEMÁTICAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....3

1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....3

1.1.1 Institución..... 3

1.1.2 Carrera de estudio..... 4

1.1.3 Laboratorio..... 4

1.1.4 Problemática a desarrollar.....4

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN FÍSICOS.....4

1.2.1 Cable de red UTP..... 4

1.2.2 Fibra óptica..... 5

1.2.3 Fibra Óptica Monomodo..... 5

1.2.4 Fibra óptica multimodo..... 5

1.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICOS..... 5

1.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....6

1.4.1 Redes de comunicación..... 6

1.4.2 Interfaces de comunicación.....6

1.5 MONITOREO REMOTO.....7

1.5.1 Implicancias del monitoreo remoto..... 7

1.6 LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL ACTUAL..... 7

1.6.1 Papel de las redes industriales en la industria 4.0.....8

1.7 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y EDUCATIVA..... 9

1.8 INVOLUCRADOS.....9

1.9 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....9

1.9.1 Alternativa I: No hacer nada..... 10

1.9.2 Alternativa II: Comparación medio físico y comunicación maestro esclavo..... 10

1.9.3 Alternativa III: Experiencia con USR-W 610..... 10

1.9.4 Alternativa IV: Realizar cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales. 10

1.10 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....11

1.11 CUADRO COMPARATIVO..... 11

1.11.1 Alternativa seleccionada.....12

1.12 OBJETIVOS.....12

1.12.1 Objetivo general..... 12

1.12.2 Objetivos específicos..... 12

1.13 PROYECCIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO..... 13

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....3

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN..... 15

2.1 EXPERIENCIA 1: COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS..... 15

2.1.1 Objetivo..... 15

2.1.2 Ejercicio propuesto para el escenario 1.....15

2.1.2.1 Tabla de equipos para el escenario..... 15

2.1.2.2 Resultados esperados para el escenario 1.....16

2.1.3 Ejercicio propuesto para el escenario 2.....16

2.1.3.1 Tabla de equipos utilizados fibra óptica.....16

2.1.3.2 Diagrama de red para el escenario 2 de fibra óptica..... 17

2.1.3.3 Resultados esperados fibra óptica.....18

2.2 EXPERIENCIA 2 : CONVERTIDOR INDUSTRIAL DE COMUNICACIÓN USR-W610..... 18

2.2.1 Objetivo de la experiencia con el convertidor industrial de comunicación USR-W 610.....18

2.2.2 Importancia del equipo y tecnología del USR-W610..... 18

2.2.3 Ejercicio propuesto para el módulo USR - W 610.....19

2.2.4 Escenario I con el módulo USR-W610..... 19

2.2.4.1 Tabla de equipos para el escenario I con el módulo USR-W610.....19

2.2.4.2 Diagrama de red para el escenario I con el módulo USR-W610..... 19

2.2.4.3 Resultados esperados para el escenario I con el módulo USR-W610.....20

2.2.5 Escenario II con el módulo USR-W610..... 20

2.2.5.1 Tabla de equipos para el escenario II con el módulo USR-W610.....21

2.2.5.2 Diagrama de red para el escenario II con el módulo USR-W610..... 21

2.2.5.3 Resultados esperados.....22

2.2.6 Escenario III con el módulo USR-W610..... 22

2.2.6.1 Tabla de equipos.....22

2.2.6.2 Diagrama de red..... 23
2.2.6.3 Resultados esperados..... 23
2.3 EXPERIENCIA III : COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS..... 23
2.3.1 Importancia de la comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.2 Objetivo de la experiencia III..... 24
2.3.3 Ejercicio propuesto para la experiencia III comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.4 Tabla de equipos para la prueba de comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.5 Diagrama de red para la comunicación maestro esclavo por profibus..... 25
2.3.6 Plano de control y fuerza para el motor..... 26
2.3.7 Plano de salida digital del PLC..... 26
2.3.8 Resultados esperados..... 27
2.4 EXPERIENCIA IV: INTEGRACIÓN ENTRE SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.. 27
2.4.1 Objetivo de la experiencia IV..... 28
2.4.2 Importancia del software snap trainer..... 28
2.4.3 Ejercicio propuesto para la experiencia IV..... 28
2.4.3.1 Tabla de equipos para realizar la experiencia del software snap trainer..... 28
2.4.3.2 Diagrama de redes para la experiencia con software snap trainer..... 29
2.4.3.3 Resultados esperados..... 30
CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 15
3 RESULTADO OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 32
3.1 EXPERIENCIA COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN..... 32
3.1.1 Montaje para la experiencia comparación medio físico con cable UTP..... 32
3.1.2 Configuración de hardware y software..... 33
3.1.2.1 Configuración en hardware..... 33
3.1.2.2 Configuración hardware..... 33
3.1.3 Dificultades y soluciones..... 33
3.1.3.1 Direccionamiento de IP..... 33
3.1.4 Análisis de funcionamiento..... 34
3.2 MONTAJE PARA LA EXPERIENCIA COMPARACIÓN MEDIO FÍSICO CON FIBRA ÓPTICA.....35
3.2.1 Configuración de hardware y software..... 35

3.2.1.1 Configuración en hardware..... 35
3.2.1.2 Configuración de software..... 36
3.2.3 Resultados obtenidos..... 36
3.3 EXPERIENCIA CON MÓDULO USR-W610.....37
3.3.1 Montaje para la experiencia..... 37
3.3.2 Montaje escenario I: Arduino-TTL 485-USR-W610-Computador.....37
3.3.3 Montaje escenario II : Arduino - USR -W610 - USR-W610 - Computador..... 38
3.3.4 Montaje escenario III: PLC arduino Opta-USR-W610-Snap Trainer..... 38
3.3.5 Configuración de hardware y software.....38
3.3.6 Escenario I: Configuración hardware.....38
3.3.7 Diagrama eléctrico para el módulo USR-610.....39
3.3.8 Diagrama electrico para Arduino Uno, TTL-RS485.....40
3.3.9 Código de programación que se utilizará en el Arduino uno R3.....41
3.3.10 Escenario I: Configuración software..... 42
3.3.11 Escenario II: Configuración hardware.....43
3.3.12 Escenario II: Configuración software..... 44
3.3.13 Escenario III: Configuración hardware.....46
3.3.14 Escenario III: Configuración software..... 47
3.3.15 Dificultades y soluciones..... 49
3.3.15.1 Dificultades y soluciones. Escenario I..... 49
3.3.15.2 Dificultades y soluciones. Escenario II..... 49
3.3.15.3 Dificultades y soluciones. Escenario III..... 50
3.3.16 Análisis de funcionamiento..... 50
3.3.17 Resultados obtenidos..... 50
3.3.17.1 Escenario I tabla de resultados.....51
3.3.17.2 Escenario II tabla de resultados.....52
3.3.17.3 Escenario III tabla de resultados.....53
3.3.18 Cierre de los escenarios de pruebas para el módulo USR-610.....54
3.4 EXPERIENCIA PARA LA COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS.....54
3.4.1 Montaje para la experiencia..... 54
3.4.2 Configuración hardware y software..... 55

3.4.2.1 Configuración hardware..... 55
3.4.2.2 Configuración del software.....56
3.4.3 Dificultades y soluciones..... 56
3.4.4 Análisis de funcionamiento..... 57
3.4.5 Resultados obtenidos..... 57
3.5 EXPERIENCIA CON EL SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.....58
3.5.1 Montaje para la experiencia..... 58
3.5.2 Configuración de software y hardware.....59
3.5.2.1 Configuración hardware..... 59
3.5.2.2 Configuración de software..... 59
3.5.3 Dificultades y soluciones..... 60
3.5.4 Análisis de funcionamiento..... 60
3.5.5 Resultados obtenidos..... 60
3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 62
3.7 ESTUDIO DE COSTOS.....63
3.7.1 Analisis y conclusion de los costos.....64
CONCLUSIÓN.....66
BIBLIOGRAFÍA..... 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama de red comparación de medios físicos con fibra óptica mm..... 17
Figura 2-2. Diagrama de bloques escenario I.....20
Figura 2-3. Diagrama de bloques para escenario..... 21
Figura 2-4. Diagrama de bloques para escenario III..... 23
Figura 2-5. Diagrama de red comunicación maestro-esclavo..... 25
Figura 2-6. Plano de control y de fuerza del motor.....26
Figura 2-7 Plano salidas digitales..... 27
Figura 2-8. Diagrama de red Snap Trainer.....29
Figura 3-1 Montaje comparación de medios físicos..... 32
Figura 3-2 Interfaz Tia Portal, CMD.....35
Figura 3-3 Conversor de medio..... 38
Figura 3-4 Comando PUT..... 39
Figura 3-5. Montaje para el escenario I..... 41
Figura 3-6 Diagrama eléctrico para el conversor USR-W610..... 42
Figura 3-7 Diagrama eléctrico para Arduino uno- TTL-485..... 43
Figura 3-8 Código para Arduino Uno..... 44
Figura 3-9 Montaje para el escenario II..... 45
Figura 3-10 Configuración Módulo USR - W610 en AP..... 46
Figura 3-11 Configuración Módulo USR - W610 en STA..... 47
Figura 3-12 Parámetros Módulo USR - W610..... 47
Figura 3-13 Escenario III PLC Arduino Opta..... 48
Figura 3-14 Escenario III..... 48
Figura 3-15 Parametrización del PLC..... 49
Figura 3-16 Programa en ladder para el escenario III..... 49
Figura 3-17 Interfaz de comunicación del programa Snap Trainer.....50
Figura 3-18 Semáforo Snap Trainer..... 51
Figura 3-19. PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY ESCLAVO..... 57
Figura 3-20 PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY MAESTRO.....58
Figura 3-21. Diagrama escenario III..... 61

Figura 3-22: Librerias Arduino IDE..... 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Escala de calificación..... 11

Tabla 1-2 Comparación de alternativas.....11

Tabla 2-1 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por par trenzado..... 15

Tabla 2-2 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por fibra óptica.....16

Tabla 2-3 Equipos requeridos para el escenario I USR-W610..... 19

Tabla 2-4 Equipos requeridos para el escenario II USR-W610..... 21

Tabla 2-5 Equipos requeridos para el escenario III USR-W610..... 22

Tabla 2-6 Equipos requeridos para comunicacion maestro esclavo..... 24

Tabla 2-7 Equipos requeridos experiencia con snap trainer..... 28

Tabla 3-1 Direccionamiento de las IP..... 34

Tabla 3-2 Evaluación de la experiencia comparacion de medio físico..... 34

Tabla 3-3 Evaluación de la experiencia comparación de medio físico con fibra óptica..... 37

Tabla 3-4 Resultados escenario I..... 53

Tabla 3-5 Resultados escenario II..... 54

Tabla 3-6 Resultados para el escenario III.....55

Tabla 3-7 Resultados comunicación maestro esclavo - Profibus.....59

Tabla 3-8 Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.....63

Tabla 3-9 Análisis comparativo de las 4 experiencias..... 64

Tabla 3-10 Costo de equipos.....65

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLA

HMI	:	Human-Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina)
IP	:	Internet Protocol (Protocolo de internet)
IoT	:	Internet of Things (Internet de las cosas)
LAN	:	Local Area Network (Red de área local)
LORA	:	Long Range (Largo alcance)
PLC	:	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)
STP	:	Shielded Twisted Pair (Par trenzado blindado)
TCP	:	Transmission Control Protocol (Protocolo de control de transmisión)
UTP	:	Unshielded Twisted Pair (Par trenzado no blindado)
IECII	:	Ingeniería en control e instrumentación industrial.
AP	:	Access Point. (Punto de acceso)
RTU	:	Remote Terminal Unit. (Unidad terminal remota)
COM	:	Communication Port. (Puerto de comunicación)
CLP	:	Pesos chilenos
USD	:	Dolares estodounidenses

B. SIMBOLOGÍA

A	:	Amperios
V	:	Voltios
mm	:	Milímetros
mHz	:	Megahercio
m	:	Metros
Mbps	:	Megabits
Byte	:	8 bits

INTRODUCCIÓN

En el entorno de la automatización de procesos industriales, las redes de comunicación industrial son muy influyentes. Estas redes enlazan los dispositivos que intervienen en el control de sistemas industriales, permitiendo su funcionamiento, supervisión y control. Hoy se considera que, en la era de la interconectividad, las maquinarias industriales con capacidad de comunicación pueden funcionar de una forma autónoma o con una mínima intervención de un operario.

En este contexto, las redes de comunicación industrial se establecen como la columna vertebral de la interconectividad, utilizando protocolos de comunicación en constante evolución.

Este trabajo de título tiene como finalidad explorar distintas tecnologías de comunicación a través de la ejecución de cuatro experiencias prácticas, desde la comparación entre distintos medios físicos de transmisión de datos, hasta la implementación de redes industriales con protocolos modbus RTU y tecnologías emergentes como LoRaWaN.

Cada experiencia busca reforzar habilidades técnicas, ayudar a la comprensión de las ventajas y limitaciones de cada tecnología y adquirir un enfoque crítico para la selección de soluciones adecuadas para los problemas que se puedan presentar.

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

1 PROBLEMÁTICAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El objetivo de este capítulo tiene como finalidad estudiar las redes computacionales y su influencia en el ámbito de sistemas de automatización, control industrial incluso IoT. Bajo este contexto es esencial que los profesionales del área de control e instrumentación industrial cuenten con conocimientos prácticos sobre distintos tipos de redes, medios de transmisión y protocolos de comunicación.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Como antecedentes generales se describirán en donde se realizó el proyecto, la institución, equipos a utilizar, asignatura enfocada del proyecto e instalaciones.

1.1.1 Institución

La Universidad Técnica Federico Santa María, es una universidad tradicional privada chilena, perteneciente al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, a la Agrupación de Universidades Regionales de Chile, a la Red Universitaria Cruz del Sur y a la Red Universitaria G9. La red de universidades públicas no estatales G9 es una corporación de derecho privado sin fines de lucro, creada el 7 de marzo de 2013, y que agrupa a las universidades tradicionales, no estatales, del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, es decir, a las universidades privadas tradicionales. La casa central se encuentra ubicada en Valparaíso y además posee campus en Santiago de Chile (Vitacura y San Joaquín). Posee también dos sedes: una en Viña del Mar (figura 1-1) y otra en Concepción.



Fuente:https://www.flickr.com/photos/utfsm/albums/72157634706830424/with/9321542858

Figura 1-1 Entrada Universidad Federico Santa Maria Sede Viña del Mar

1.1.2 Carrera de estudio

La carrera que se estudió para realizar el proyecto es Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial, permitiendo realizar labores en el ámbito de control de procesos industriales en los cuales se utiliza instrumentación y control automático.

1.1.3 Laboratorio

El laboratorio donde se desarrollará el proyecto está ubicado en la sede de Viña del Mar de la universidad, específicamente en el edificio M, sala 202.

1.1.4 Problemática a desarrollar

En la asignatura Redes Computacionales IECII, las actividades prácticas presentan limitaciones debido a la falta de experiencias que integren a las tecnologías de comunicación industrial utilizadas en la industria 4.0 como serían PROFIBUS, Modbus TCP y Ethernet.

Esta falencia dificulta que el estudiante desarrolle competencias prácticas en configuración, programación y diagnósticos de redes industriales, centrándose en contenidos teóricos, lo que genera una brecha en la formación académica y las necesidades del sector industrial.

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN FÍSICOS

Los medios físicos de transmisión son elementos por los cuales viajan las señales o información en una comunicación entre dos equipos. Se pueden utilizar varios medios físicos para la transmisión, teniendo en cuenta que cada uno tiene sus características particulares: ancho de banda, retardo, costo y facilidad de mantención.

Durante el desarrollo de las actividades a implementar en el laboratorio se utilizaron 2 medios físicos para las pruebas:

1.2.1 Cable de red UTP

Consiste en 4 pares cables de cobre aislados, aproximadamente de 1 mm de grosor, los cables están trenzados en forma de molécula de ADN. Son muy utilizados en redes LAN (como Ethernet), puede estar blindado (STP) lo que permite una protección frente a interferencias

electromagnéticas, es económico y fácil de instalar y su distancia es limitada en conjunto con su velocidad comparado con otros medios.

1.2.2 Fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por filamentos muy delgados de vidrio o plásticos en donde la transmisión de datos es enviada a través de pulsos de luz que pueden transportar grandes cantidades de información a muy alta velocidad y largas distancias y existen dos modos principales.

1.2.3 Fibra Óptica Monomodo

La fibra óptica monomodo donde su principal característica es poseer un núcleo muy delgado, de alrededor de unos 9 micrómetros de diámetro, a través del cual se propaga sólo un modo de luz, gracias a esta característica la señal viaja en línea recta sin reflejarse múltiples veces dentro del núcleo, reduciendo la dispersión y la pérdida de señal, siendo ideal para transmisiones de larga distancia superiores a 10 kilómetros. Si bien su rendimiento es superior y más eficaz, requiere equipos ópticos más precisos y de mayor costo así aumentando el costo de instalación y mantención.

1.2.4 Fibra óptica multimodo

La fibra óptica multimodo en diferencia con la fibra óptica monomodo posee un núcleo de mayor tamaño, alrededor de unos 50 y 62,5 micrómetros, esta característica permite que la propagación simultánea de múltiples modos de luz generando rebotes dentro del núcleo limitando los kilómetros de transmisión hasta un máximo de 2 kilómetros. A pesar de su limitación, la fibra multimodo tiene otras ventajas como es el costo, su facilidad de instalación y compatibilidad con equipos electrónicos de bajo costo.

1.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICOS

Un medio de transmisión inalámbrico es el que permite la comunicación entre dos equipos sin la necesidad de un medio físico como son los cables, esto se logra a través de ondas electromagnéticas tanto como para enviar como para recibir información a través del aire, hoy en día se aprecia en redes domésticas, sistemas industriales, IoT y telecomunicaciones.

1.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos son conjuntos de condiciones o reglas que habilitan intercambio de información y cooperar entre dispositivos. Estos equipos, al quedar intercomunicados o pasar bloques de datos, conforman una red de comunicación. Los protocolos de comunicación pueden incluir medidas de seguridad, como encriptación de datos y autenticación, para otorgar privacidad y la integridad de la información transmitida.

Los protocolos de comunicación a lo largo del tiempo se han ido modificando y adaptando a los nuevos sistemas de producción de esta forma, algunos de los protocolos actuales son una evolución de los anteriores, mientras que otros han sido creados a partir de demandas específicas.

1.4.1 Redes de comunicación

Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier construcción de sistemas de automatización, ya que entregan un medio para el intercambio de datos. Estas redes facilitan la comunicación y el transporte de datos, voz y video, ya sean por medios guiados o no guiados.

Existen diferentes tipos de redes de comunicación, como las redes de área local (LAN), que como su nombre lo dice conectan dispositivos dentro de un área establecida, en cambio las redes de área extensa (WAN) pueden conectar dispositivos de una distancia mucho más amplia, como ciudades o incluso países.

Estas redes se basan en protocolos, como, por ejemplo: TCP/IP, que son necesarios para establecer reglas para la transmisión de datos y la comunicación de los dispositivos. Usualmente se incluyen dispositivos, como routers, switches o puntos de acceso, que ayudan a dirigir y gestionar el intercambio de datos.

1.4.2 Interfaces de comunicación

Una interfaz de comunicación industrial se refiere al conjunto de medios físicos y lógicos que permiten el intercambio de información entre distintos equipos y sistemas dentro de un entorno industrial. Estas interfaces son esenciales para garantizar que los dispositivos industriales puedan intercambiar datos y controlar procesos de manera eficiente y efectiva en entornos industriales, como fábricas, plantas de producción, instalaciones de automatización.

Algunos ejemplos de dispositivos de interfaces de comunicación industrial son:

- Controlador lógico programable (PLC): Es un controlador que permite la comunicación entre sensores, actuadores entre otros dispositivos dentro de un sistema.
- Módulos de comunicación: Son dispositivos que se utilizan para establecer la comunicación entre diferentes dispositivos y sistemas en una red industrial.
- Pantallas y paneles de operación: Estos dispositivos proporcionan una interfaz gráfica para que el operador pueda interactuar, supervisar y controlar las variables del proceso.
- Convertidor de protocolo: Son dispositivos utilizados para convertir señales y protocolos de comunicación entre diferentes dispositivos que utilizan estándares distintos logrando así una interoperabilidad y una comunicación entre dispositivos de distintas marcas.

1.5 MONITOREO REMOTO

Se debe entender por monitoreo remoto como la acción que permite visualizar datos de cualquier lugar, siendo ideal para situaciones con condiciones ambientales severas o peligrosas o donde la única persona o equipo debe monitorear los resultados de varios lugares o fuentes. Con la ayuda de este tipo de monitoreo se puede utilizar para alertar, cuando las condiciones requieran de revisión o de una acción, incluyendo la capacidad de un diagnóstico.

1.5.1 Implicancias del monitoreo remoto

Las industrias están realizando importantes inversiones en tecnología, especialmente en sistemas de control remoto y automatización, con el propósito de optimizar sus procesos productivos, aumentar la eficiencia operativa y reducir la necesidad de intervención humana.

Esta práctica de servicios e inspecciones remotos, está aumentando y tomando importancia dentro de las empresas, principalmente en el área de la minería. Trabajos como el monitoreo de centros especializados, que tiene como objetivo sacar a las personas del campo, especialmente en áreas de riesgo de actividades críticas, se ha tomado mayor importancia.

Estos cambios que están teniendo las industrias sumadas al impacto que va a tener en el corto y mediano plazo la cuarta revolución industrial hace dar cuenta que es necesario estar en constante actualización con las nuevas tecnologías.

1.6 LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL ACTUAL

La automatización industrial hoy en día es uno de los principales pilares dentro de lo que es el desarrollo tecnológico en la producción a nivel mundial, teniendo como uno de sus

principales objetivos optimizar los procesos de fabricación reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia, seguridad.

El momento actual va indicando que la integración de la automatización con la digitalización industrial es lo que genera hoy en día el concepto de la industria 4.0, bajo esta mirada los procesos industriales se están interconectando a través de redes industriales y protocolos de comunicación estandarizados como PROFINET, Modbus TCP, Ethernet/IP que son los principales en garantizar la comunicación entre los diferentes equipos.

Si bien la automatización industrial está teniendo un constante desarrollo con miras al futuro también presenta desafíos, como la constante inversión en infraestructura tecnológica, la ciberseguridad de los sistemas conectados y de los datos obtenidos, la escasez de profesionales especializados y el costo de las capacitaciones de los mismos y lo complejo que es la integración de equipos de diferentes marcas o generaciones, aun así se espera que la automatización siga su crecimiento de manera continua siendo clave en la competitividad y sostenibilidad de las empresas.

1.6.1 Papel de las redes industriales en la industria 4.0

Las redes industriales son unos de los principales pilares en el desarrollo e implementación de la industria 4.0, como el de la comunicación entre los diferentes niveles en un proceso de producción industrial. Estas redes cumplen la función de ir integrando sensores, PLC, sistemas de supervisión, plataformas de gestión, etc., garantizando un correcto intercambio de datos, seguro y confiable.

Las redes industriales van evolucionando de estructuras cerradas en donde cada fabricante tenía su propio protocolo de comunicación haciendo muy difícil la integración de un equipo de otra marca, hoy en día están teniendo arquitecturas abiertas e interoperables en donde la conectividad entre distintos equipos de diferentes marcas se pueda realizar.

Uno de los principales aportes que están teniendo las redes industriales son su capacidad de manejar grandes volúmenes de intercambio de datos en los equipos de producción, impulsando de esta manera el IIOT, ya que los equipos en terreno van a poder enviar información en tiempo real hacia plataformas en la nube pudiendo aplicar un análisis de datos optimizando los procesos industriales.

1.7 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y EDUCATIVA

La justificación técnica y educativa se basa en la necesidad de vincular del desarrollo tecnológico con la formación de competencias profesionales que respondan a las exigencias actuales de las industrias, bajo ese contexto la incorporación de experiencias prácticas, sistemas de control, comunicación entre dispositivos y tecnologías emergentes pasan a ser unos de los pilares esencial en la enseñanza técnica.

El enfoque práctico debe buscar fortalecer la vinculación entre la teoría con la práctica, permitiendo a los estudiantes vayan enlazando los conocimientos adquiridos a acciones prácticas a través de la experimentación se logró un aprendizaje basado en la resolución de problemas, trabajo colaborativo y la toma de decisiones.

El enfoque educativo debe entrelazarse con la integración de nuevas tecnologías, respondiendo a la necesidad de actualizar los programas formativos logrando que los futuros profesionales obtengan habilidades para las exigencias del sector industrial.

1.8 INVOLUCRADOS

Los involucrados en este proyecto son los estudiantes de la universidad, docentes, y la industria:

- Alumnos: Podrán desarrollar actividades en un laboratorio con equipos que le permitirán adquirir experiencias prácticas sobre los protocolos de comunicación, abarcando desde redes convencionales hasta soluciones de automatización industrial IoT.
- Docentes: Los docentes tendrán la posibilidad de llevar lo teórico a la práctica en temas de protocolos de comunicación generando un aprendizaje significativo para los alumnos.
- La industria: Podrán contratar profesionales provenientes de la UTFSM sede Viña del Mar con capacidades laborales y conocimientos en protocolos de comunicación ya sea en redes convencionales o de automatización industrial IoT.

1.9 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con el fin de estudiar las posibles alternativas de desarrollo para el presente proyecto, se plantean distintas alternativas de implementación, las cuales permiten analizar aspectos técnicos, educativos y experimentales. A continuación, se describen las cuatros alternativas a considerar:

1.9.1 Alternativa I: No hacer nada

Si se considera esta opción como desarrollo, no se implementan las nuevas experiencias ni mejoras, y solo se continuaría con los contenidos teóricos o prácticas que son limitantes a la hora de generar un aprendizaje significativo para el alumno. La falta de experiencias experimentales reduce la motivación y la capacidad de análisis y de solución de problemas, impidiendo una comprensión de lo que es la comunicación industrial y protocolos de comunicación.

1.9.2 Alternativa II: Comparación medio físico y comunicación maestro esclavo

En esta alternativa los principales enfoques que se tienen es la comparación de medios físicos de comunicación y el comportamiento de una interfaz de comunicación maestro-esclavo.

En esta alternativa no se implementa lo relacionado con el módulo USR-W610 ya que el enfoque es la comunicación física y el estudio de su rendimiento en entornos controlados. Este desarrollo crea un valor educativo permitiendo que los estudiantes puedan visualizar como el medio físico influye directamente en la estabilidad y eficiencia en la comunicación industrial.

1.9.3 Alternativa III: Experiencia con USR-W 610

Si se considera esta opción como desarrollo, se proponen experiencias basadas en el módulo USR-W610, permitiendo explorar las ventajas y limitaciones de la comunicación inalámbrica en entornos industriales. El enfoque principal de esta experiencia, es el análisis en la configuración de dispositivos, latencia de transmisión y la pérdida de paquetes comparándolos con sistemas de cableados tradicionales.

En esta alternativa, no se implementa la experiencia con el software Snap Trainer en conjunto con el PLC Arduino Opta, ya que el enfoque se centra en la comunicación inalámbrica y su integración en una red industrial.

1.9.4 Alternativa IV: Realizar cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales

Si se considera esta alternativa como desarrollo, ya que contempla la implementación de cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales.

En esta alternativa los estudiantes pueden interactuar con diferentes medios de comunicación, cableados físicos e inalámbricos, comprendes la estructura maestro esclavo e incorporar el uso de la plataforma didáctica Snap Trainer en conjunto con un PLC Arduino.

Esta alternativa amplía el ámbito técnico del proyecto complementado con un enriquecimiento del proceso educativo, proporcionando a los alumnos una visión integral del funcionamiento de las redes industriales.

La alternativa IV se considera la opción más viable y formativamente valiosa ya que va complementando los beneficios de la experimentación, el uso de nuevas tecnologías y el aprendizaje técnico y replicable dentro del aula.

1.10 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para la evaluación de las alternativas anteriormente comentadas se utilizará una escala del 1 al 5, en donde el 1 sería “muy deficiente” y el 5 “óptima” como se muestra en la tabla 1-1, la alternativa con mayor puntaje será la seleccionada para el desarrollo del trabajo de título.

Tabla 1-1 Escala de calificación.

Tabla de Puntuación de Alternativas de Solución				
Muy deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.11 CUADRO COMPARATIVO

Para tener una claridad en la comparación de las alternativas se ideó un cuadro comparativo (Tabla 1-2), en donde se podrá apreciar la puntuación obtenida por la solución que con mayor puntuación teniendo en cuenta variables como la innovación, beneficio y factibilidad.

Tabla 1-2 Comparación de alternativas

Característica/Alternativa	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	Alternativa IV
Innovación	1	2	2	4
Beneficio	1	2	3	4
Factibilidad	5	5	5	5
Puntuación total	7	9	10	13

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.11.1 Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada fue la alternativa número IV, para determinar esta elección se evaluaron estos 4 puntos que serán que se muestran a continuación:

- Innovación: La innovación que tiene esta alternativa es ver como los protocolos de comunicación se han ido adaptando los ambientes de las industrias teniendo la posibilidad uno de elegir el más conveniente.
- Beneficio: Los beneficios que genera esta alternativa es que ayudará a los participantes del proyecto a seleccionar el protocolo que más se ajuste a los requisitos de comunicación ya sea en una red local o en internet.
- Factibilidad: La universidad facilitará y dispondrá el laboratorio para realizar el proyecto, y el encargado del proyecto será quien desarrolle la parte práctica para las pruebas a realizarse.

1.12 OBJETIVOS

En esta sección se describirán los objetivos generales y específicos que se deben alcanzar durante el desarrollo del proyecto, con la finalidad de entender cuándo será necesario la implementación de un protocolo u otro.

1.12.1 Objetivo general

Implementar 4 experiencias de laboratorio para la asignatura de redes computacionales.

1.12.2 Objetivos específicos

Para cumplir el objetivo general, se deben cumplir los siguientes objetivos específicos.

- Evaluar las características entre el cable de red (par trenzado) y la fibra óptica como medios de transmisión de datos físicos.
- Realizar una conexión entre dos PLC Siemens uno como maestro y el otro como esclavo con una interfaz de comunicación RS485 con el protocolo Modbus.
- Realizar una conexión inalámbrica con el equipo USR-W 610

- Desarrollar una experiencia educativa utilizando el software Snap Trainer en conjunto a un PLC Arduino Opta.
- Crear las experiencias de laboratorio.

1.13 PROYECCIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

El desarrollo de experiencias prácticas de control y comunicación para la asignatura de redes computacionales IECII, su enfoque principal no es solo fortalecer la enseñanza práctica, también busca establecer un pilar base para la evolución futura del laboratorio, teniendo la capacidad de proyectarse y que sea escalable en el tiempo, permitiendo la incorporación de nuevas tecnologías y ampliar el alcance académico dentro de la carrera Ingeniería en control e instrumentación industrial.

La proyección y sostenibilidad de este trabajo su base es el carácter flexible, escalable y formativo, sin dejar de lado la necesidad de crear experiencias prácticas para la asignatura. Contribuye a un aporte estructural al fortalecimiento práctico y al proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de redes industriales, complementando con los nuevos desafíos tecnológicos educativos que plantea la industria 4.0.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

El objetivo de realizar estas 4 experiencias es comprender y comparar distintos tipos de comunicación utilizados en entornos industriales, de esta forma se busca identificar sus ventajas, limitaciones y aplicaciones en sistemas de control y redes industriales.

2.1 EXPERIENCIA 1: COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS

Esta experiencia tiene como objetivo la comparación de dos medios físicos de comunicación industrial utilizados en redes: cable Ethernet (UTP) y fibra óptica multimodo.

2.1.1 Objetivo

El objetivo de esta experiencia es comparar el desempeño y características con el fin de analizar las diferencias en velocidad de transmisión, estabilidad, alcance y susceptibilidad a interferencias electromagnéticas. La experiencia se va a dividir en dos escenarios, el escenario 1 consiste en la prueba realizada para el cable UTP. El segundo escenario consiste en la prueba realizada para el cable de fibra óptica multimodo.

2.1.2 Ejercicio propuesto para el escenario 1

El escenario para el desarrollo de la prueba del cable utp, se interconectan un computador y un PLC. Se utilizará un tester de red, el cual permitirá ver la continuidad y el orden correcto de los cables, se ejecutará un ping desde el PC a un PLC siendo una herramienta que permitirá comprobar si el equipo está en la red y accesible.

2.1.2.1 Tabla de equipos para el escenario

Para realizar la prueba se elaboró una Tabla 2-1 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-1 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por par trenzado.

N°1	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C	1

	AC/DC/RLY	
2	Computador	1
3	Par trenzado Cat 5 E	2 mts
4	Software, Tia portal V18	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.1.2.2 Resultados esperados para el escenario 1

Los resultados esperados para la prueba de comunicación con el cable UTP son: debe estar bien crimpado a su conector RJ45 ya sea en 568A o 568B y pasar la prueba de tester de red, que exista una comunicación entre el computador y el PLC, realizado la prueba de encender luces confirmando que existe tal comunicación, para que así la red no reporte errores de transmisión o pérdidas de paquetes, la prueba de ping como pruebas de comunicación.

2.1.3 Ejercicio propuesto para el escenario 2

El escenario para el desarrollo de la prueba con cable de fibra óptica, se realizará una conexión entre dos PLC ubicados a una distancia de aproximadamente 2 metros, utilizando un cable UTP entre el PLC y el swich para luego interconectar utilizando la fibra óptica como medio de transmisión en conjunto con convertidores de medio.

2.1.3.1 Tabla de equipos utilizados fibra óptica

Para realizar la prueba se elaboró la tabla 2-2 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-2 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por fibra óptica.

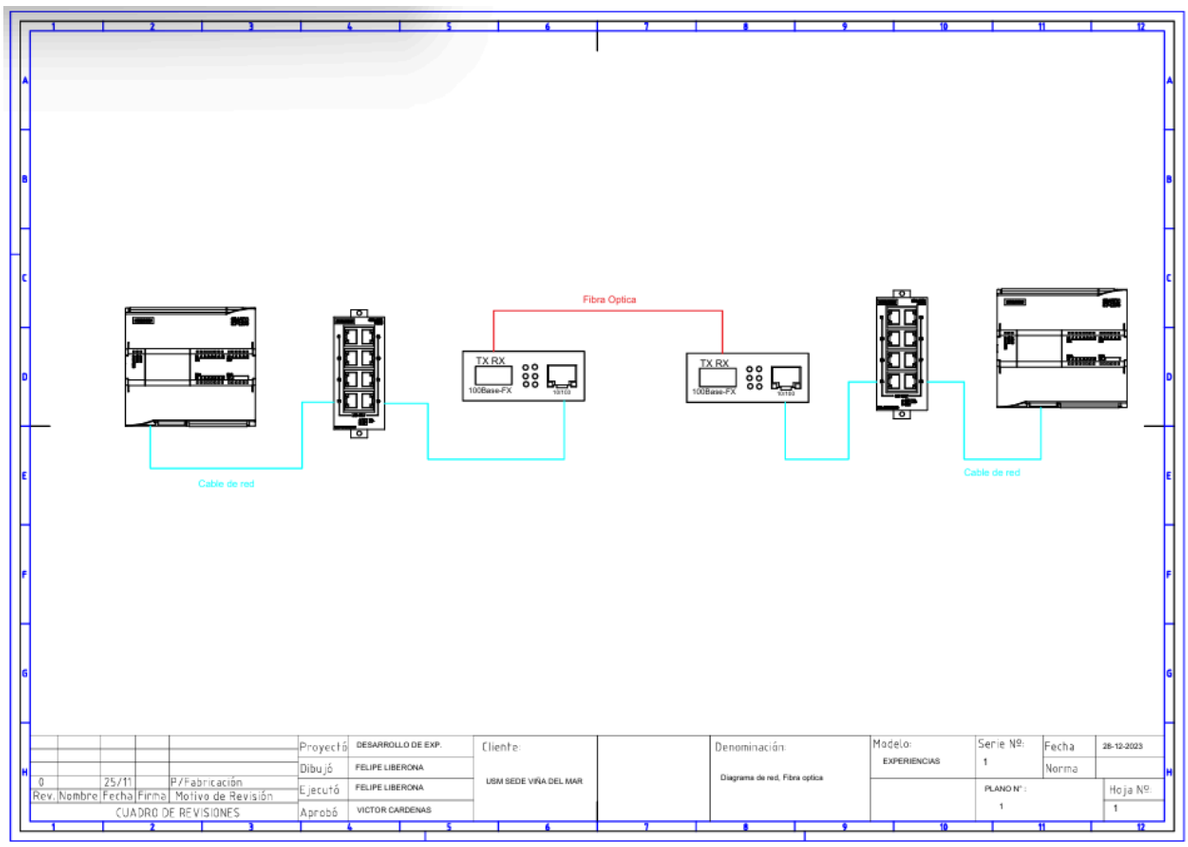
N°2	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY	2
2	Scalance XB005	2

3	Fast Ethernet Media Conver.	1
4	Fibra óptica MM	2Mts
5	Software, TIA Portal V18	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.1.3.2 Diagrama de red para el escenario 2 de fibra óptica

En la figura 2-1 se muestra el diagrama que se realizó para la prueba.



Fuente Elaboración propia

Figura 2-1 Diagrama de red comparación de medios físicos con fibra óptica mm

2.1.3.3 Resultados esperados fibra óptica

Los resultados esperados para la prueba con la comunicación a través de fibra óptica son: El estado de los equipos y de la fibra óptica que debieran estar en buenas condiciones, que exista una comunicación entre los PLC pudiendo encontrarse en la red, logrando que la prueba de ping o comunicación sea realizada con éxito y de una manera visual por el encendido de los leds.

2.2 EXPERIENCIA 2 : CONVERTIDOR INDUSTRIAL DE COMUNICACIÓN USR-W610

El USR-W610 es un módulo convertidor de comunicación industrial que permite establecer una comunicación entre los puertos RS232, RS485 o TTL y redes Ethernet o WiFi, teniendo como principal función transferir datos entre dos dispositivos y una red TCP/IP ayudando a la conexión remota de equipos industriales, sin la necesidad de un cableado físico.

2.2.1 Objetivo de la experiencia con el convertidor industrial de comunicación USR-W 610

El objetivo de la experiencia será implementar una comunicación por un medio físico que va ser un cable de red y la otra parte de la experiencia será una comunicación inalámbrica, la comunicación entre un arduino uno y un plc arduino opta en una primera instancia se hará, desde el arduino hasta un computador por medio físico y inálambrico para luego reemplazar el computador por un PLC, con el fin de demostrar la transmisión de datos vía Wifi y física basada en interfaces como el RS-485 en el contexto de redes industriales.

2.2.2 Importancia del equipo y tecnología del USR-W610

La importancia del equipo y su tecnología es debido a que corresponde un dispositivo de conversión de Wifi a ethernet que permite una la integración de equipos por medio de RS-232 o RS-485 a redes inalámbricas. El uso en entornos industriales permite reducir el cableado físico, actualizar sistemas que no poseen interfaces de red y facilitar el monitoreo remoto.

En comparación con otras tecnologías de comunicación inalámbrica, como lo son LoRa o Zigbee, el USR-W610 es una opción más práctica y económica en entornos cerrados o de corta distancia, donde previamente exista una red Wifi disponible. El USR-W610 ofrece una velocidad de transmisión, menor latencia y compatibilidad con protocolos industriales como Modbus TCP y Modbus RTU, facilitando su integración en redes industriales.

2.2.3 Ejercicio propuesto para el módulo USR - W 610

A continuación, se presentan los distintos escenarios de aplicación desarrollados con el módulo USR-W610, con el fin de evaluar sus capacidades de comunicación y comprender las diferentes formas en que se puede integrar a redes industriales. Cada escenario se diseñó para analizar un aspecto específico de su funcionamiento o interoperabilidad con otros dispositivos.

2.2.4 Escenario I con el módulo USR-W610

Este escenario consiste en establecer una comunicación entre un arduino uno R3 y un computador por un medio físico, usando el USR-W610 como puente entre la interfaz serial del arduino la cual pasa por un conversor de TTL 485 permitiendo que el arduino se pueda comunicar por el protocolo RS-485 al módulo USR - W610. Se tiene como objetivo establecer una conexión entre una red Ethernet y una red serial RS-485 para demostrar la capacidad del módulo de convertir tramas Modbus TCP en Modbus RTU.

2.2.4.1 Tabla de equipos para el escenario I con el módulo USR-W610

Para realizar la prueba se elaboró la tabla 2-3 con los equipos que se requieren para el escenario I.

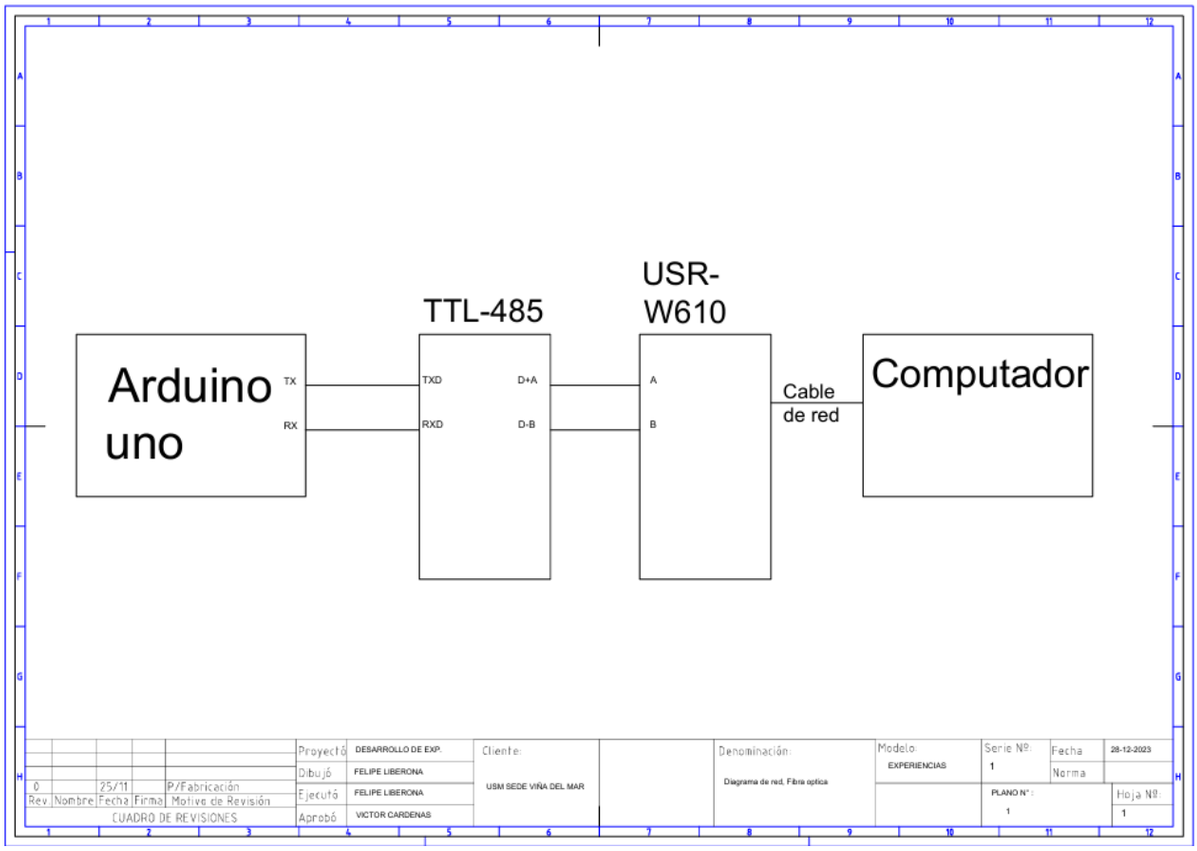
Tabla 2-3 Equipos requeridos para el escenario I USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	1
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para el escenario I

2.2.4.2 Diagrama de red para el escenario I con el módulo USR-W610

A continuación, se muestra en la figura 2-2 el diagrama de red utilizado para el escenario I.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Diagrama de bloques escenario I

2.2.4.3 Resultados esperados para el escenario I con el módulo USR-W610

El arduino enviará información obtenida ya sea por un sensor conectado a la placa o por un contador en su programación por UART pasando por un convertidor lógico permitiendo al arduino uno comunicarse por medio de RS485 con el USR -W610 el cual transmite la información por un medio físico al computador, utilizando un programa como el Modbus Poll que será encargado de recibir los datos y mostrar los datos.

2.2.5 Escenario II con el módulo USR-W610

El segundo escenario se busca crear una red inalámbrica entre dos puntos, en donde los dispositivos USR-W610 van a permitir la comunicación entre el arduino uno y el computador por una red WiFi sin la necesidad de una previamente existente. Se tiene como objetivo determinar la viabilidad del uso de comunicación inalámbrica y su aplicabilidad en sistemas industriales donde se requiera una reducción del cableado.

2.2.5.1 Tabla de equipos para el escenario II con el módulo USR-W610

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-4 con los equipos que se requieren para realizar el escenario de prueba.

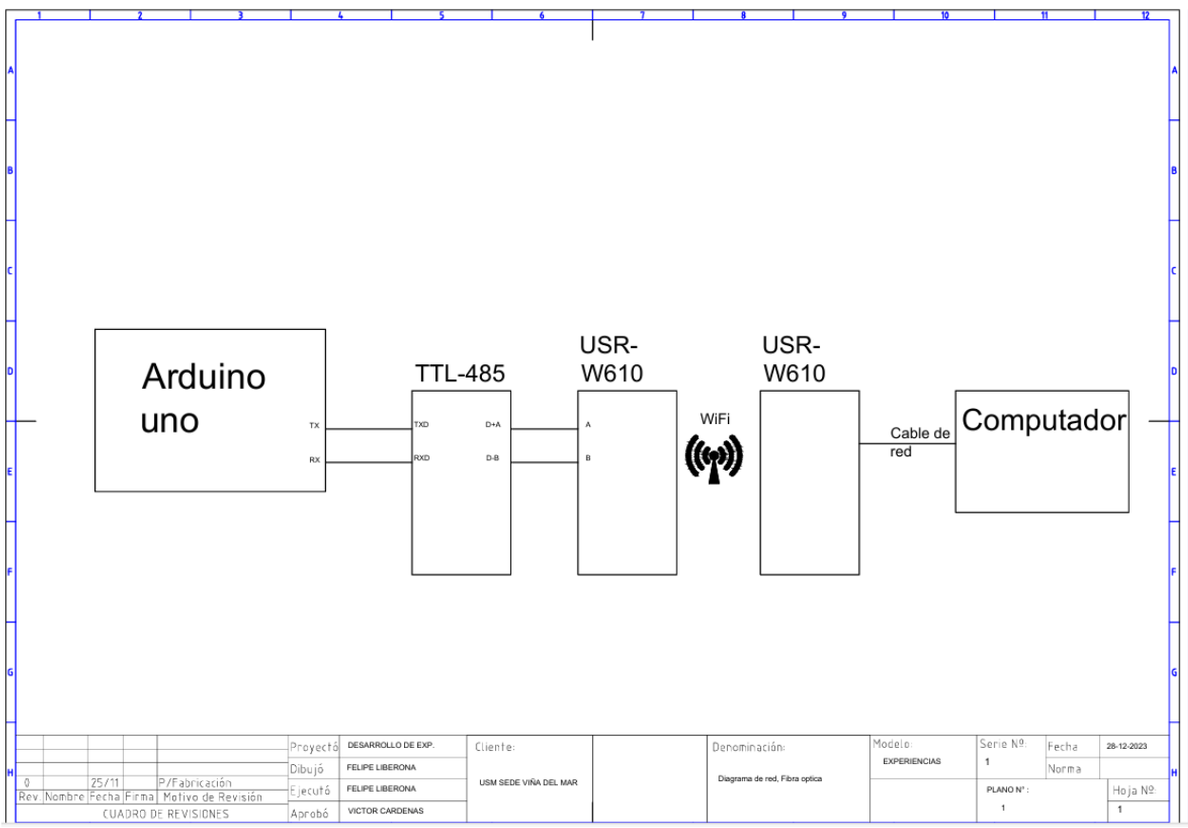
Tabla 2-4 Equipos requeridos para el escenario II USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	2
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para el escenario II

2.2.5.2 Diagrama de red para el escenario II con el módulo USR-W610

En la figura 2-3 se muestra el diagrama de red que se realizó para el escenario II



Fuente: Elaboración propia Figura 2-3 Topología de red escenario II

Figura 2-3. Diagrama de bloques para escenario

2.2.5.3 Resultados esperados

Los datos que son enviados por el arduino llegan a ser transmitidos por un USR-W610 el cual los envía a otro USR-W610 mediante TCP/IP. El computador será el que recibirá los datos y los mostrará por el programa Modbus Poll.

2.2.6 Escenario III con el módulo USR-W610

El escenario III busca establecer la comunicación entre un PLC Arduino Opta actuando como maestro y un computador con el programa Snap Trainer actuando como esclavo. Este escenario se desarrollan el protocolo modbus TCP/IP como también RTU, en conjunto con un PLC Arduino Opta, un módulo USR-W610 y un adaptador de USB/RS-485 finalizando con un computador ejecutando el programa Snap Trainer para un control de un semáforo.

2.2.6.1 Tabla de equipos

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-5 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

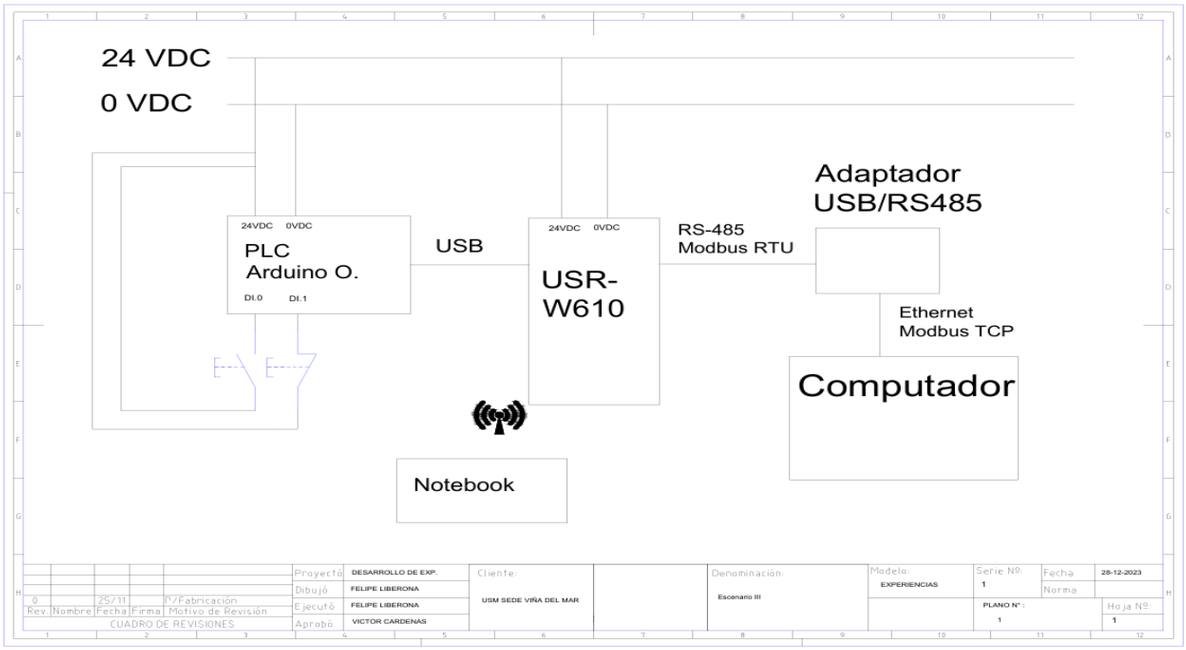
Tabla 2-5 Equipos requeridos para el escenario III USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	1
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1
5	PLC arduino Opta	1
6	Adaptador USB/RS 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.2.6.2 Diagrama de red

En la figura 2-4 se muestra el diagrama de red que se realizó para escenario III.



Fuente: Elaboración propia Topología de red escenario III

Figura 2-4. Diagrama de bloques para escenario III.

2.2.6.3 Resultados esperados

Los resultados esperados para este escenario, es que la comunicación entre el PLC Arduino Opta y el módulo USR-W610 sea correcta en su configuración de IP. La comunicación Modbus RTU debe ser estable entre el módulo USR-W610 y el computador en conjunto con el adaptador USB-RS485. El PLC Arduino Opta controla el semáforo luces verde y roja por medio de la comunicación establecida y escribiendo en los registros específicos. La comunicación debe operar de forma estable durante un periodo de tiempo prolongado, sin caídas de conexión o errores de transmisión.

2.3 EXPERIENCIA III : COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS

El escenario de pruebas para la comunicación maestro esclavo por profibus, se realizará un control on/off de un motor por medio de una pantalla HMI que estará conectado por profinet al PLC maestro, enviando la señal por medio del protocolo profibus al PLC esclavo en donde una de sus salidas cerrará el contactor correspondiente al motor para así hacerlo funcionar.

2.3.1 Importancia de la comunicación maestro esclavo por profibus

La importancia de esta experiencia es comprender la utilización del protocolo de comunicación modbus siendo uno de los más utilizados en las redes de automatización, permitiendo un intercambio de comunicación eficiente y rápido.

Al ser una comunicación maestro-esclavo puede ser ideal para redes pequeñas en donde el maestro tenga el control sobre el intercambio de datos.

2.3.2 Objetivo de la experiencia III

El objetivo es evaluar la transmisión y respuesta de señales de control entre ambos controladores, verificando la correcta configuración del intercambio de datos.

2.3.3 Ejercicio propuesto para la experiencia III comunicación maestro esclavo por profibus

El ejercicio propuesto para la comunicación maestro esclavo por profibus, se realizará un control on/off de un motor por medio de una pantalla HMI que estará conectado por profinet al PLC maestro, enviando la señal por medio del protocolo profibus al PLC esclavo en donde una de sus salidas cerrará el contactor correspondiente al motor para así hacerlo funcionar.

2.3.4 Tabla de equipos para la prueba de comunicación maestro esclavo por profibus

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-6 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-6 Equipos requeridos para comunicacion maestro esclavo

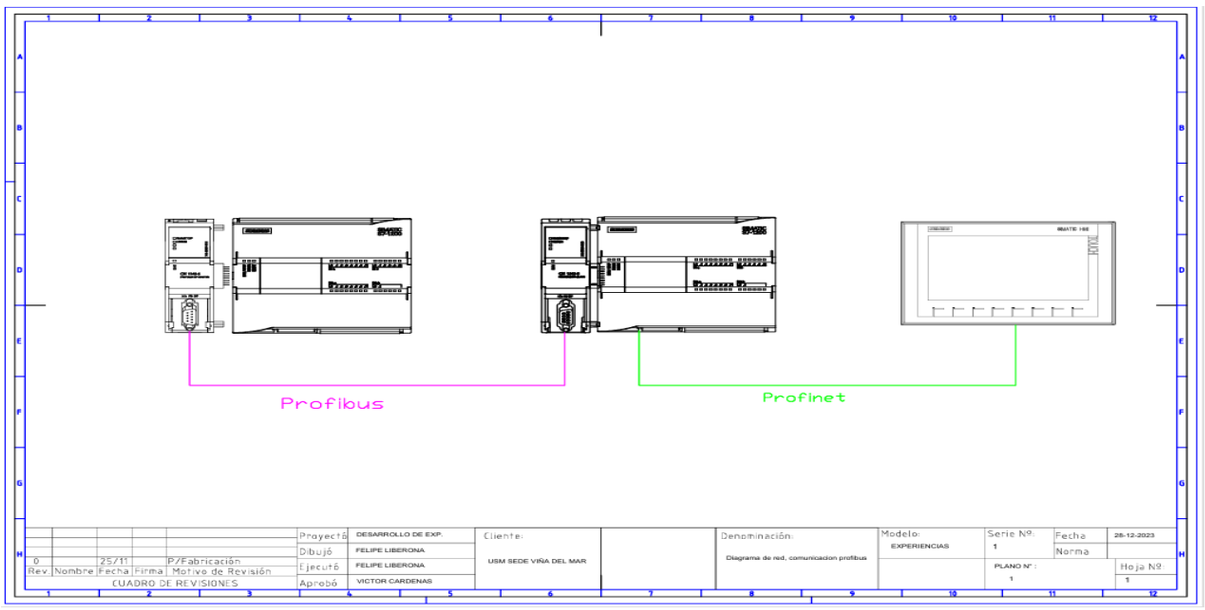
N°4	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY	2
2	HMI KTP 700	1
3	Contactor.	1
4	Fuente 24 VDC	1
5	Motor trifasico	1

6	Módulo de comunicación Maestro CM 1243-5	1
7	Módulo de comunicación Esclavo CM 1242-5	1
8	Cable profibus	2mts
9	Conector DB9	2

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.3.5 Diagrama de red para la comunicación maestro esclavo por profibus

En la siguiente figura 2-5 se muestra el diagrama de red para la experiencia.

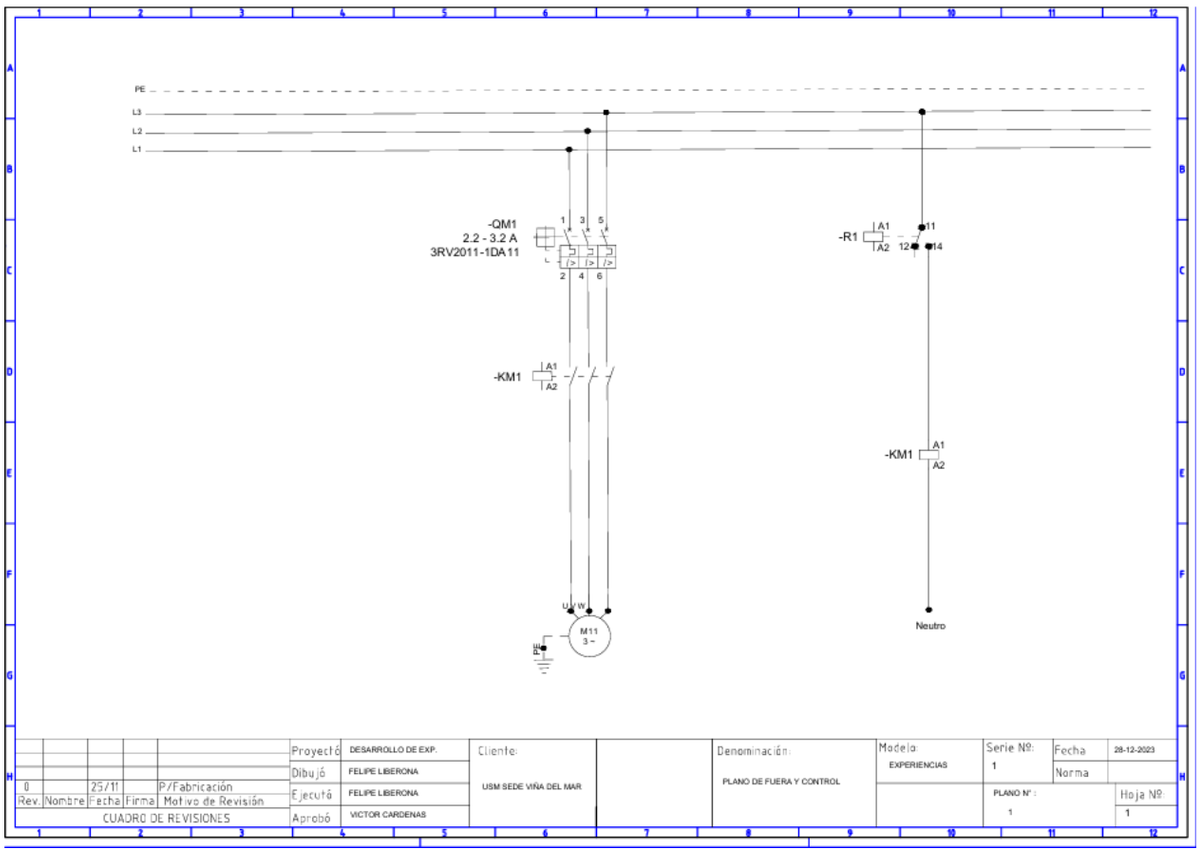


Fuente Elaboración propia

Figura 2-5. Diagrama de red comunicación maestro-esclavo.

2.3.6 Plano de control y fuerza para el motor

Para la experiencia se consideró el accionar de un motor por medio del HMI, para en este caso se desarrolló el plano de control y de fuerza para el motor como se indica en la figura 2-6.

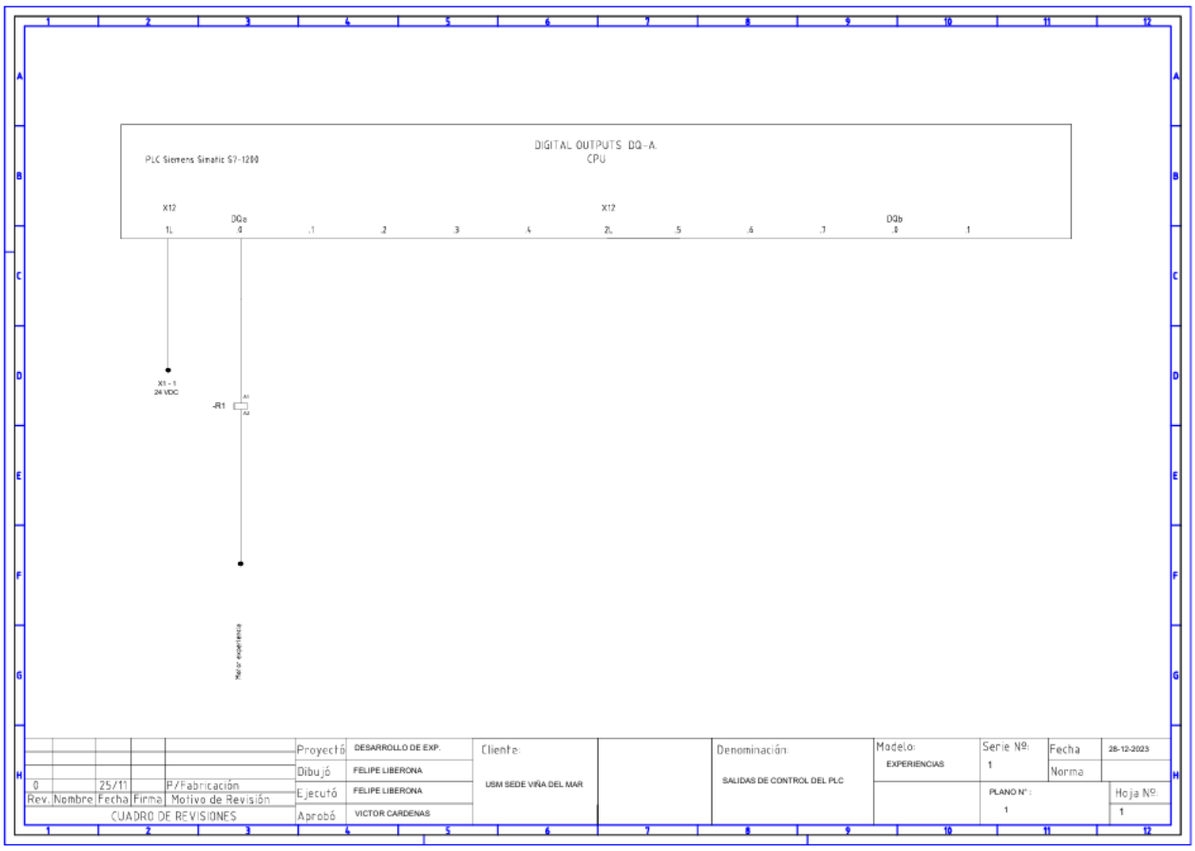


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6. Plano de control y de fuerza del motor.

2.3.7 Plano de salida digital del PLC

Como la experiencia necesita una salida digital para realizar la activación del motor se muestra en la siguiente figura 2-7 cuál salida se utilizará.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7 Plano salidas digitales.

2.3.8 Resultados esperados

Los resultados esperados para la experiencia, es que la conexión entre los PLC uno como maestro y el otro como esclavo se realice correctamente, con sus luces LED verde fijo y el tia portal no presentando errores de programación.

El funcionamiento de apretar el botón en la pantalla HMI y el bit sea enviado hasta el PLC esclavo y pueda ser ejecutado haciendo funcionar el motor.

Que no se detecten pérdidas de datos o interrupciones durante el desarrollo de la experiencia.

2.4 EXPERIENCIA IV: INTEGRACIÓN ENTRE SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA

La experiencia tiene como finalidad establecer una comunicación entre un computador en donde esté instalado el software Snap Trainer y el PLC Arduino Opta, permitiendo ejecutar acciones de control y monitoreo en tiempo real desde computador hacia el PLC.

2.4.1 Objetivo de la experiencia IV

El objetivo es implementar una comunicación entre el software Snap Trainer y el PLC Arduino Opta, validando el intercambio de datos entre ambos dispositivos y evaluar la aplicación como herramienta de monitoreo y control.

2.4.2 Importancia del software snap trainer

La importancia que tiene el software Snap Trainer es que va a permitir al alumnado simular, procesos industriales sin la necesidad de trabajar directamente con esto, logrando que los estudiantes tengan un aprendizaje práctico y seguro, mejorando la comprensión lógica de programación y fomentando el aprendizaje activo.

La compatibilidad que tiene con distintos tipos de controladores como ej: Siemens, Arduino, Allen-Bradley entre otros, nos va a permitir obtener una experiencia completa.

2.4.3 Ejercicio propuesto para la experiencia IV

El ejercicio propuesto para la prueba con el software consistirá en realizar una comunicación entre el PLC Arduino Opta y el software snap trainer utilizando una gateway de comunicación, donde se podrán simular sensores y ver cómo responde ante la simulación a trabajar el PLC.

2.4.3.1 Tabla de equipos para realizar la experiencia del software snap trainer

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-7 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-7 Equipos requeridos experiencia con snap trainer

N°5	Descripción	Cantidad
1	PLC Arduino Opta WiFi	1
2	Gateway Profibus	1
3	Cable profibus	1

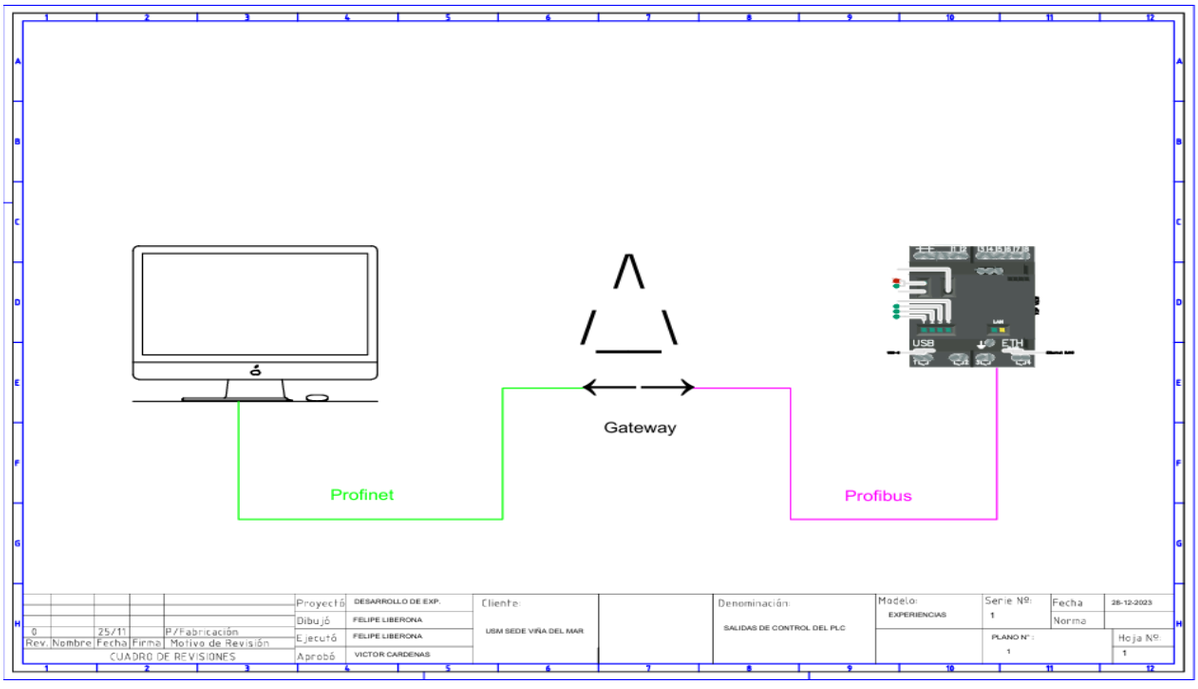
4	Fuente 24 VDC	1
5	Software Snap Trainer	1
6	Software Arduino PLC IDE	1
9	Conector DB9	2

Fuente Elaboración propia. Experiencia con el software snap trainer

2.4.3.2 Diagrama de redes para la experiencia con software snap trainer.

A continuación en la figura 2-8 se muestra el diagrama de red para la experiencia

.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8. Diagrama de red Snap Trainer.

2.4.3.3 Resultados esperados

Los resultados esperados para la experiencia la comunicación entre el arduino Opta y el gateway sea estable en conjunto con la transmisión de datos desde Snap trainer con el protocolo de comunicación profibus para así ir activando salidas en el PLC, todo esto hará que el sistema sea funcional y sin errores de transmisión.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS

3 RESULTADO OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS

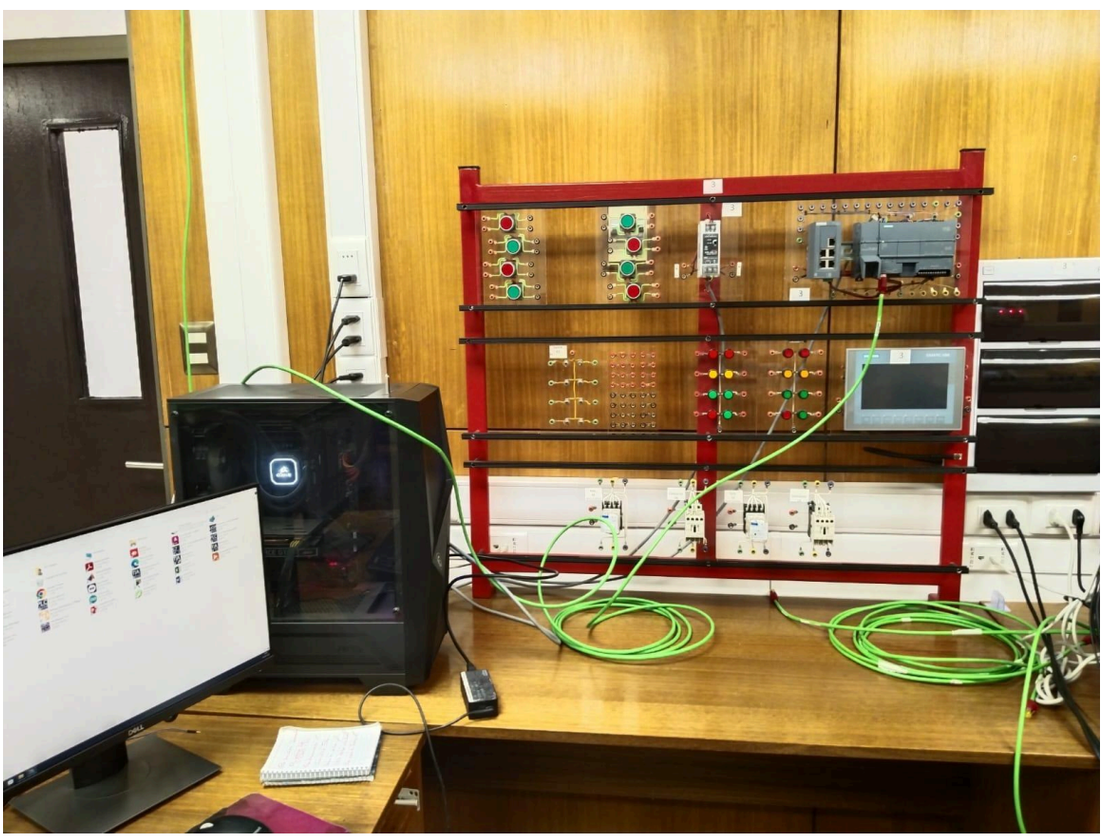
El capítulo presenta el desarrollo y la obtención de los resultados obtenidos en las experiencias. Cada una de estas experiencias se enfocaron en aplicar distintos tipos de protocolos de comunicación y tecnologías, teniendo como un enfoque en conjunto evaluar su aplicación en el área industrial generando entornos educativos y material para el aprendizaje.

3.1 EXPERIENCIA COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos.

3.1.1 Montaje para la experiencia comparación medio físico con cable UTP

Para esta parte de la experiencia en donde el montaje para la experiencia fue la conexión por medio de un cable UTP, entre el PLC y el computador como se muestra en la siguiente figura 3-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1 Montaje comparación de medios físicos.

3.1.2 Configuración de hardware y software

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.1.2.1 Configuración en hardware

Se verificará que los pares de UTP estén conectados de manera correcta y que no haya algún cable cortado internamente.

Este se verificará con un probador de cables en cada extremo del cable verificando que los 8 LEDS enciendan de forma secuencial.

Se verificará con una inspección visual el estado del cable y de los conectores RJ45, en conjunto con los terminales de salida del computador y de entrada del PLC.

3.1.2.2 Configuración hardware.

Para la configuración del hardware se verificará por intermedio de CMD (símbolo de sistema) que va a permitir interactuar a través de comandos con otros dispositivos conectados a la misma red. Con el comando ping y la dirección IP que se asigne al PLC, se verificará que están en la misma red, detectando problemas en la red o pérdida de latencia.

3.1.3 Dificultades y soluciones.

Durante la implementación de esta experiencia no surgieron grandes dificultades, pero como consideración siempre es bueno verificar el estado del cable y de los puertos de red en los equipos, verificar si la IP asignada en el PLC están en la misma red de área local y que son únicas.

3.1.3.1 Direccionamiento de IP.

Como complemento al punto anterior se desarrolló una tabla de direccionamiento de las IP que son utilizadas para esta experiencia como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Direccionamiento de las IP.

Ítem / Dispositivo	Nombre del Nodo	IP Dirección	Máscara de Subred	Gateway	Observación
1	PC 4 de laboratorio	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1	Configuración manual
2	PLC S7-1200	192.168.1.20	255.255.255.0	192.168.1.1	Configuración manual

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia

3.1.4 Análisis de funcionamiento

El computador se comunica con el PLC por intermedio de un cable de red, permitiendo cargar programas al PLC, visualización y monitoreo en línea.

3.1.5 Resultados obtenidos

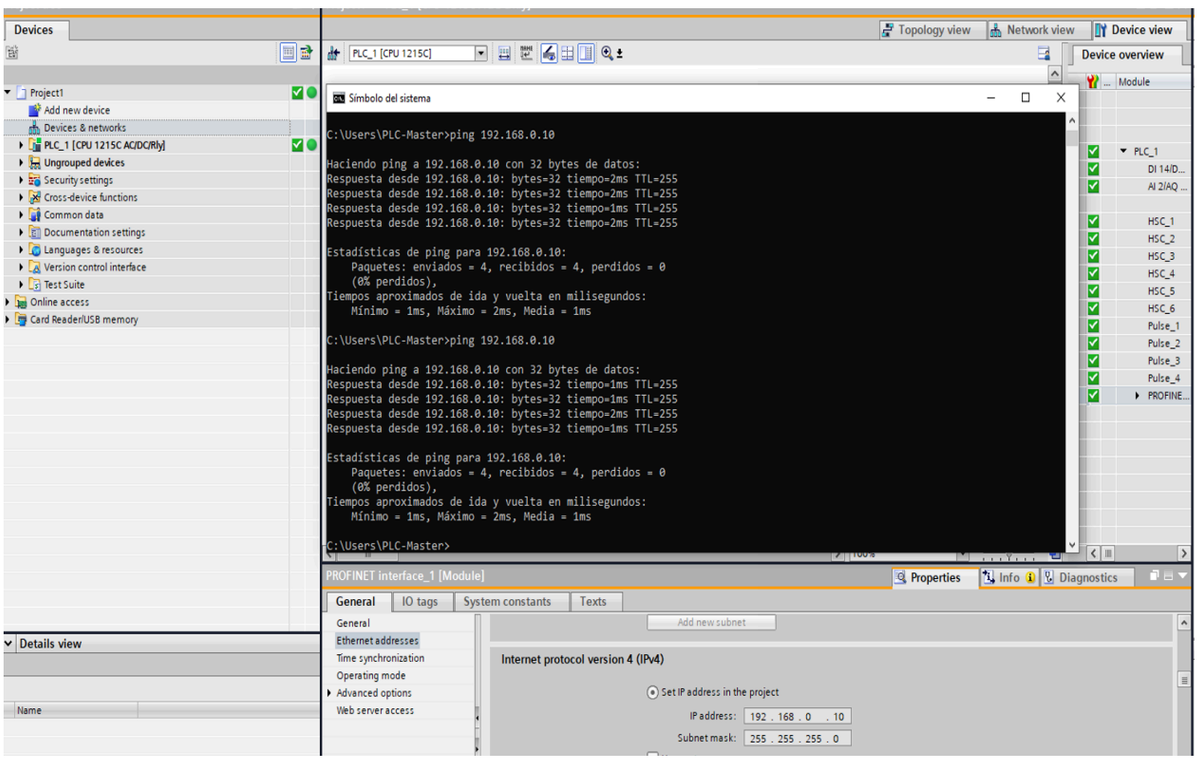
En la tabla 3-2 siguiente se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia. En la figura 3-2 se muestra la interfaz del software Tia Portal V 18 en conjunto con el CMD en donde se verifica que la comunicación se realizó de manera óptima.

Tabla 3-2 Evaluación de la experiencia comparacion de medio físico.

Ítem	Descripción / Valor observado	Resultado
Tipo de conexión física	Cable Ethernet directo	OK
Estado de los puertos	LEDs encendidos/parpadeando en ambos extremos	OK
Dirección IP del PLC	192.168.0.10	OK
Dirección IP del PC	192.168.0.5	OK
Máscara de subred	Ej: 255.255.255.0 en ambos dispositivos	Compatible

Prueba de ping	Respuesta desde el PLC	OK
Software utilizado	TIA Portal / CMD	Compatible
Reconocimiento del PLC	Detectado correctamente desde el software	OK
Comunicación en línea	Lectura/escritura de variables en tiempo real	OK
Protocolo utilizado	PROFINET	Compatible
Estabilidad de la conexión	Comunicación continua sin interrupciones	Estable
Velocidad de respuesta	Baja latencia (<10ms)	Adecuada

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2 Interfaz Tia Portal, CMD

3.2 MONTAJE PARA LA EXPERIENCIA COMPARACIÓN MEDIO FÍSICO CON FIBRA ÓPTICA.

El montaje para el desarrollo de esta experiencia consistió en la comunicación entre dos PLC S7-1200 por intermedio de un conversor de medios de fibra óptica.

3.2.1 Configuración de hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.2.1.1 Configuración en hardware.

En la configuración para la experiencia la conexión entre los dos PLC se realizará con una cable de fibra óptica y conversores de medio, teniendo en cuenta que en los conversores en un extremo se coloca en TX y en el otro el cable de fibra óptica debe llegar el RX, se debe verificar que los LED encienden tanto los de alimentación como los de comunicación.

3.2.1.2 Configuración de software.

Para verificar la comunicación entre los dos PLC se enviará un bit, siendo una prueba sencilla pero efectiva. Al ser transmitido el bit se verificará la integridad de los datos de un PLC a otro, siendo que no sea el caso se procederá a revisar los bloques utilizados (PUT, GET) o un error en la dirección IP.

3.2.2 Análisis de funcionamiento.

Para esta experiencia el principal equipo es el conversor de medio para fibra óptica el cual nos va a permitir ser un puente entre dos redes distintas, una con un cable de red UTP y la otra con una de fibra óptica. El funcionamiento consiste en convertir señales eléctricas usadas en los cables UTP en señales ópticas para su transmisión por el cable de fibra óptica.

3.2.3 Resultados obtenidos.

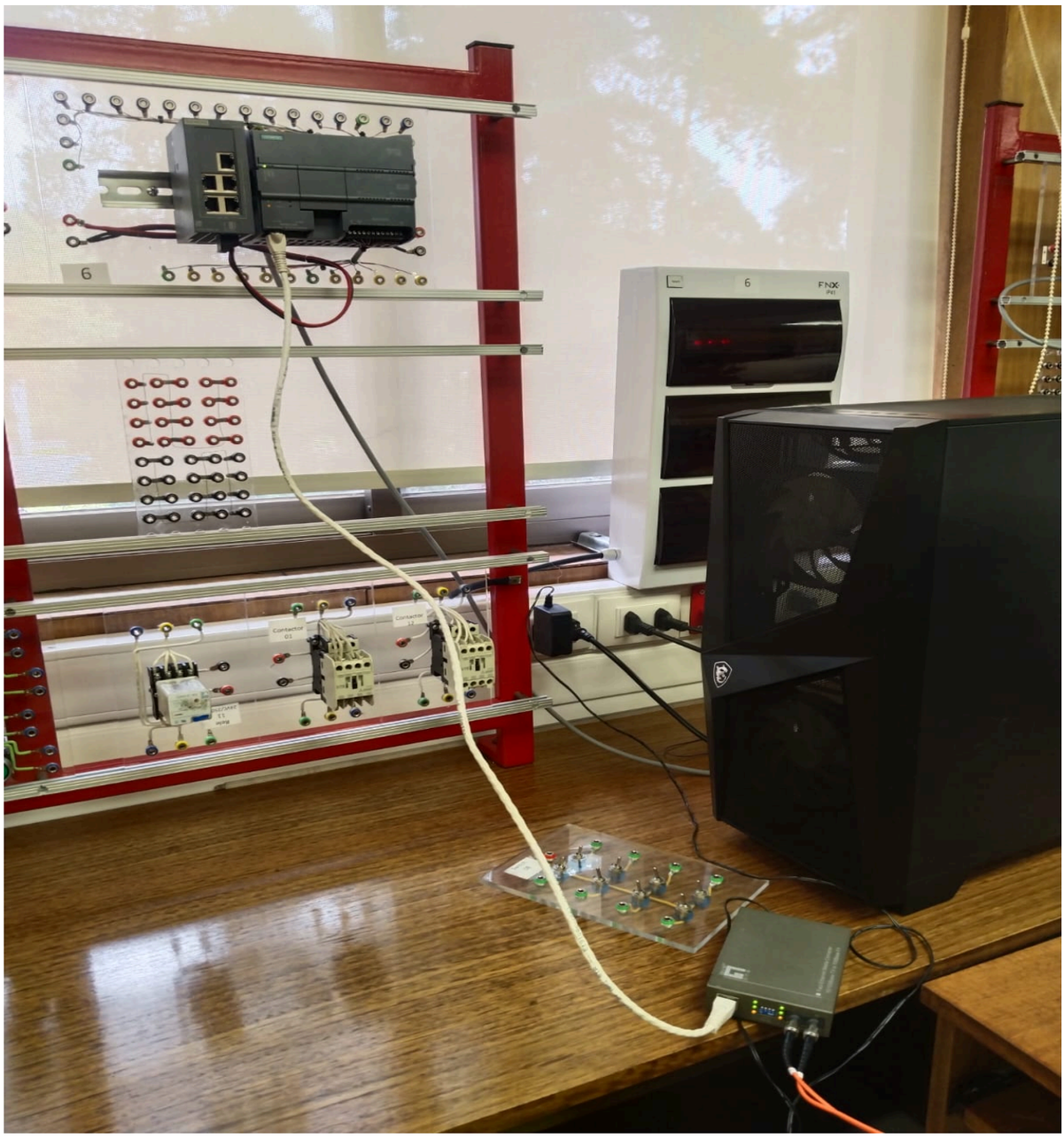
En la tabla 3-3 se presentan de forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia. En la figura 3-3 se aprecia el conversor de medio conectado al PLC , en la figura 3-4 se aprecia el Tia Portal ejecutando el comando PUT.

Tabla 3-3 Evaluación de la experiencia comparación de medio físico con fibra óptica.

Ítem	**Descripción / Valor observado**	**Resultado**
Tipo de conexión física	PLC ↔ Switch (UTP) → Conversores de medio → Fibra óptica → Switch ↔ PLC	OK
Estado de los puertos	LEDs encendidos en los PLC	OK
Dirección IP del PLC Maestro	192.168.0.1	OK
Dirección IP del PLC Esclavo	192.168.0.2	OK
Máscara de subred	255.255.255.0 en ambos dispositivos	Compatible
Prueba de ping	Respuesta desde el esclavo al maestro y viceversa	OK
Software utilizado	TIA Portal V18	Compatible
Reconocimiento del PLC	Ambos PLC detectados correctamente en el proyecto	OK
Comunicación en línea	Posible realizar lectura y escritura en ambos PLC	OK
Protocolo utilizado	PROFINET (GET/PUT)	Compatible
Activación del bit	Bit %M0.0 en maestro llega correctamente a %M1.0 en esclavo	Correcto
Temporizador TON (ET)	ET mostró tiempos entre 2 y 5 ms	Adecuado
Estabilidad de la conexión	Sin cortes ni errores de transmisión durante la prueba	Estable

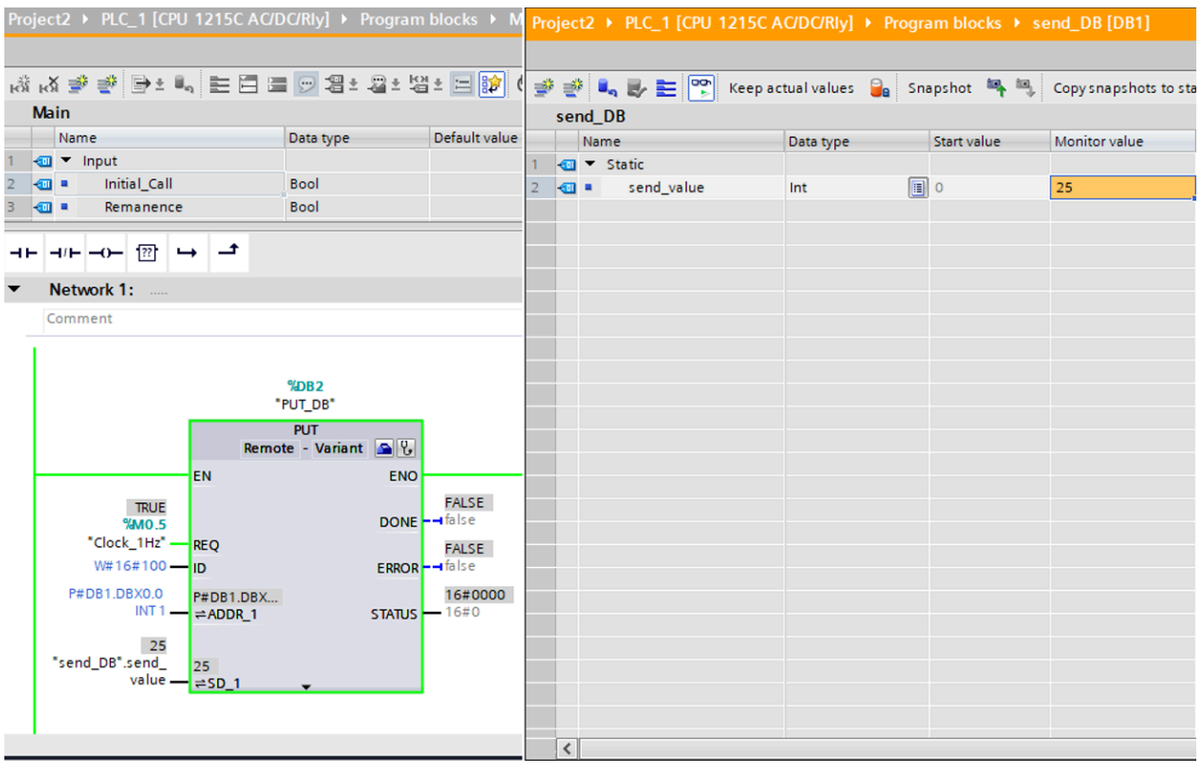
Pérdida de paquetes	No se detectaron pérdidas durante las transmisiones repetidas	No hubo

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Conversor de medio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4 Comando PUT

3.3 EXPERIENCIA CON MÓDULO USR-W610

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos.

3.3.1 Montaje para la experiencia.

El montaje para esta experiencia se dividió en 3 distintos escenarios en donde cada uno se fue agregando complejidad en la arquitectura de comunicación, en donde cada etapa se va introduciendo desafíos técnicos.

3.3.2 Montaje escenario I: Arduino-TTL 485-USR-W610-Computador.

El montaje consiste en conectar el Arduino Uno con un conversor TTL 485 al USR-W610 mediante UART. La configuración del USR-W610 como servidor TCP permite establecer una comunicación con el computador utilizando un cable de red.

Este montaje permite asegurar el correcto funcionamiento del módulo para posteriormente incorporar enlaces inalámbricos en los siguientes escenarios.

3.3.3 Montaje escenario II : Arduino - USR -W610 - USR-W610 - Computador

En este segundo montaje se incorpora un segundo módulo USR-W610, que se conecta por medio de un cable de red, el segundo mantiene el mismo conexionado físico que el escenario uno, ambos módulos se comunican entre sí, de forma inalámbrica siendo configurados uno de manera cliente y servidor.

Al ser un montaje con un segmento de comunicación inalámbrica se va a requerir una configuración específica de IP, puertos y sincronización de datos.

3.3.4 Montaje escenario III: PLC arduino Opta-USR-W610-Snap Trainer

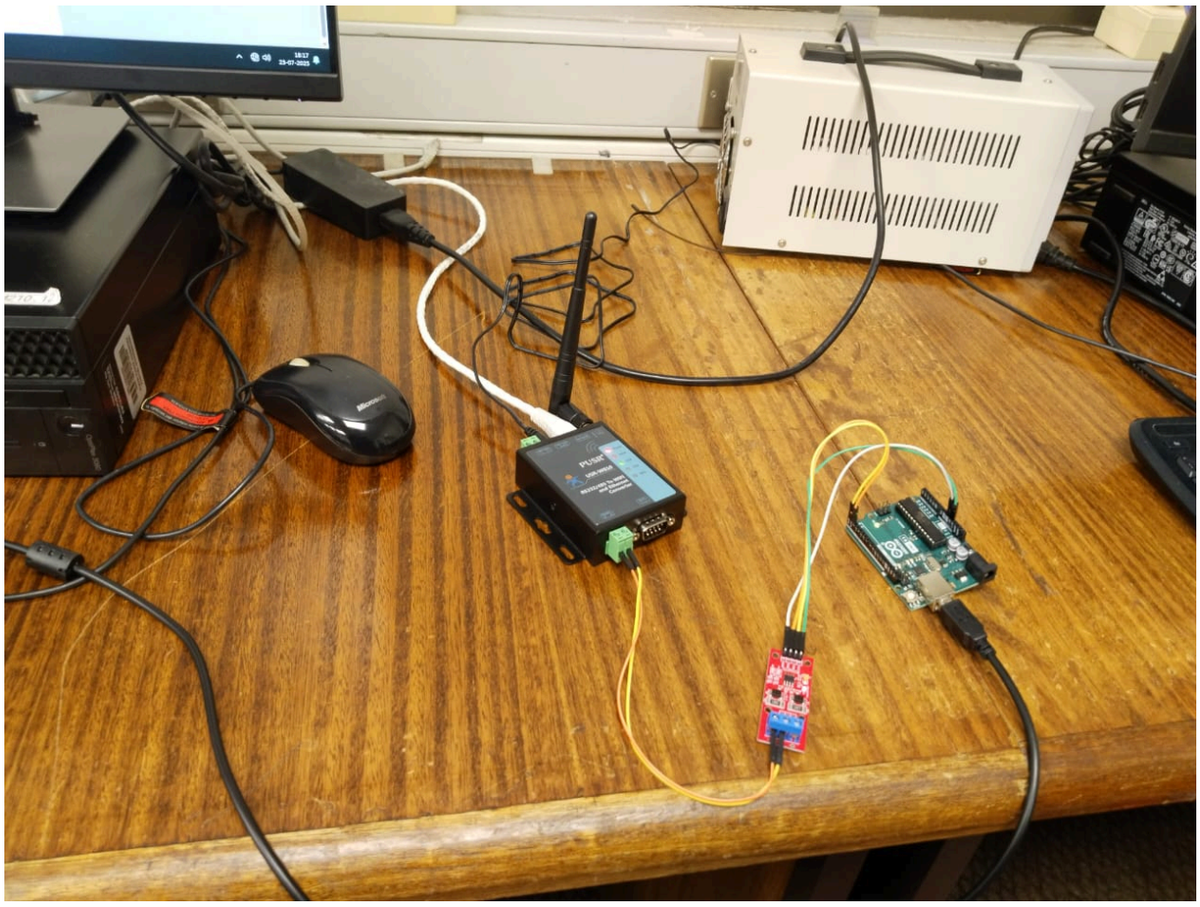
En el tercer montaje para el escenario III, se incorpora el programa Snap Trainer como esclavo, un adaptador USB/RS485 y el PLC Arduino Opta como maestro. Para este escenario el módulo USR-W610 nos va a permitir pasar de Modbus TCP a Modbus RTU y un punto de acceso Wifi. El adaptador USB/RS485 nos permite conectar al computador que tiene el programa Snap Trainer.

3.3.5 Configuración de hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.3.6 Escenario I: Configuración hardware.

La configuración del hardware comienza con dos cables que salen del Arduino UNO de los pines TX-RX conectados al módulo TTL RS485, TXD-RXD (el TX se conecta con RXD y el RX con TXD). Desde el módulo TTL RS485, los pines de salida A y B son conectados al terminal RS 485 del módulo USR - W610, respetando la polaridad indicada por el fabricante. Finalizando, desde el módulo USR - W610 se conecta al computador por un cable de red. A continuación, se muestra la figura 3-5.



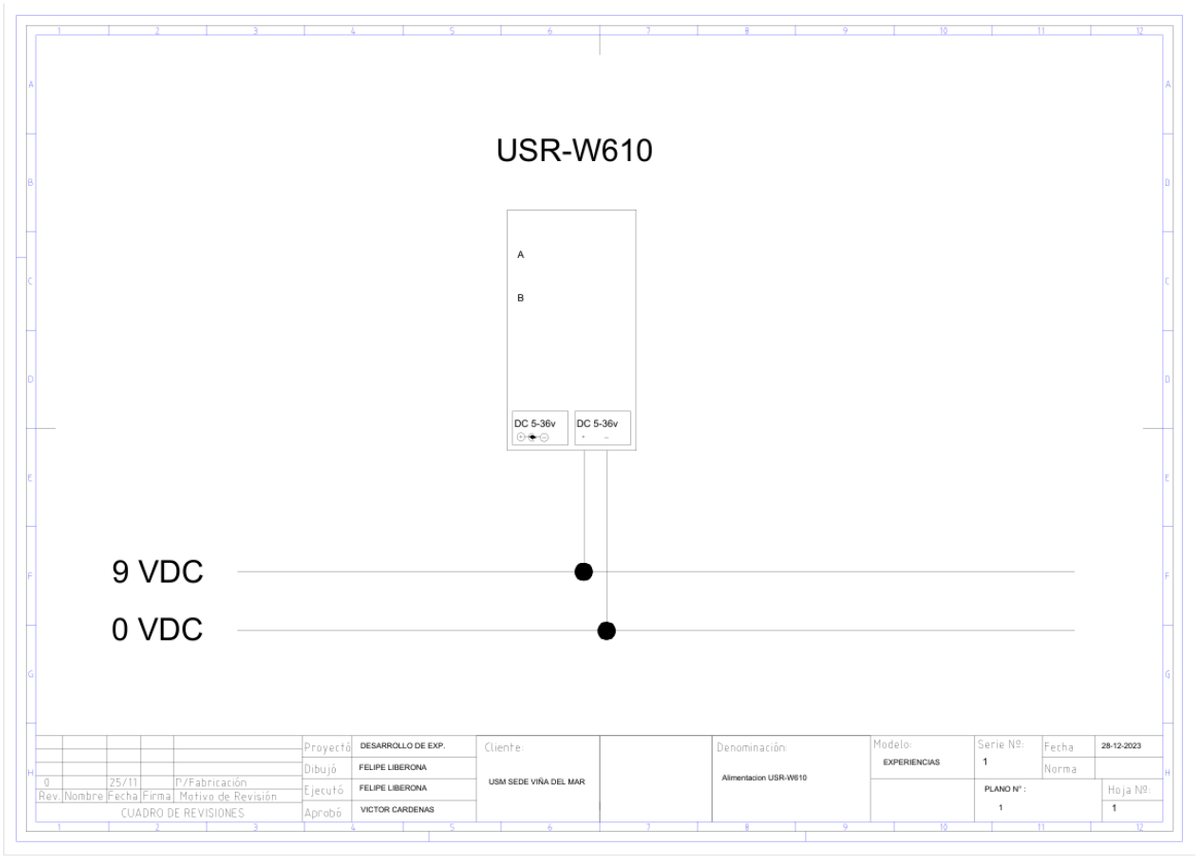
Fuente Elaboración propia

Figura 3-5. Montaje para el escenario I.

3.3.7 Diagrama eléctrico para el módulo USR-610

El diagrama eléctrico facilita la visualización de la alimentación del módulo como se muestra en la siguiente figura 3-6. El diagrama eléctrico cumple un rol fundamental para la implementación del equipo, ya que teniendo una referencia visual para el cableado minimiza los posibles errores en su conexión, además permite identificar la polaridad correcta de la alimentación.

De esta forma el diagrama no solo facilita la compresión del cableado físico del módulo, también es un complemento para el diagnóstico, mantenimiento y posibles trabajos de expansiones del módulo de comunicación industrial USR-W610.



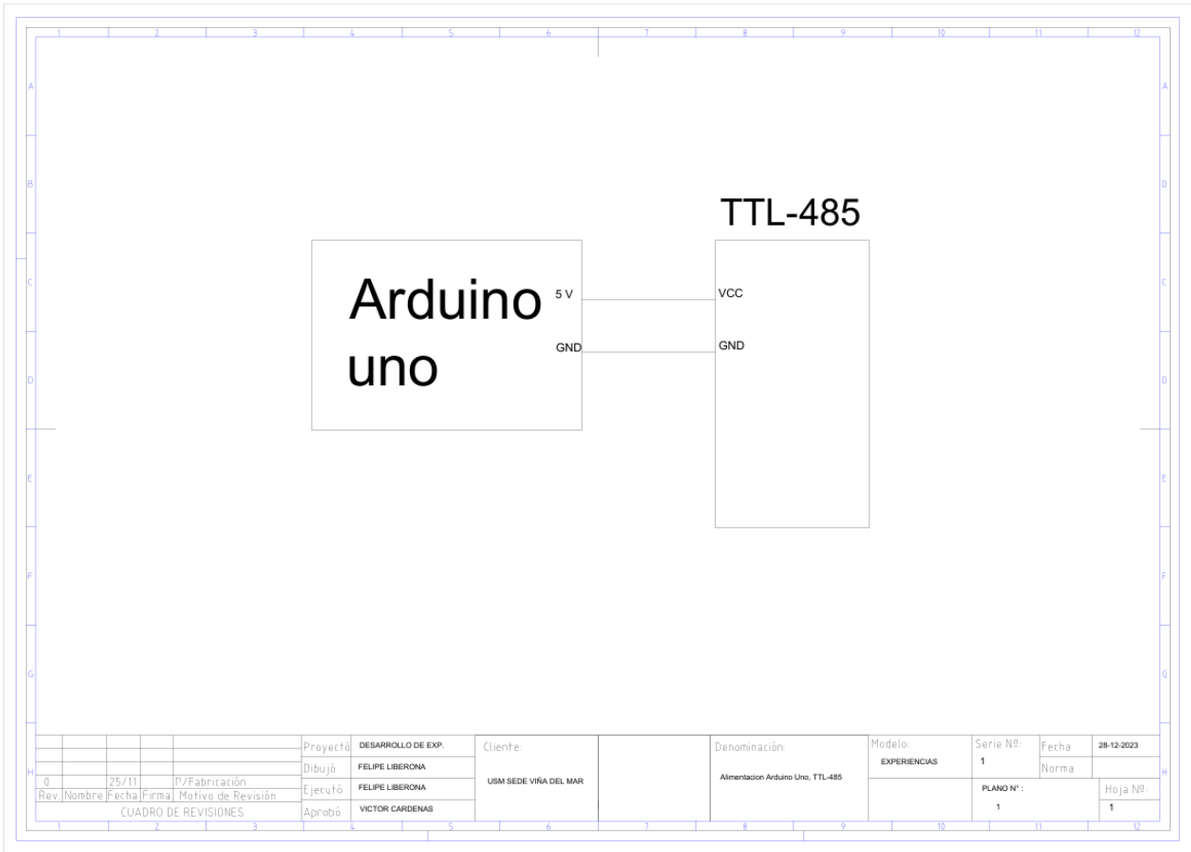
Fuente Elaboración propia

Figura 3-6 Diagrama eléctrico para el conversor USR-W610

3.3.8 Diagrama electrico para Arduino Uno, TTL-RS485

El diagrama eléctrico facilita la visualización de la alimentación del Arduino Uno y da entender que la alimentación de TTL-RS485 depende del Arduino Uno, estableciendo una relación de maestro esclavo con respecto a la provisión energía como se muestra en la figura 3-7.

En términos prácticos tener un diagrama de conexión eléctrica contribuye mejor a la comprensión de la alimentación del equipo siendo esencial para tareas de verificación, mantenimiento y futuras modificaciones.



Fuente Elaboración propia

Figura 3-7 Diagrama eléctrico para Arduino uno- TTL-485

3.3.9 Código de programación que se utilizará en el Arduino uno R3.

El código de programación a utilizar en el Arduino Uno R3 es esencial en el funcionamiento y desarrollo de los tres escenarios, siendo el que se muestra en la figura 3-8.

Este programa fue diseñado con el fin de obtener una transmisión y recepción de datos confiable, el código define las configuraciones de los pines de comunicación, parámetros de velocidad (baud rate) y el procedimiento continuo que aseguran un intercambio de información estable. Además, el código puede adaptarse fácilmente a distintos entornos de prueba permitiendo una flexibilidad y escalabilidad, de esta manera la correcta implementación va a permitir validar funcionalidades esperadas y comportamientos en diversas condiciones.

```
#include <ModbusRTU.h>

#define REGN 10  // Registro donde se almacenará el número aleatorio
#define REGN2 11  // Registro donde se almacenará el número aleatorio
#define REGN3 12
#define SLAVE_ID 1  // ID del esclavo Modbus

ModbusRTU mb;

void setup() {
  Serial.begin(38400, SERIAL_8N1);  // Inicia la comunicación Serial con la configuración estándar

  mb.begin(&Serial);  // Inicia el Modbus RTU y asigna el puerto Serial
  mb.slave(SLAVE_ID);  // Configura el dispositivo como esclavo con el ID especificado

  mb.addHreg(REGN);  // Añade el registro de retención en la dirección especificada
  mb.addHreg(REGN2);
  mb.addHreg(REGN3);
}

void loop() {
  int randomNumber = random(0, 100);  // Genera un número aleatorio entre 0 y 100
  int randomNumber2 = random(200, 300);
  int randomNumber3 = random(400, 500);
  mb.Hreg(REGN, randomNumber);  // Establece el valor del registro de retención
  mb.Hreg(REGN2, randomNumber2);
  mb.Hreg(REGN3, randomNumber3);

  mb.task();  // Procesa las tareas Modbus RTU
  delay(100);  // Espera un poco antes de la siguiente actualización
}
```

Fuente Informe 1 de ayudantía

Figura 3-8 Código para Arduino Uno

3.3.10 Escenario I: Configuración software.

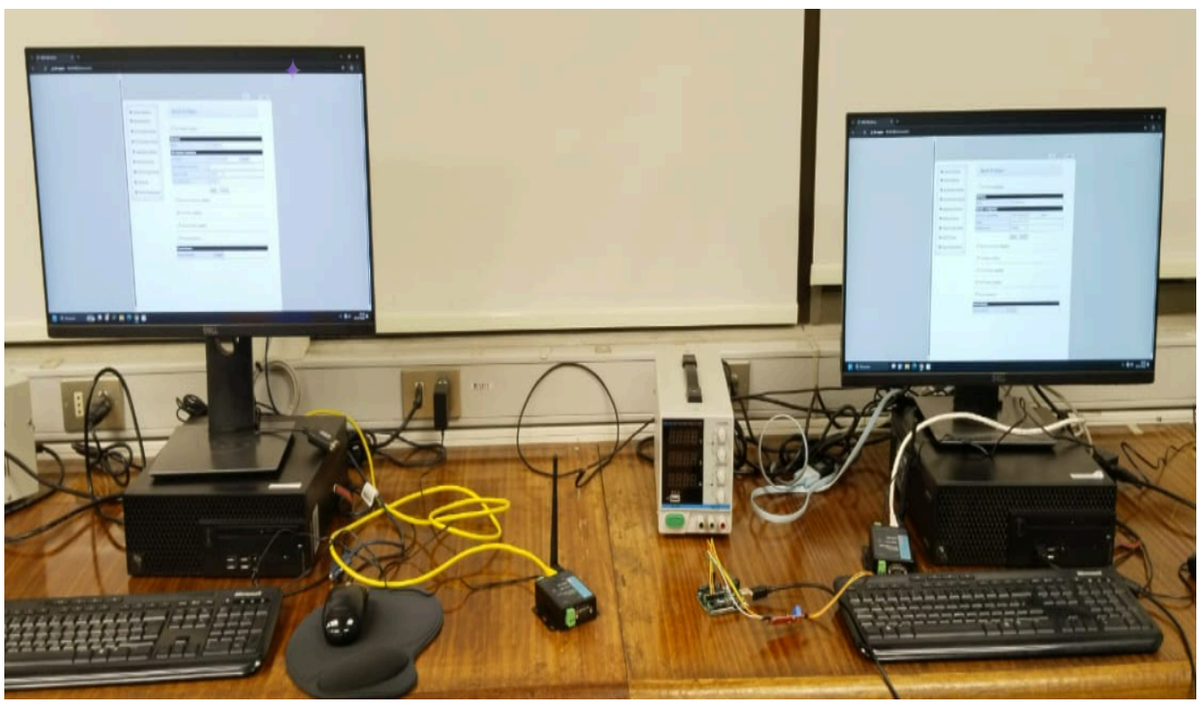
Para la configuración de la parte del software ya sea en el computador donde se debe conocer la ip, además se debe instalar el programa Modbus Poll el cual también se tiene que configurar algunos parámetros. Para la configuración del módulo USR-W610 uno tiene que ingresar al navegador colocar la IP indicada en la etiqueta del módulo y las credenciales de acceso, en la web configuration interface se tiene que modificar el modo de trabajo ya sea TCP/UDP/AP cliente o servidor asignar una IP estática. Para verificar si el computador tiene comunicación con el módulo desde el CMD uno utiliza el comando Ping a la dirección IP asignada al módulo.

3.3.11 Escenario II: Configuración hardware

Se mantiene la misma configuración que el anterior escenario, conservando tanto la estructura del circuito como la disposición de los componentes, pero se va a disponer de un segundo módulo USR - W610, el cual se conectará al computador por un cable de red. Teniendo dos módulos USR-W 610 se podrá realizar una conexión por WiFi entre ellos como se muestra en la figura 3-9.

La implementación de un segundo módulo USR-W610 permite un enlace de punto a punto, en donde un módulo actúa como servidor (AP mode) y el otro como cliente (STA mode), logrando una comunicación bidireccional que permite la transmisión de datos sin la necesidad de un medio físico como transmisor, manteniendo estabilidad y confiabilidad en las comunicaciones industriales.

En la figura 3-9 se muestra la interacción entre ambos módulos y su vinculación con el computador y el resto de los elementos que componen este escenario.

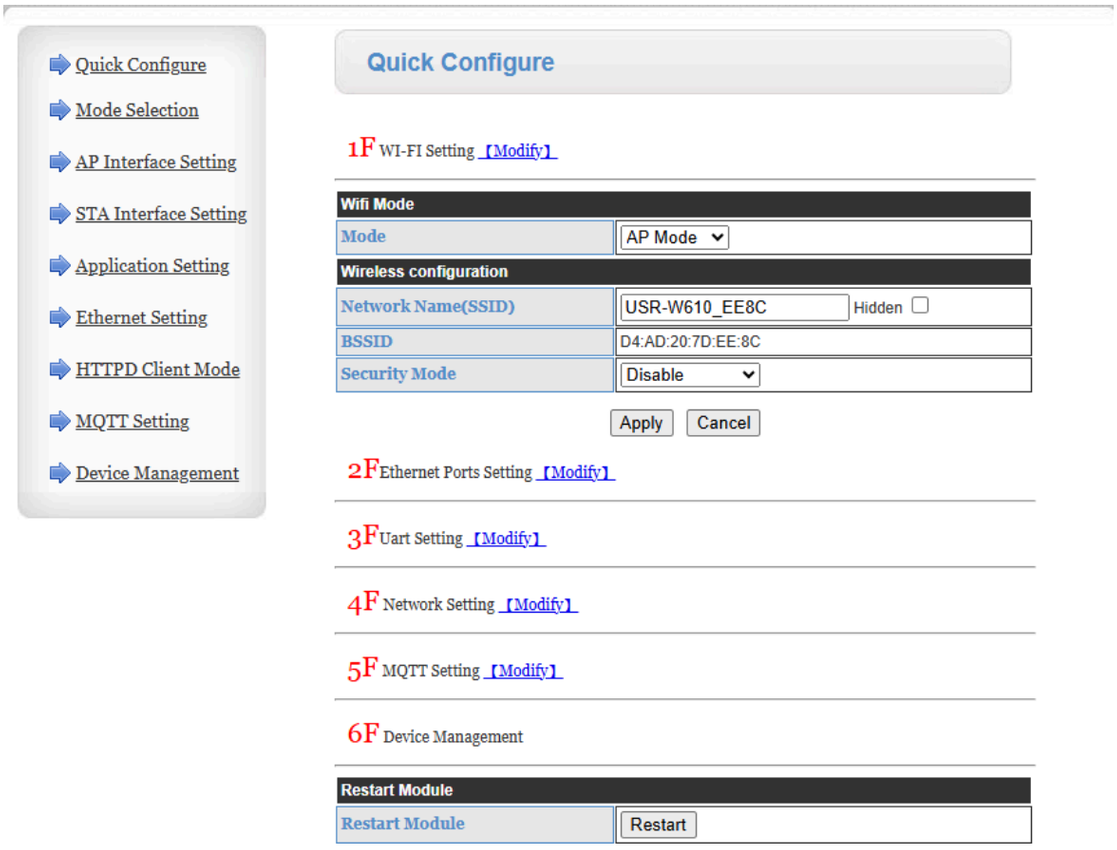


Fuente Elaboración propia

Figura 3-9 Montaje para el escenario II

3.3.12 Escenario II: Configuración software.

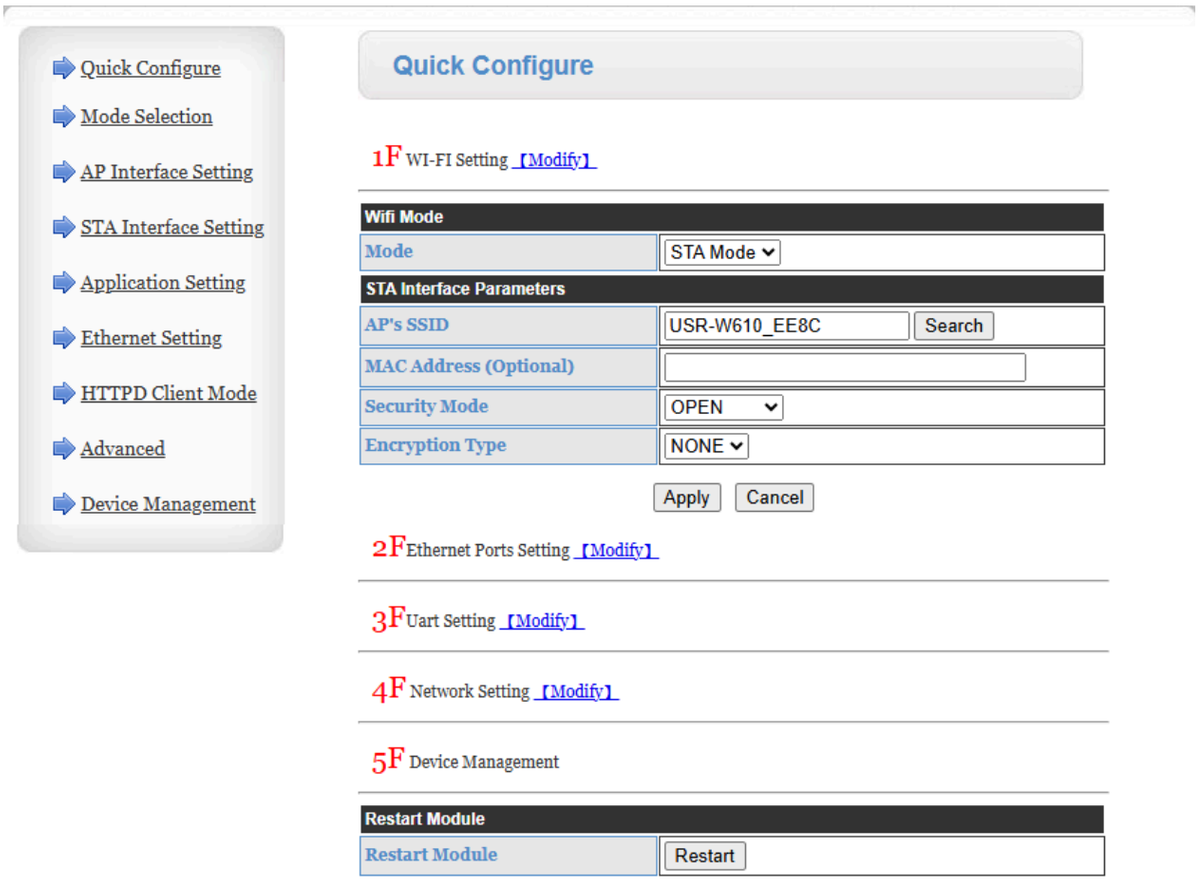
Se mantiene la configuración anterior pero en este escenario se agrega un segundo módulo USR- W610, el módulo que se conecta al arduino se tiene que configurar como servidor en el modo AP creando una red Wifi propia, como se muestra en la figura 3-10.



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-10 Configuración Módulo USR - W610 en AP

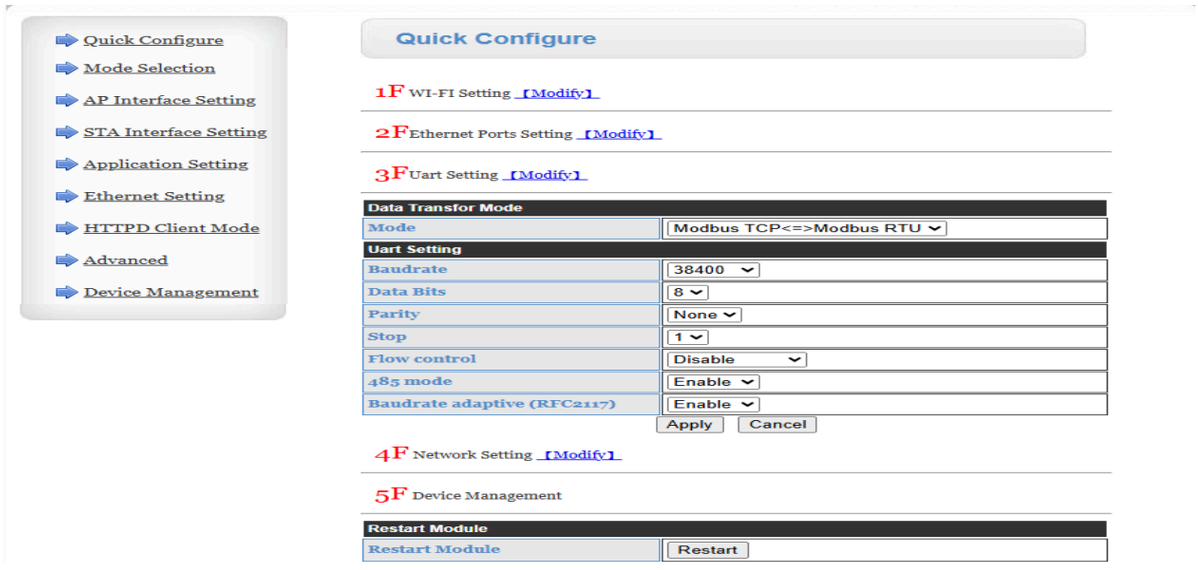
El segundo módulo el cual se comunica con el computador se tiene que configurar como cliente (modo estación) para así conectarse a la red creada por el módulo, como se muestra en la figura 3-11 (estación).



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-11 Configuración Módulo USR - W610 en STA

En los dos módulos se tienen que configurar con mismos parámetros, Puerto local -502 TCP Serial - 38400 Baudrate, 8 Data bits, como se ve en la figura 3-12.



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-12 Parámetros Módulo USR - W610

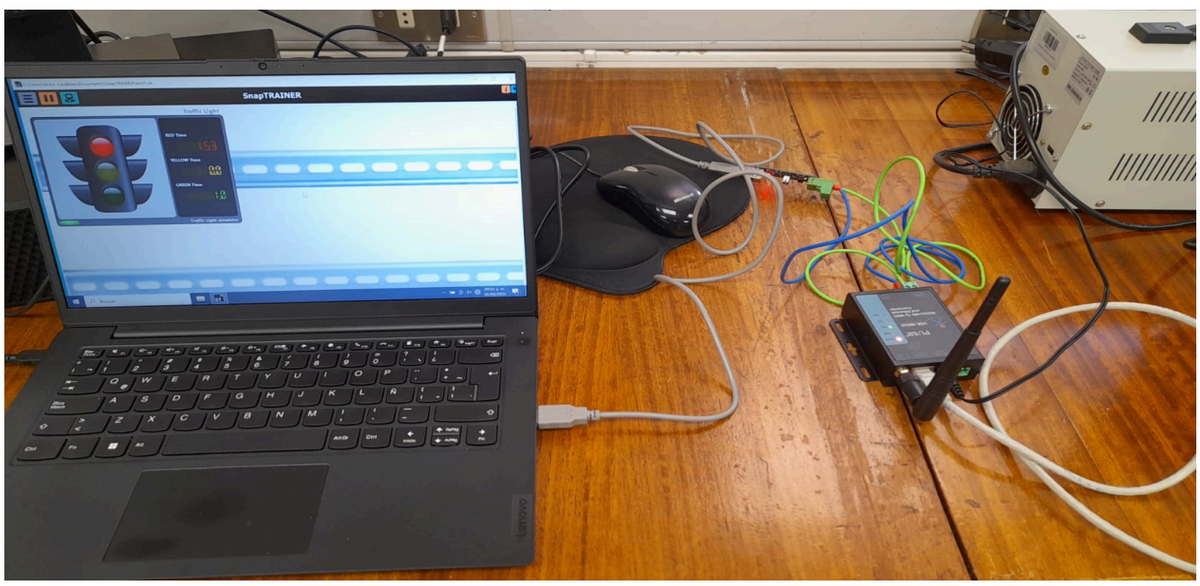
3.3.13 Escenario III: Configuración hardware.

La configuración para el escenario III comienza con la comunicación por un cable de red desde el puerto RJ45 del PLC Arduino Opta para conectarse al módulo USR-W610. Del módulo USR - W610 nos conectaremos por RS-485 al adaptador de USB/RS485 para luego conectarse por USB al computador el cual estará ejecutando el programa Snap Trainer como se muestra en la figura 3-14. Para comandar el programa Snap Trainer el cual tendrá la pestaña de un semáforo se conectarán dos pulsadores, cada uno estará asociado a una luz del semáforo, a continuación, se muestran las figuras 3-13 y 3-14.



Elaboración propia para el escenario III

Figura 3-13 Escenario III PLC Arduino Opta.

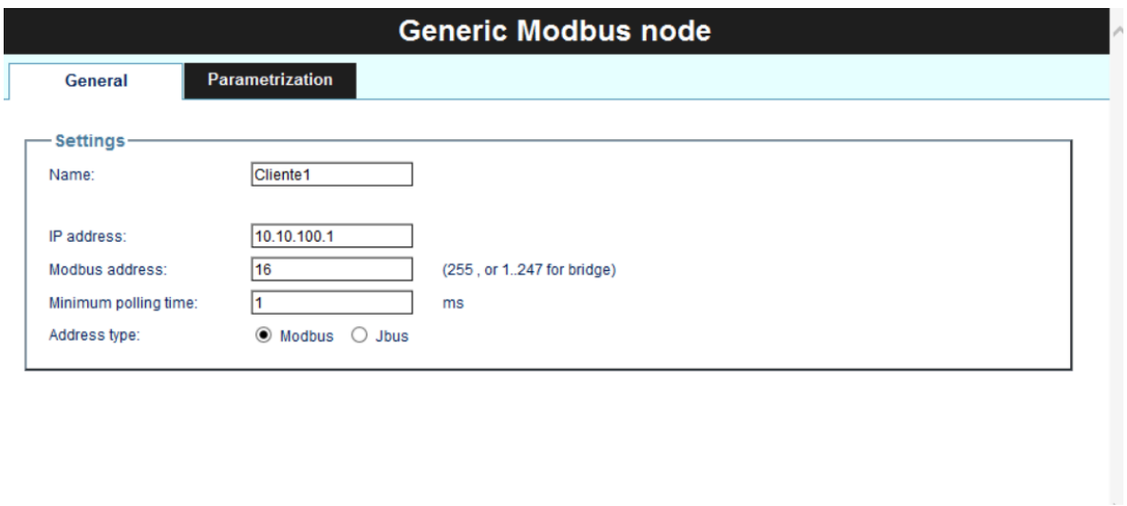


Fuente Elaboración propia para el escenario III

Figura 3-14 Escenario III

3.3.14 Escenario III: Configuración software.

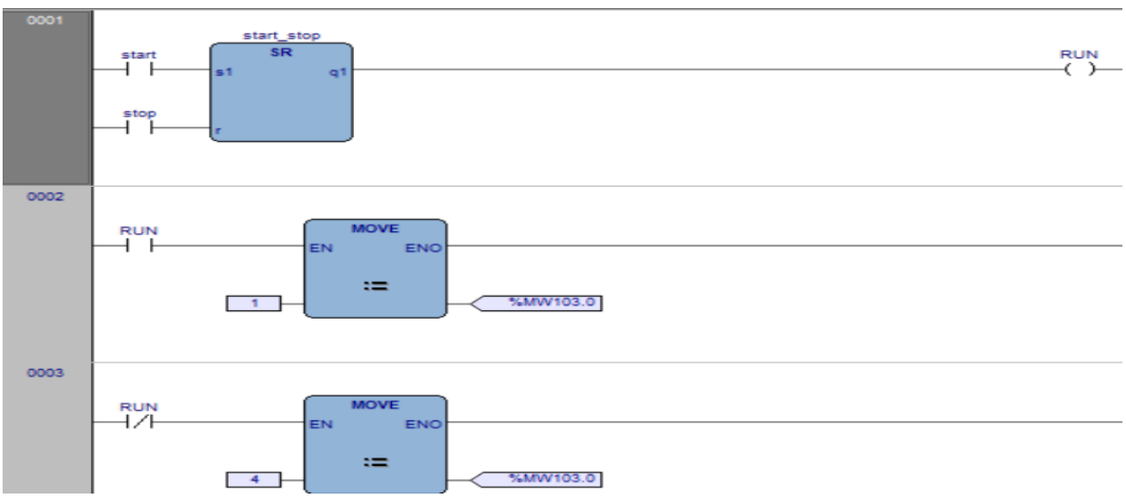
Para la configuración del Software se tienen 3 equipos que son los que se tienen que configurar para realizar este escenario de buena manera. El primero en realizar la configuración es el PLC Arduino Opta, en donde se tiene que fijar una dirección de IP del cliente que sería el software Snap Trainer como se muestra en figura 3-15, además debe coincidir en el rango de la IP asignada al módulo USR-W610.



Fuente interfaz del programa Arduino IDE del PLC

Figura 3-15 Parametrización del PLC

La programación que se realizó fue sencilla siendo su principal enfoque verificar la comunicación de los equipos del escenario III, como se muestra en la figura 3-16.

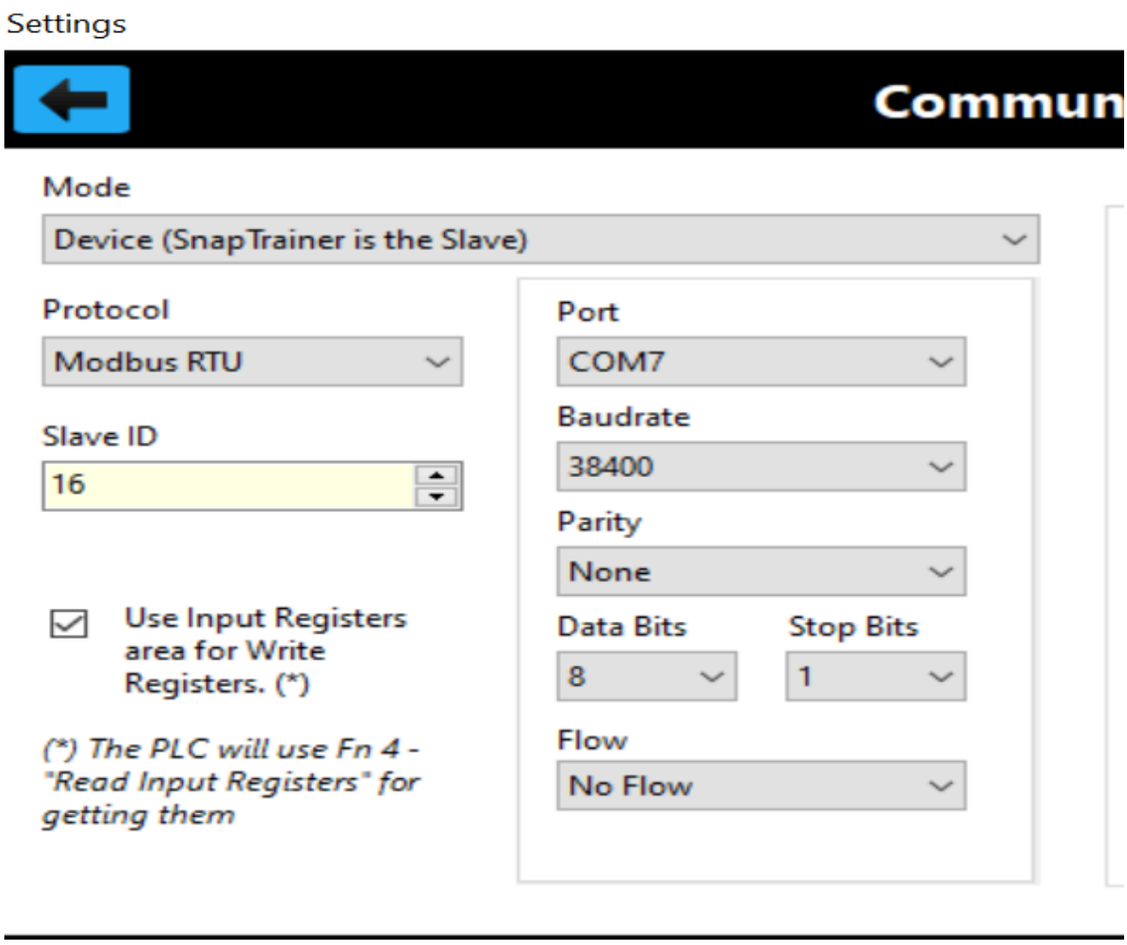


Fuente elaboración propia, programación en ladder.

Figura 3-16 Programa en ladder para el escenario III

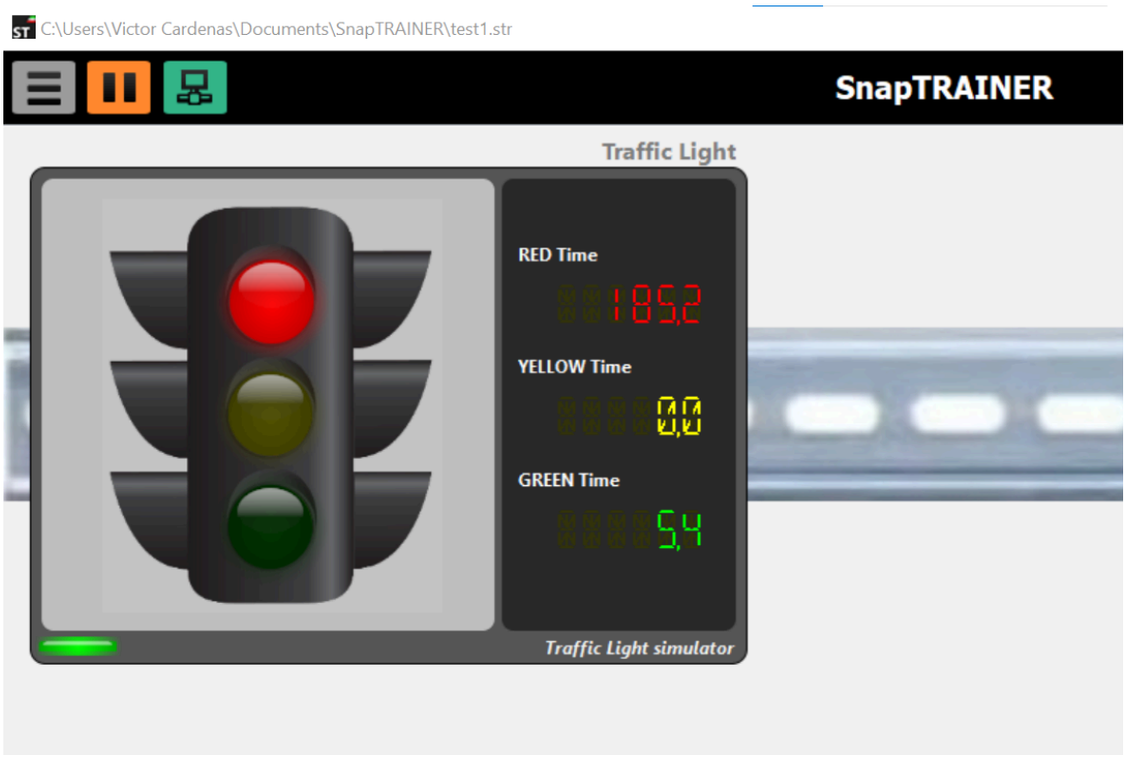
El segundo equipo que se realizó su configuración fue el módulo USR-W610, el cual va a mantener la configuración del segundo escenario, funcionando como punto de acceso (AP) y cumpliendo una función de puente entre dos protocolos de comunicación distintos y permitiendo generar una red WiFi.

El tercer equipo a configurar fue el computador con el programa Snap Trainer el cual se configura como esclavo modbus RTU y el puerto COM que se utilizara para la comunicación como se muestra en la siguiente figura 3-17. En la figura 3-18 se muestra el semáforo que es parte de la interfaz del programa Snap Trainer.



Fuente Interfaz del programa Snap trainer.

Figura 3-17 Interfaz de comunicación del programa Snap Trainer.



Fuente Elaboración propia interfaz del programa Snap Trainer

Figura 3-18 Semáforo Snap Trainer.

3.3.15 Dificultades y soluciones.

Las dificultades y soluciones se detallarán para cada uno de los escenarios que se trabajaron durante la experiencia.

3.3.15.1 Dificultades y soluciones. Escenario I.

La principal dificultad fue la programación del Arduino Uno, en donde su scripts faltaba en librerías relacionadas a la comunicación por Modbus. Otra dificultad que surgió durante el desarrollo fue que el PC no reciba datos y se ajustó la configuración UART, también se revisó el puerto TCP y la IP asignada al USR-W610.

3.3.15.2 Dificultades y soluciones. Escenario II.

La principal dificultad que surgió fue que la comunicación entre los módulos USR - W610 no se establece, esto se debía a que en ambos módulos presentaban un conflicto de red al tener dirección IP LAN y WAN dentro de la misma subred, generando que el tráfico de datos no se logre enrutar. La solución fue asignar una dirección IP, al módulo configurado como

servidor TCP en una subred distinta a la asignada a la dirección IP LAN así evitando que las interfaces compartan el mismo segmento de red.

3.3.15.3 Dificultades y soluciones. Escenario III.

Para este escenario surgieron más de un problema, el PLC no se conectaba al módulo USR-W610 siendo su causa una IP mal configurada, como solución se verificaron las IP que estuvieran en la misma red y que no se repitieran.

Otra dificultad que se tuvo fue que el computador no reconoce el adaptador USB-RS485; como solución se verificaron los drivers y se cambió de puerto.

3.3.16 Análisis de funcionamiento.

El análisis de funcionamiento de los escenarios tiene la particularidad que todos se hacen en base al módulo USR - W610 y en donde se genera la información a transmitir es un Arduino Uno, haciendo que los 3 escenarios tengan un funcionamiento bien similar.

En el primer escenario al trabajar con una conexión mediante un cable de red desde el módulo USR - W610 facilitando y generando un entorno con menos variables que manejar para que su comunicación sea efectiva.

En el segundo escenario al incorporar un segundo módulo USR - W610 va a permitir que la comunicación sea por WiFi agregando complejidad en la configuración, especialmente en función de los módulos si van a funcionar como cliente o servidor y con sus respectivas configuraciones.

En el tercer escenario al incorporar un PLC y con el computador se trabaje con el programa Snap Trainer permite que el módulo conversor USR-W610 sea un puente entre dos protocolos de comunicación Modbus TCP y Modbus RTU, además de funcionar como un servidor de una red WiFi local. Al ser una comunicación híbrida y que el PLC tenga un control del programa Snap Trainer sin que tengan un cable directo entre ellos, genera una buena experiencia en sistemas industriales que mezclan tecnologías antiguas y modernas.

3.3.17 Resultados obtenidos.

Los escenarios de prueba creados para el módulo USR - W610 permiten validar distintos tipos de comunicación entre dispositivos. En general los resultados apreciamos el uso del conversor USR-W610 es una solución efectiva y de bajo costo para establecer comunicación

entre distintos dispositivos, de forma inalámbrica o física aplicando en entornos educativos o industriales.

3.3.17.1 Escenario I tabla de resultados

A continuación se muestra la tabla 3-4 de los resultados obtenidos para el escenario I.

Tabla 3-4 Resultados escenario I

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	UART TTL ↔ Ethernet directa al computador	Comunicación estable	OK
Configuración IP en USR-W610	IP LAN: 192.168.0.1 / Computador: 192.168.0.2 (misma subred)	Comunicación en misma red	OK
Rol de red	USR-W610 como servidor TCP	Conexión aceptada desde el PC	OK
Interfaz física	Conexión UART (TX/RX) con niveles TTL desde Arduino Uno	Datos convertidos sin error	OK
Velocidad de comunicación	9600 bps configurados tanto en Arduino como en USR-W610	Datos sin distorsión	OK
Software de recepción en PC	Modbus Poll	Visualización de datos enviada	OK
Estabilidad de la comunicación	Sin pérdida de tramas, conexión constante	Flujo continuo	OK
Diagnóstico visual (LEDs)	LED de Link encendido y actividad parpadeante en USR-W610	Señal estable	OK
Validación final	Datos transmitidos correctamente desde Arduino a PC vía USR-W610	Comunicación efectiva	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario I.

3.3.17.2 Escenario II tabla de resultados

A continuación se muestra la tabla 3-5 los resultados obtenidos para el escenario II.

Tabla 3-5 Resultados escenario II

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	UART TTL ↔ WiFi ↔ Ethernet	Comunicación inalámbrica	OK
Modo de red	USR1 en modo Servidor TCP (AP), USR2 en modo Cliente TCP (STA)	Enlace punto a punto	OK tras ajuste
Configuración IP	LAN y WAN estaban en misma subred originalmente	Redes distintas	Ajustado correctamente
Interfaz física	UART TTL desde Arduino al primer USR-W610, Ethernet desde segundo USR al computador	Señal recibida sin error	OK
Velocidad de comunicación	9600 bps en ambos módulos USR	Sin pérdidas	OK
Diagnóstico visual (LEDs)	LED WiFi encendido, actividad TX/RX visible	Señal activa	OK
Software de recepción	Software TCP en PC muestra datos recibidos	Datos correctos	OK
Validación final	Comunicación inalámbrica estable entre Arduino y PC	Flujo funcional	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario II.

3.3.17.3 Escenario III tabla de resultados

A continuación, se muestra la tabla 3-6 los resultados obtenidos para el escenario III.

Tabla 3-6 Resultados para el escenario III

Ítem	Descripción / Observación Realizada	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Observaciones
1. Comunicación Ethernet	Conexión entre PLC Arduino Opta y USR-W610 vía Modbus TCP	Comunicación estable por puerto 502	OK	IP correctamente configuradas.
2. Conversión TCP a RTU	Traducción de tramas Modbus TCP a Modbus RTU en el módulo W610	Conversión sin errores	OK	USR-W610 respondió correctamente como pasarela
3. Comunicación RS-485	Enlace físico y lógico entre W610 y PC por RS-485	Comunicación continua.	OK	Se usó adaptador USB ↔ RS-485, sin fallos
4. Reconocimiento del esclavo	Snap Trainer recibe correctamente las tramas Modbus RTU	Respuesta inmediata a comandos	OK	Snap Trainer configurado como esclavo ID 1
5. Control del semáforo	Activación de luces desde el PLC a través de toda la cadena	Encendido correcto de luces según registros	OK	Cada luz respondió al comando enviado por PLC
6. Tiempo de respuesta	Tiempo desde comando hasta acción en Snap Trainer	Latencia < 200 ms	Aprox. 100–150 ms	Dentro del rango esperado para pruebas didácticas

7. Estabilidad en operación	Pruebas prolongadas de funcionamiento continuo	Sin desconexiones ni bloqueos	OK	Se mantuvo activo por más de 30 minutos
8. Facilidad de integración	Compatibilidad entre dispositivos y protocolos	Integración fluida	OK	Buena interoperabilidad con herramientas estándar

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario III.

3.3.18 Cierre de los escenarios de pruebas para el módulo USR-610

La implementación de los escenarios para el conversor USR-W610 permitió conocer la versatilidad de este equipo adaptando comunicaciones seriales a entornos inalámbricos, las pruebas fueron siendo progresivas en donde la primera fue una conexión por un medio físico para luego realizar una comunicación por un entorno inalámbrica (WiFi), demostrando que es posible diseñar sistemas de control y supervisión sin depender de un cableado físico.

3.4 EXPERIENCIA PARA LA COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS.

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos para la experiencia con la comunicación maestro esclavo por profibus.

3.4.1 Montaje para la experiencia.

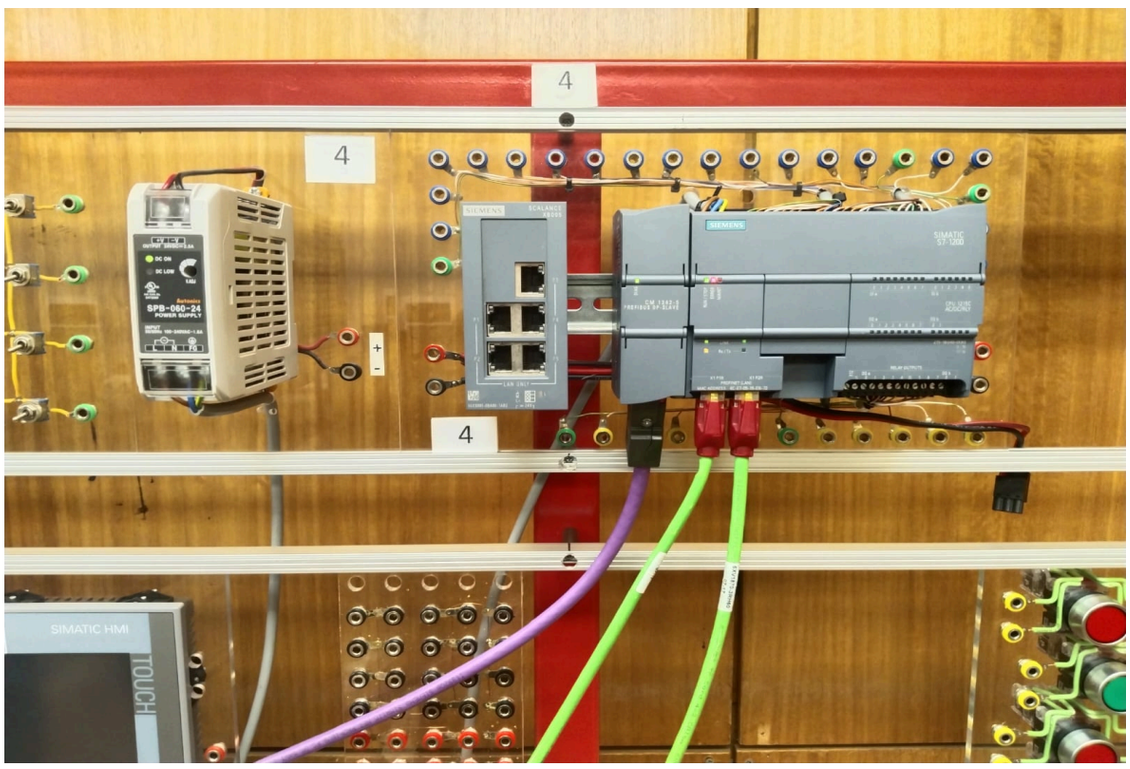
El montaje para la experiencia fue la comunicación entre dos PLC uno como maestro y el otro como esclavo, además se agregara una pantalla HMI que accionará el start y stop de un motor. La pantalla estará conectada al PLC esclavo mediante un cable ethernet y así comandar la señal hasta el PLC maestro para encender o apagar el motor.

3.4.2 Configuración hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

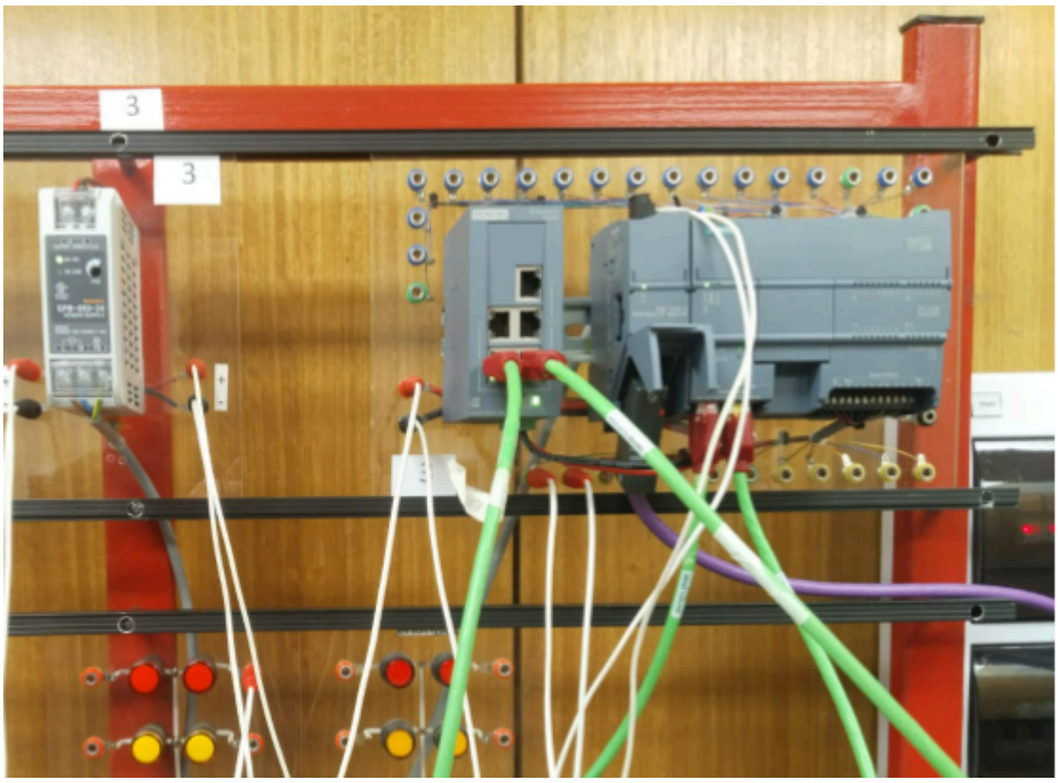
3.4.2.1 Configuración hardware.

Para la configuración con referencia al cable los conectores DB9 no fue necesario agregar el switch estaba en off ya que no fue necesario agregar la resistencia de 120 Ohm en el extremo de cada cable que son solo dos puntos a conectar. En los módulos de comunicación ya sea el CM 1234-5 o CM 1542-5 en ambos el conector DB9 debe quedar bien firme y para evitar que se salga debe estar bien atornillado. El módulo CM 1542-5 que vendría siendo el módulo maestro requiere una alimentación de 24[V]DC externos, y su conexión al PLC debe quedar firme y ambos bien fijados al riel. El módulo 1234-5 su alimentación proviene del backplane del PLC. La alimentación de los PLC es de 220 [V]AC y proviene del enchufe que está al costado izquierdo del puesto de trabajo. A continuación, las figuras 3-19 y 3-20 con sus respectivas instalaciones y requerimientos.



Fuente: Laboratorio USM

Figura 3-19. PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY ESCLAVO



Fuente: Laboratorio USM

Figura 3-20 PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY MAESTRO

3.4.2.2 Configuración del software.

Para la configuración de la experiencia el software a utilizar será el Tia Portal V18, se tendrán que agregar los PLC cada uno con su módulo de acuerdo a su función. En el PLC maestro se tiene que modificar la dirección de profibus y el sentido y tamaño que tendrán los datos a enviarse entre los PLC. En el PLC esclavo se agrega la misma dirección que se asignó en el PLC maestro y también se tiene que asignar el tamaño y dirección de los datos a enviar.

3.4.3 Dificultades y soluciones.

Las principales dificultades presentadas durante la experiencia se relacionaron con la comunicación entre los dispositivos. Los indicadores LED rojos de los módulos parpadeaban, lo que evidenciaba una falla en la comunicación. Para resolver este problema, se cargó la programación de forma independiente en cada PLC y posteriormente se realizó un reinicio, logrando así restablecer la comunicación entre ambos equipos.

Otra dificultad que surgió durante el desarrollo de la experiencia fue el envío de bits por profibus, ya que requiere una programación en específico en conjunto con el direccionamiento de los PLC maestro y esclavo.

3.4.4 Análisis de funcionamiento.

La experiencia se realizó con un PLC maestro el cual se comunica con un PLC esclavo que están enlazados por medio de una red profibus, en donde el esclavo se va comunicando con el maestro y respondiendo las solicitudes del mismo. La información que se envían entre los PLC es en formato de BYTES de los cuales se pueden usar todos o un solo bit, siendo una comunicación cíclica y permitiendo un intercambio confiable de información.

3.4.5 Resultados obtenidos.

En la tabla 3-7 siguiente se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia.

Tabla 3-7 Resultados comunicación maestro esclavo - Profibus

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	Maestro ↔ Esclavo vía PROFIBUS (CM1242-5 ↔ CM1241-5)	Comunicación estable	OK
Dirección PROFIBUS del esclavo	Configurada en maestro y en hardware del esclavo como **3**	Coinciden	OK
Byte de salida del maestro	%QB0 (bit 0 activado con marca %M0.0)	%QB0 = 1	OK (%QB0 = 1)
Byte de entrada del esclavo	%IB0 (lectura del bit enviado por maestro)	%IB0 = 1	OK (%IB0 = 1)
Activación de salida en esclavo	%Q0.0 activada si %IB0.0 = 1	Salida encendida	OK (%Q0.0 = 1)
LEDs de módulos PROFIBUS	Verificación de estado LED en CM1242-5 y CM1241-5	Verde fijo/parpadeo	OK
Tiempos de actualización	Observación de actualización cíclica (<100 ms)	Tiempo aceptable	OK

Estabilidad de la comunicación	Sin interrupciones en recepción del bit	Sin errores	OK
Diagnóstico en TIA Portal	Sin errores en diagnóstico del maestro o esclavo	Sin fallos	OK
Verificación en Watch Table	Cambio en %QB0 se refleja inmediatamente en %IB0	Coincidencia total	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia.

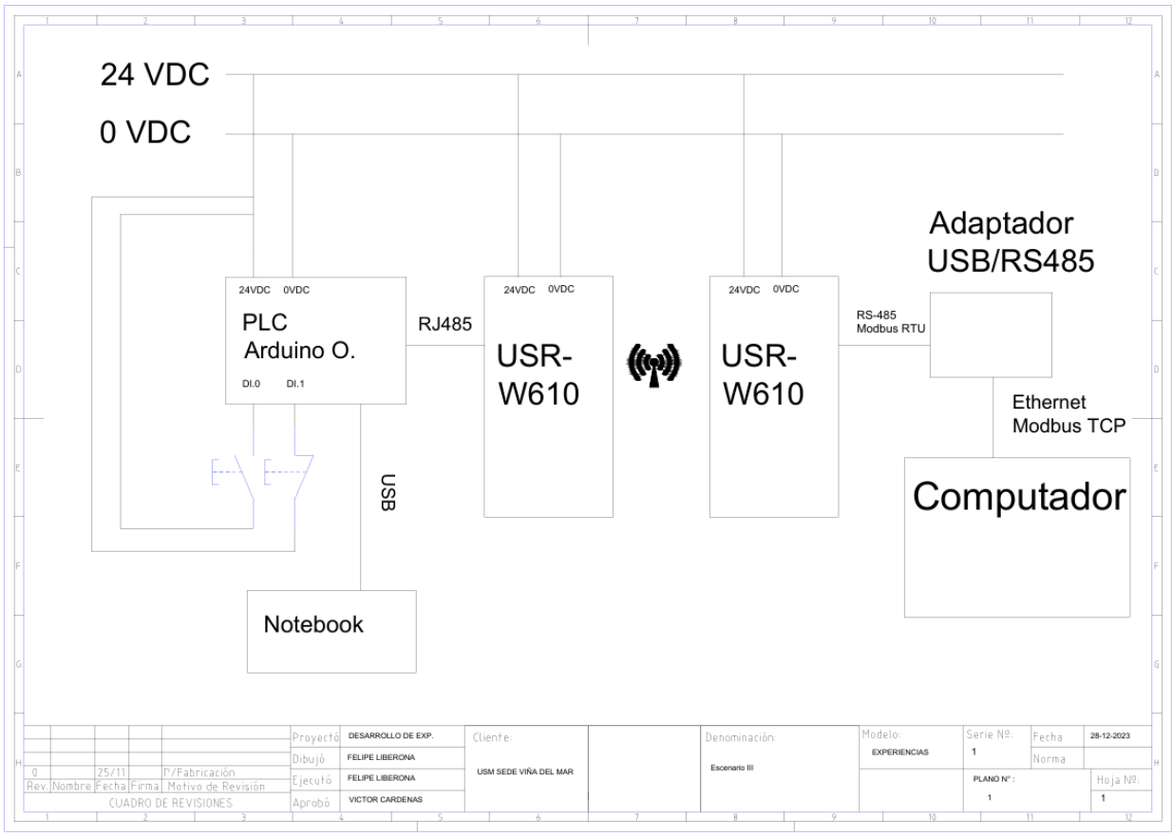
3.5 EXPERIENCIA CON EL SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos para la experiencia con el software Snap Trainer y PLC Arduino Opta.

3.5.1 Montaje para la experiencia.

El montaje para la experiencia requiere establecer una comunicación entre un computador el cual tiene que tener instalado el Software Snap Trainer. La comunicación se puede realizar de dos formas principalmente, una de ellas es por Modbus TCP o puede ser por RS485 Modbus RTU, ambos protocolos pertenecen a la familia Modbus pero se diferencian en el medio físico y la estructura de transmisión utilizada. Para esta experiencia la comunicación se realizó con Modbus RTU para establecer una comunicación entre el módulo USR -W610 y el adaptador USB/RS485 el cual se comunica por Modbus TCP con el computador.

De esta manera, el módulo USR-W610 desempeña un rol como puente de enlace entre la red Ethernet del computador y el PLC Arduino Opta. En la figura 3-21 se ilustra el esquema general del montaje, donde se aprecia la secuencia de conexión y los protocolos utilizados en cada tramo de la red.



Fuente: Elaboración propia Topología de red escenario III

Figura 3-21. Diagrama escenario III.

3.5.2 Configuración de software y hardware.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.5.2.1 Configuración hardware.

Para la comunicación en la experiencia se requiere que el computador tenga instalado en programa Snap Trainer, como el computador no dispone de un puerto RS 485, se utiliza un conversor de USB a RS485 para así realizar la comunicación por profibus teniendo en cuenta que el Arduino Opta tiene el puerto para utilizar este protocolo. A tener en consideración que en el conversor de USB a RS485 el lado A se conecta con el A del módulo USR-W610 y el lado B con el B del módulo USR-610 evitando así cruzar los cables ya que no habrá comunicación.

3.5.2.2 Configuración de software.

La configuración del software en esta experiencia consta de verificar el puerto COM en el administrador de dispositivos, en el Snap Trainer se tienen que modificar la velocidad de comunicación que debe coincidir con respecto al PLC Arduino Opta y que la ID asignado al PLC coincidan. El script que se debe realizar en el PLC se deben agregar la librería de Arduino Modbus y Arduino RS485, como se muestra en la siguiente figura 3-22



Fuente: Programa Arduino IDE 2.3.6

Figura 3-22: Librerias Arduino IDE

3.5.3 Dificultades y soluciones.

Durante el desarrollo de esta experiencia uno de los problemas fue que no había comunicación entre el PC y el PLC, para la solución se verificó el estado de los cables si estaban invertidos A/B, la ID que corresponde en Snap Trainer como la que se cargó en el PLC, siendo esto último la solución. Problemas con el desarrollo del código que se cargó en el PLC, donde en un principio no se integró la librería ArduinoModbus generando un error de compilación no logrando cargar en el PLC.

3.5.4 Análisis de funcionamiento.

El funcionamiento de esta experiencia tiene como principal enfoque simular el funcionamiento de sistemas industriales usando protocolos de comunicación como Modbus entre otros. La configuración en Snap Trainer considera parámetros como la velocidad de transmisión, cantidad de bits y en el PLC se emplean librerías las cuales permiten la correcta comunicación entre el PC y el PLC.

3.5.5 Resultados obtenidos.

En la tabla 3-8 se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia.

Tabla 3-8 Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.

Parámetro evaluado	**Descripción de la prueba**	**Resultado obtenido**	**Valor esperado**	**Observaciones**
Estabilidad de la conexión	Comunicación continua	Sin pérdida de conexión	Sin interrupciones	Se mantuvo estable sin reinicios ni errores de timeout
Tiempo de respuesta	Tiempo entre solicitud de lectura y respuesta del Opta	~15-30 ms	< 100 ms	Respuesta rápida adecuada para procesos no críticos
Precisión de los datos	Comparación entre datos escritos y leídos posteriormente	Coinciden exactamente	Coincidencia total	No se detectó corrupción o pérdida de datos
Manejo de errores	Intento de acceso a registros fuera de rango	Esclavo no responde o indica error	Rechazo de petición	Comportamiento correcto según protocolo Modbus
Compatibilidad de software	Uso de Snap Trainer como maestro Modbus TCP	Comunicación funcional	Totalmente compatible	Requiere configuración manual de parámetros de puerto y protocolo
Comportamiento ante desconexión	Desconexión del cable RS-485 en funcionamiento	Se pierde la comunicación	Interrupción inmediata	El sistema reacciona como se espera

Fuente: Elaboración propia. Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.

3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS 4 EXPERIENCIAS.

A continuación se presenta la tabla comparativa 3-9 entre las 4 experiencias desarrolladas en el presente proyecto de título, considerando variables técnicas, teniendo como objetivo identificar fortalezas, limitaciones, aplicación y actualidad.

Tabla 3-9 Análisis comparativo de las 4 experiencias.

Criterio	Experiencia 1 Modbus RTU PC ↔ PLC Siemens	Experiencia 2 Comunicación serial WiFi con USR-W610	Experiencia 3 Snap trainer con PC y PLC Arduino Opta	Experiencia 4 Maestro-esclavo entre PLCs por PROFIBUS
Tipo de comunicación	Cableada serial (RS-485)	Inalámbrica local (WiFi – punto de acceso)	Inalámbrica local (WiFi – punto de acceso)	Cableada industrial (bus de campo PROFIBUS)
Topología	Maestro–esclavo	Cliente–servidor	Cliente–servidor	Maestro/esclavo
Protocolo utilizado	Modbus RTU	TCP/IP (Modbus TCP o socket serial)	TCP/IP (HTTP o socket)	PROFIBUS DP
Dispositivos involucrados	PC, PLC Siemens (ej. S7-1200)	PLC Arduino Opta, USR-W610, PC	USR-W610, PC, PLC Arduino Opta	PLC Siemens S7-1200 x2
Facilidad de configuración	Media	Media	Media	Baja
Estabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta
Aplicación educativa	Lectura y escritura de registros industriales	Comunicación serial inalámbrica en redes locales	Comunicación inalámbrica entre PLCs	Redes industriales de alto nivel

Fuente elaboración propia basada en el análisis de las 4 experiencias.

3.7 ESTUDIO DE COSTOS.

El estudio de costos tiene como finalidad cuanto seria el valor económico necesario para el desarrollo de las experiencias planteadas para la asignatura de redes computacionales IECII, considerando los equipos, materiales, software y herramientas necesarias para implementar.

El análisis se basa en precios referenciales obtenidos de proveedores locales y plataformas en línea, con valores expresados en pesos chilenos (CLP) y en dólares estadounidenses (USD). En la tabla 3-10 se muestra el valor de pesos chilenos y en dólares americanos y la cantidad necesaria para las experiencias que se realizaron.

Tabla 3-10 Costo de equipos.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (CLP)	Costo total (CLP)	Costo total (USD)
PLC Siemens S7-1200 CPU 1215C	Controlador principal del sistema maestro	2	$1.200.000	$2.400.000	$2.526
PLC Arduino Opta	Controlador esclavo para comunicación Modbus	1	$350.000	$350.000	$368
Módulo USR-W610	Conversor WiFi a RS485 / RS232	2	$90.000	$180.000	$190
Computador	Computador de laboratorio	1	$1.000.000	$1.000.000	$1050
TTL 485	Convertidor a RS485	1	$5000	$5000	$5,25
Fuente de alimentación 24VDC	Fuente para PLC y módulos	1	$50.000	$50.000	$53

Pantalla HMI Siemens KTP700	Interfaz de usuario para control del motor	1	$550.000	$550.000	$579
Motor trifásico + contactor	Elemento de control del sistema	1	$150.000	$150.000	$158
Scalance XB005	Switch industrial Ethernet	1	$255.000	$255.000	$267,75
Fast Ethernet media	Convertidor de medios Fast Ethernet	2	$72.000	$144.000	$150.0
Arduino R3	Placa Arduino UNO	1	$9.000	$9.000	$9,40
Adaptador USB/RS485	Adaptador conversor de USB a RS485	1	$6.000	$6.000	$6,30
CM 1243-5	Módulo de comunicación Maestro	1	$416.900	$416.900	S$437,7
CM 1242-5	Módulo de comunicación Esclavo	1	$867.000	$867.000	S$910,32
Tia Portal V16	Software Siemens	1	$440.000	$440.000	S$462
Snap Trainer	Software educacional	1	Gratis	Gratis	Gratis
Arduino IDE	Software Arduino	1	Gratis	Gratis	Gratis

Fuente elaboración propia. Tabla de costos de equipos.

3.7.1 Analisis y conclusion de los costos

El costo total estimados para el desarrollo del proyecto asciende a un total de $6.822.900 CLP (≈ $7.164,05 USD), para el desarrollo de las cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales IECII.

Los equipos a utilizar son de una larga vida útil y versatilidad, pudiendo ser utilizados en otras asignaturas, proyectos de título o algún estudio que se tenga que realizar haciendo que la inversión tenga un mayor valor.

En conclusión, la inversión estimada se considera rentable, sostenible y alineada con los objetivos educativos del laboratorio, contribuyendo a fortalecer la enseñanza práctica.

CONCLUSIÓN.

En este trabajo se logró desarrollar y validar diversas experiencias de control orientadas a la asignatura *Redes Computacionales IECII*, integrando tecnologías y protocolos industriales actuales, como PROFIBUS y la comunicación maestro–esclavo entre controladores lógicos programables (PLC) Siemens S7-1200. Además, se incorporaron dispositivos de comunicación inalámbrica, entre ellos el módulo USR-W610, lo que permitió explorar alternativas de conectividad basadas en redes Wi-Fi y TCP/IP para aplicaciones industriales.

A través de la configuración práctica y el análisis de las redes de comunicación industrial, se evidenció la relevancia de una correcta parametrización y diagnóstico para garantizar la estabilidad y eficiencia en el intercambio de datos, tanto en medios guiados como no guiados. La implementación del módulo USR-W610 amplió el alcance del proyecto, demostrando la viabilidad de soluciones flexibles y modernas para la transmisión de información en entornos industriales.

Finalmente, este proyecto contribuyó al fortalecimiento del conocimiento aplicado en la formación técnica, facilitando la comprensión de las redes industriales y promoviendo un aprendizaje significativo mediante la experiencia directa con equipos y tecnologías de última generación, en modalidades de comunicación tanto cableadas como inalámbricas.

BIBLIOGRAFÍA

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. (2003). *Redes de computadoras* (5.ª ed.). Recuperado el 19 de junio de 2025, de https://bibliotecavirtualapure.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/06/redes_de_computadoras-freelibros-org.pdf

Repositorio Snap Trainer. (2025). *SnapTRAINER [Repositorio en GitHub]*. Recuperado el 10 de junio de 2025, de https://github.com/davenardella/SnapTRAINER

USR IOT. (s.f.). *Configuración de módulo USR-W610 [Manual del usuario]*. Recuperado el 24 de julio de 2025, de https://www.usriot.com/download/usr-w610-user-manual.pdf

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): X Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo:Desarrollo de experiencias de control para la asignatura de redes computacionales IECII

Nombre del candidato(a): Felipe Alonso Liberona Barraza

Carrera / Grado: Ingeniería en control e instrumentación industrial

Campus: Viña del mar

Departamento: Departamento de electrotecnia e informática

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Victor Cardenas Schweiger, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

X El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por **(marcar una opción)**:

☐6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

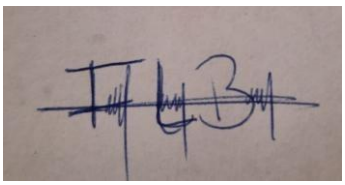
4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 26/10/2025 **Firma:**

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 26 de Octubre 2015 Firma:



Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

DESARROLLO DE EXPERIENCIAS DE CONTROL PARA LA ASIGNATURA REDES COMPUTACIONALES IECII

Trabajo de titulación para optar al Título Profesional de Ingeniero de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial

Alumno:
Felipe Alonso Liberona Barraza

Profesor Guía:
Mag. Víctor Cárdenas Schweiger

2025

RESUMEN

KEYWORDS: REDES, COMUNICACIONES, PROTOCOLOS, EXPERIENCIAS DE LABORATORIO.

El presente trabajo de título tiene como objetivo general aplicar cuatro distintas experiencias para la asignatura de redes computacionales, cada una de estas experiencias abordan la transmisión de datos a través de diferentes protocolos.

1. Comparación por medios físicos de transmisión: Se realizará una comparación entre dos medios físicos para la transmisión de datos, un cable de red (par trenzado) y fibra óptica, evaluando características, rendimiento y aplicabilidad para posibles escenarios.

2. Comunicación maestro-esclavo: Se realizará una comunicación entre dos PLC de la marca siemens un con una función de maestro y el otro como esclavo. Esta comunicación entre los dos PLC se realizará a través de un RS-485 para así demostrar interoperabilidad y confiabilidad del protocolo.

3. Red Wifi (USR-W610): Se realizará una comunicación inalámbrica de largo alcance utilizando un protocolo de red inalámbrica conectada a través de RS485, integrando redes IoT con protocolos tradicionales industriales.

4. Integración de Snap Trainer con PLC Arduino Opta: Se realizará una experiencia educativa usando el programa Snap Trainer y un PLC Arduino Opta para simular procesos industriales, permitiendo una visualización del funcionamiento de redes de control.

Estas experiencias permitirán adquirir conocimientos prácticos en la implementación y análisis de distintos tipos de tecnologías de red, abarcando desde redes tradicionales hasta soluciones de automatización industrial IoT.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN..... 1

1 PROBLEMÁTICAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....3

1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....3

1.1.1 Institución..... 3

1.1.2 Carrera de estudio..... 4

1.1.3 Laboratorio..... 4

1.1.4 Problemática a desarrollar.....4

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN FÍSICOS.....4

1.2.1 Cable de red UTP..... 4

1.2.2 Fibra óptica..... 5

1.2.3 Fibra Óptica Monomodo..... 5

1.2.4 Fibra óptica multimodo..... 5

1.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICOS..... 5

1.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN.....6

1.4.1 Redes de comunicación..... 6

1.4.2 Interfaces de comunicación.....6

1.5 MONITOREO REMOTO.....7

1.5.1 Implicancias del monitoreo remoto..... 7

1.6 LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL ACTUAL..... 7

1.6.1 Papel de las redes industriales en la industria 4.0.....8

1.7 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y EDUCATIVA..... 9

1.8 INVOLUCRADOS.....9

1.9 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....9

1.9.1 Alternativa I: No hacer nada..... 10

1.9.2 Alternativa II: Comparación medio físico y comunicación maestro esclavo..... 10

1.9.3 Alternativa III: Experiencia con USR-W 610..... 10

1.9.4 Alternativa IV: Realizar cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales. 10

1.10 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS.....11

1.11 CUADRO COMPARATIVO..... 11

1.11.1 Alternativa seleccionada.....12

1.12 OBJETIVOS.....12

1.12.1 Objetivo general..... 12

1.12.2 Objetivos específicos..... 12

1.13 PROYECCIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO..... 13

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....3

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN..... 15

2.1 EXPERIENCIA 1: COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS..... 15

2.1.1 Objetivo..... 15

2.1.2 Ejercicio propuesto para el escenario 1.....15

2.1.2.1 Tabla de equipos para el escenario..... 15

2.1.2.2 Resultados esperados para el escenario 1.....16

2.1.3 Ejercicio propuesto para el escenario 2.....16

2.1.3.1 Tabla de equipos utilizados fibra óptica.....16

2.1.3.2 Diagrama de red para el escenario 2 de fibra óptica..... 17

2.1.3.3 Resultados esperados fibra óptica.....18

2.2 EXPERIENCIA 2 : CONVERTIDOR INDUSTRIAL DE COMUNICACIÓN USR-W610..... 18

2.2.1 Objetivo de la experiencia con el convertidor industrial de comunicación USR-W 610.....18

2.2.2 Importancia del equipo y tecnología del USR-W610..... 18

2.2.3 Ejercicio propuesto para el módulo USR - W 610.....19

2.2.4 Escenario I con el módulo USR-W610..... 19

2.2.4.1 Tabla de equipos para el escenario I con el módulo USR-W610.....19

2.2.4.2 Diagrama de red para el escenario I con el módulo USR-W610..... 19

2.2.4.3 Resultados esperados para el escenario I con el módulo USR-W610.....20

2.2.5 Escenario II con el módulo USR-W610..... 20

2.2.5.1 Tabla de equipos para el escenario II con el módulo USR-W610.....21

2.2.5.2 Diagrama de red para el escenario II con el módulo USR-W610..... 21

2.2.5.3 Resultados esperados.....22

2.2.6 Escenario III con el módulo USR-W610..... 22

2.2.6.1 Tabla de equipos.....22

2.2.6.2 Diagrama de red..... 23
2.2.6.3 Resultados esperados..... 23
2.3 EXPERIENCIA III : COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS..... 23
2.3.1 Importancia de la comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.2 Objetivo de la experiencia III..... 24
2.3.3 Ejercicio propuesto para la experiencia III comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.4 Tabla de equipos para la prueba de comunicación maestro esclavo por profibus..... 24
2.3.5 Diagrama de red para la comunicación maestro esclavo por profibus..... 25
2.3.6 Plano de control y fuerza para el motor..... 26
2.3.7 Plano de salida digital del PLC..... 26
2.3.8 Resultados esperados..... 27
2.4 EXPERIENCIA IV: INTEGRACIÓN ENTRE SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.. 27
2.4.1 Objetivo de la experiencia IV..... 28
2.4.2 Importancia del software snap trainer..... 28
2.4.3 Ejercicio propuesto para la experiencia IV..... 28
2.4.3.1 Tabla de equipos para realizar la experiencia del software snap trainer..... 28
2.4.3.2 Diagrama de redes para la experiencia con software snap trainer..... 29
2.4.3.3 Resultados esperados..... 30
CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 15
3 RESULTADO OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 32
3.1 EXPERIENCIA COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN..... 32
3.1.1 Montaje para la experiencia comparación medio físico con cable UTP..... 32
3.1.2 Configuración de hardware y software..... 33
3.1.2.1 Configuración en hardware..... 33
3.1.2.2 Configuración hardware..... 33
3.1.3 Dificultades y soluciones..... 33
3.1.3.1 Direccionamiento de IP..... 33
3.1.4 Análisis de funcionamiento..... 34
3.2 MONTAJE PARA LA EXPERIENCIA COMPARACIÓN MEDIO FÍSICO CON FIBRA ÓPTICA.....35
3.2.1 Configuración de hardware y software..... 35

3.2.1.1 Configuración en hardware..... 35
3.2.1.2 Configuración de software..... 36
3.2.3 Resultados obtenidos..... 36
3.3 EXPERIENCIA CON MÓDULO USR-W610.....37
3.3.1 Montaje para la experiencia..... 37
3.3.2 Montaje escenario I: Arduino-TTL 485-USR-W610-Computador.....37
3.3.3 Montaje escenario II : Arduino - USR -W610 - USR-W610 - Computador..... 38
3.3.4 Montaje escenario III: PLC arduino Opta-USR-W610-Snap Trainer..... 38
3.3.5 Configuración de hardware y software.....38
3.3.6 Escenario I: Configuración hardware.....38
3.3.7 Diagrama eléctrico para el módulo USR-610.....39
3.3.8 Diagrama electrico para Arduino Uno, TTL-RS485.....40
3.3.9 Código de programación que se utilizará en el Arduino uno R3.....41
3.3.10 Escenario I: Configuración software..... 42
3.3.11 Escenario II: Configuración hardware.....43
3.3.12 Escenario II: Configuración software..... 44
3.3.13 Escenario III: Configuración hardware.....46
3.3.14 Escenario III: Configuración software..... 47
3.3.15 Dificultades y soluciones..... 49
3.3.15.1 Dificultades y soluciones. Escenario I..... 49
3.3.15.2 Dificultades y soluciones. Escenario II..... 49
3.3.15.3 Dificultades y soluciones. Escenario III..... 50
3.3.16 Análisis de funcionamiento..... 50
3.3.17 Resultados obtenidos..... 50
3.3.17.1 Escenario I tabla de resultados.....51
3.3.17.2 Escenario II tabla de resultados.....52
3.3.17.3 Escenario III tabla de resultados.....53
3.3.18 Cierre de los escenarios de pruebas para el módulo USR-610.....54
3.4 EXPERIENCIA PARA LA COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS.....54
3.4.1 Montaje para la experiencia..... 54
3.4.2 Configuración hardware y software..... 55

3.4.2.1 Configuración hardware..... 55
3.4.2.2 Configuración del software.....56
3.4.3 Dificultades y soluciones..... 56
3.4.4 Análisis de funcionamiento..... 57
3.4.5 Resultados obtenidos..... 57
3.5 EXPERIENCIA CON EL SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.....58
3.5.1 Montaje para la experiencia..... 58
3.5.2 Configuración de software y hardware.....59
3.5.2.1 Configuración hardware..... 59
3.5.2.2 Configuración de software..... 59
3.5.3 Dificultades y soluciones..... 60
3.5.4 Análisis de funcionamiento..... 60
3.5.5 Resultados obtenidos..... 60
3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS 4 EXPERIENCIAS..... 62
3.7 ESTUDIO DE COSTOS.....63
3.7.1 Analisis y conclusion de los costos.....64
CONCLUSIÓN.....66
BIBLIOGRAFÍA..... 66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Diagrama de red comparación de medios físicos con fibra óptica mm..... 17
Figura 2-2. Diagrama de bloques escenario I.....20
Figura 2-3. Diagrama de bloques para escenario..... 21
Figura 2-4. Diagrama de bloques para escenario III..... 23
Figura 2-5. Diagrama de red comunicación maestro-esclavo..... 25
Figura 2-6. Plano de control y de fuerza del motor.....26
Figura 2-7 Plano salidas digitales..... 27
Figura 2-8. Diagrama de red Snap Trainer.....29
Figura 3-1 Montaje comparación de medios físicos..... 32
Figura 3-2 Interfaz Tia Portal, CMD.....35
Figura 3-3 Conversor de medio..... 38
Figura 3-4 Comando PUT..... 39
Figura 3-5. Montaje para el escenario I..... 41
Figura 3-6 Diagrama eléctrico para el conversor USR-W610..... 42
Figura 3-7 Diagrama eléctrico para Arduino uno- TTL-485..... 43
Figura 3-8 Código para Arduino Uno..... 44
Figura 3-9 Montaje para el escenario II..... 45
Figura 3-10 Configuración Módulo USR - W610 en AP..... 46
Figura 3-11 Configuración Módulo USR - W610 en STA..... 47
Figura 3-12 Parámetros Módulo USR - W610..... 47
Figura 3-13 Escenario III PLC Arduino Opta..... 48
Figura 3-14 Escenario III..... 48
Figura 3-15 Parametrización del PLC..... 49
Figura 3-16 Programa en ladder para el escenario III..... 49
Figura 3-17 Interfaz de comunicación del programa Snap Trainer.....50
Figura 3-18 Semáforo Snap Trainer..... 51
Figura 3-19. PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY ESCLAVO..... 57
Figura 3-20 PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY MAESTRO.....58
Figura 3-21. Diagrama escenario III..... 61

Figura 3-22: Librerias Arduino IDE..... 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Escala de calificación..... 11

Tabla 1-2 Comparación de alternativas.....11

Tabla 2-1 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por par trenzado..... 15

Tabla 2-2 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por fibra óptica.....16

Tabla 2-3 Equipos requeridos para el escenario I USR-W610..... 19

Tabla 2-4 Equipos requeridos para el escenario II USR-W610..... 21

Tabla 2-5 Equipos requeridos para el escenario III USR-W610..... 22

Tabla 2-6 Equipos requeridos para comunicacion maestro esclavo..... 24

Tabla 2-7 Equipos requeridos experiencia con snap trainer..... 28

Tabla 3-1 Direccionamiento de las IP..... 34

Tabla 3-2 Evaluación de la experiencia comparacion de medio físico..... 34

Tabla 3-3 Evaluación de la experiencia comparación de medio físico con fibra óptica..... 37

Tabla 3-4 Resultados escenario I..... 53

Tabla 3-5 Resultados escenario II..... 54

Tabla 3-6 Resultados para el escenario III.....55

Tabla 3-7 Resultados comunicación maestro esclavo - Profibus.....59

Tabla 3-8 Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.....63

Tabla 3-9 Análisis comparativo de las 4 experiencias..... 64

Tabla 3-10 Costo de equipos.....65

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLA

HMI	:	Human-Machine Interface (Interfaz Hombre-Máquina)
IP	:	Internet Protocol (Protocolo de internet)
IoT	:	Internet of Things (Internet de las cosas)
LAN	:	Local Area Network (Red de área local)
LORA	:	Long Range (Largo alcance)
PLC	:	Programmable Logic Controller (Controlador lógico programable)
STP	:	Shielded Twisted Pair (Par trenzado blindado)
TCP	:	Transmission Control Protocol (Protocolo de control de transmisión)
UTP	:	Unshielded Twisted Pair (Par trenzado no blindado)
IECII	:	Ingeniería en control e instrumentación industrial.
AP	:	Access Point. (Punto de acceso)
RTU	:	Remote Terminal Unit. (Unidad terminal remota)
COM	:	Communication Port. (Puerto de comunicación)
CLP	:	Pesos chilenos
USD	:	Dolares estodounidenses

B. SIMBOLOGÍA

A	:	Amperios
V	:	Voltios
mm	:	Milímetros
mHz	:	Megahercio
m	:	Metros
Mbps	:	Megabits
Byte	:	8 bits

INTRODUCCIÓN

En el entorno de la automatización de procesos industriales, las redes de comunicación industrial son muy influyentes. Estas redes enlazan los dispositivos que intervienen en el control de sistemas industriales, permitiendo su funcionamiento, supervisión y control. Hoy se considera que, en la era de la interconectividad, las maquinarias industriales con capacidad de comunicación pueden funcionar de una forma autónoma o con una mínima intervención de un operario.

En este contexto, las redes de comunicación industrial se establecen como la columna vertebral de la interconectividad, utilizando protocolos de comunicación en constante evolución.

Este trabajo de título tiene como finalidad explorar distintas tecnologías de comunicación a través de la ejecución de cuatro experiencias prácticas, desde la comparación entre distintos medios físicos de transmisión de datos, hasta la implementación de redes industriales con protocolos modbus RTU y tecnologías emergentes como LoRaWaN.

Cada experiencia busca reforzar habilidades técnicas, ayudar a la comprensión de las ventajas y limitaciones de cada tecnología y adquirir un enfoque crítico para la selección de soluciones adecuadas para los problemas que se puedan presentar.

CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

1 PROBLEMÁTICAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

El objetivo de este capítulo tiene como finalidad estudiar las redes computacionales y su influencia en el ámbito de sistemas de automatización, control industrial incluso IoT. Bajo este contexto es esencial que los profesionales del área de control e instrumentación industrial cuenten con conocimientos prácticos sobre distintos tipos de redes, medios de transmisión y protocolos de comunicación.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Como antecedentes generales se describirán en donde se realizó el proyecto, la institución, equipos a utilizar, asignatura enfocada del proyecto e instalaciones.

1.1.1 Institución

La Universidad Técnica Federico Santa María, es una universidad tradicional privada chilena, perteneciente al Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, a la Agrupación de Universidades Regionales de Chile, a la Red Universitaria Cruz del Sur y a la Red Universitaria G9. La red de universidades públicas no estatales G9 es una corporación de derecho privado sin fines de lucro, creada el 7 de marzo de 2013, y que agrupa a las universidades tradicionales, no estatales, del Consejo de Rectores de las Universidades Chilenas, es decir, a las universidades privadas tradicionales. La casa central se encuentra ubicada en Valparaíso y además posee campus en Santiago de Chile (Vitacura y San Joaquín). Posee también dos sedes: una en Viña del Mar (figura 1-1) y otra en Concepción.



Fuente:https://www.flickr.com/photos/utfsm/albums/72157634706830424/with/9321542858

Figura 1-1 Entrada Universidad Federico Santa Maria Sede Viña del Mar

1.1.2 Carrera de estudio

La carrera que se estudió para realizar el proyecto es Ingeniería de Ejecución en Control e Instrumentación Industrial, permitiendo realizar labores en el ámbito de control de procesos industriales en los cuales se utiliza instrumentación y control automático.

1.1.3 Laboratorio

El laboratorio donde se desarrollará el proyecto está ubicado en la sede de Viña del Mar de la universidad, específicamente en el edificio M, sala 202.

1.1.4 Problemática a desarrollar

En la asignatura Redes Computacionales IECII, las actividades prácticas presentan limitaciones debido a la falta de experiencias que integren a las tecnologías de comunicación industrial utilizadas en la industria 4.0 como serían PROFIBUS, Modbus TCP y Ethernet.

Esta falencia dificulta que el estudiante desarrolle competencias prácticas en configuración, programación y diagnósticos de redes industriales, centrándose en contenidos teóricos, lo que genera una brecha en la formación académica y las necesidades del sector industrial.

1.2 MEDIOS DE TRANSMISIÓN FÍSICOS

Los medios físicos de transmisión son elementos por los cuales viajan las señales o información en una comunicación entre dos equipos. Se pueden utilizar varios medios físicos para la transmisión, teniendo en cuenta que cada uno tiene sus características particulares: ancho de banda, retardo, costo y facilidad de mantención.

Durante el desarrollo de las actividades a implementar en el laboratorio se utilizaron 2 medios físicos para las pruebas:

1.2.1 Cable de red UTP

Consiste en 4 pares cables de cobre aislados, aproximadamente de 1 mm de grosor, los cables están trenzados en forma de molécula de ADN. Son muy utilizados en redes LAN (como Ethernet), puede estar blindado (STP) lo que permite una protección frente a interferencias

electromagnéticas, es económico y fácil de instalar y su distancia es limitada en conjunto con su velocidad comparado con otros medios.

1.2.2 Fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por filamentos muy delgados de vidrio o plásticos en donde la transmisión de datos es enviada a través de pulsos de luz que pueden transportar grandes cantidades de información a muy alta velocidad y largas distancias y existen dos modos principales.

1.2.3 Fibra Óptica Monomodo

La fibra óptica monomodo donde su principal característica es poseer un núcleo muy delgado, de alrededor de unos 9 micrómetros de diámetro, a través del cual se propaga sólo un modo de luz, gracias a esta característica la señal viaja en línea recta sin reflejarse múltiples veces dentro del núcleo, reduciendo la dispersión y la pérdida de señal, siendo ideal para transmisiones de larga distancia superiores a 10 kilómetros. Si bien su rendimiento es superior y más eficaz, requiere equipos ópticos más precisos y de mayor costo así aumentando el costo de instalación y mantención.

1.2.4 Fibra óptica multimodo

La fibra óptica multimodo en diferencia con la fibra óptica monomodo posee un núcleo de mayor tamaño, alrededor de unos 50 y 62,5 micrómetros, esta característica permite que la propagación simultánea de múltiples modos de luz generando rebotes dentro del núcleo limitando los kilómetros de transmisión hasta un máximo de 2 kilómetros. A pesar de su limitación, la fibra multimodo tiene otras ventajas como es el costo, su facilidad de instalación y compatibilidad con equipos electrónicos de bajo costo.

1.3 MEDIOS DE TRANSMISIÓN INALÁMBRICOS

Un medio de transmisión inalámbrico es el que permite la comunicación entre dos equipos sin la necesidad de un medio físico como son los cables, esto se logra a través de ondas electromagnéticas tanto como para enviar como para recibir información a través del aire, hoy en día se aprecia en redes domésticas, sistemas industriales, IoT y telecomunicaciones.

1.4 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos son conjuntos de condiciones o reglas que habilitan intercambio de información y cooperar entre dispositivos. Estos equipos, al quedar intercomunicados o pasar bloques de datos, conforman una red de comunicación. Los protocolos de comunicación pueden incluir medidas de seguridad, como encriptación de datos y autenticación, para otorgar privacidad y la integridad de la información transmitida.

Los protocolos de comunicación a lo largo del tiempo se han ido modificando y adaptando a los nuevos sistemas de producción de esta forma, algunos de los protocolos actuales son una evolución de los anteriores, mientras que otros han sido creados a partir de demandas específicas.

1.4.1 Redes de comunicación

Las redes de comunicación industrial son la columna vertebral de cualquier construcción de sistemas de automatización, ya que entregan un medio para el intercambio de datos. Estas redes facilitan la comunicación y el transporte de datos, voz y video, ya sean por medios guiados o no guiados.

Existen diferentes tipos de redes de comunicación, como las redes de área local (LAN), que como su nombre lo dice conectan dispositivos dentro de un área establecida, en cambio las redes de área extensa (WAN) pueden conectar dispositivos de una distancia mucho más amplia, como ciudades o incluso países.

Estas redes se basan en protocolos, como, por ejemplo: TCP/IP, que son necesarios para establecer reglas para la transmisión de datos y la comunicación de los dispositivos. Usualmente se incluyen dispositivos, como routers, switches o puntos de acceso, que ayudan a dirigir y gestionar el intercambio de datos.

1.4.2 Interfaces de comunicación

Una interfaz de comunicación industrial se refiere al conjunto de medios físicos y lógicos que permiten el intercambio de información entre distintos equipos y sistemas dentro de un entorno industrial. Estas interfaces son esenciales para garantizar que los dispositivos industriales puedan intercambiar datos y controlar procesos de manera eficiente y efectiva en entornos industriales, como fábricas, plantas de producción, instalaciones de automatización.

Algunos ejemplos de dispositivos de interfaces de comunicación industrial son:

- Controlador lógico programable (PLC): Es un controlador que permite la comunicación entre sensores, actuadores entre otros dispositivos dentro de un sistema.
- Módulos de comunicación: Son dispositivos que se utilizan para establecer la comunicación entre diferentes dispositivos y sistemas en una red industrial.
- Pantallas y paneles de operación: Estos dispositivos proporcionan una interfaz gráfica para que el operador pueda interactuar, supervisar y controlar las variables del proceso.
- Convertidor de protocolo: Son dispositivos utilizados para convertir señales y protocolos de comunicación entre diferentes dispositivos que utilizan estándares distintos logrando así una interoperabilidad y una comunicación entre dispositivos de distintas marcas.

1.5 MONITOREO REMOTO

Se debe entender por monitoreo remoto como la acción que permite visualizar datos de cualquier lugar, siendo ideal para situaciones con condiciones ambientales severas o peligrosas o donde la única persona o equipo debe monitorear los resultados de varios lugares o fuentes. Con la ayuda de este tipo de monitoreo se puede utilizar para alertar, cuando las condiciones requieran de revisión o de una acción, incluyendo la capacidad de un diagnóstico.

1.5.1 Implicancias del monitoreo remoto

Las industrias están realizando importantes inversiones en tecnología, especialmente en sistemas de control remoto y automatización, con el propósito de optimizar sus procesos productivos, aumentar la eficiencia operativa y reducir la necesidad de intervención humana.

Esta práctica de servicios e inspecciones remotos, está aumentando y tomando importancia dentro de las empresas, principalmente en el área de la minería. Trabajos como el monitoreo de centros especializados, que tiene como objetivo sacar a las personas del campo, especialmente en áreas de riesgo de actividades críticas, se ha tomado mayor importancia.

Estos cambios que están teniendo las industrias sumadas al impacto que va a tener en el corto y mediano plazo la cuarta revolución industrial hace dar cuenta que es necesario estar en constante actualización con las nuevas tecnologías.

1.6 LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL ACTUAL

La automatización industrial hoy en día es uno de los principales pilares dentro de lo que es el desarrollo tecnológico en la producción a nivel mundial, teniendo como uno de sus

principales objetivos optimizar los procesos de fabricación reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia, seguridad.

El momento actual va indicando que la integración de la automatización con la digitalización industrial es lo que genera hoy en día el concepto de la industria 4.0, bajo esta mirada los procesos industriales se están interconectando a través de redes industriales y protocolos de comunicación estandarizados como PROFINET, Modbus TCP, Ethernet/IP que son los principales en garantizar la comunicación entre los diferentes equipos.

Si bien la automatización industrial está teniendo un constante desarrollo con miras al futuro también presenta desafíos, como la constante inversión en infraestructura tecnológica, la ciberseguridad de los sistemas conectados y de los datos obtenidos, la escasez de profesionales especializados y el costo de las capacitaciones de los mismos y lo complejo que es la integración de equipos de diferentes marcas o generaciones, aun así se espera que la automatización siga su crecimiento de manera continua siendo clave en la competitividad y sostenibilidad de las empresas.

1.6.1 Papel de las redes industriales en la industria 4.0

Las redes industriales son unos de los principales pilares en el desarrollo e implementación de la industria 4.0, como el de la comunicación entre los diferentes niveles en un proceso de producción industrial. Estas redes cumplen la función de ir integrando sensores, PLC, sistemas de supervisión, plataformas de gestión, etc., garantizando un correcto intercambio de datos, seguro y confiable.

Las redes industriales van evolucionando de estructuras cerradas en donde cada fabricante tenía su propio protocolo de comunicación haciendo muy difícil la integración de un equipo de otra marca, hoy en día están teniendo arquitecturas abiertas e interoperables en donde la conectividad entre distintos equipos de diferentes marcas se pueda realizar.

Uno de los principales aportes que están teniendo las redes industriales son su capacidad de manejar grandes volúmenes de intercambio de datos en los equipos de producción, impulsando de esta manera el IIOT, ya que los equipos en terreno van a poder enviar información en tiempo real hacia plataformas en la nube pudiendo aplicar un análisis de datos optimizando los procesos industriales.

1.7 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA Y EDUCATIVA

La justificación técnica y educativa se basa en la necesidad de vincular del desarrollo tecnológico con la formación de competencias profesionales que respondan a las exigencias actuales de las industrias, bajo ese contexto la incorporación de experiencias prácticas, sistemas de control, comunicación entre dispositivos y tecnologías emergentes pasan a ser unos de los pilares esencial en la enseñanza técnica.

El enfoque práctico debe buscar fortalecer la vinculación entre la teoría con la práctica, permitiendo a los estudiantes vayan enlazando los conocimientos adquiridos a acciones prácticas a través de la experimentación se logró un aprendizaje basado en la resolución de problemas, trabajo colaborativo y la toma de decisiones.

El enfoque educativo debe entrelazarse con la integración de nuevas tecnologías, respondiendo a la necesidad de actualizar los programas formativos logrando que los futuros profesionales obtengan habilidades para las exigencias del sector industrial.

1.8 INVOLUCRADOS

Los involucrados en este proyecto son los estudiantes de la universidad, docentes, y la industria:

- Alumnos: Podrán desarrollar actividades en un laboratorio con equipos que le permitirán adquirir experiencias prácticas sobre los protocolos de comunicación, abarcando desde redes convencionales hasta soluciones de automatización industrial IoT.
- Docentes: Los docentes tendrán la posibilidad de llevar lo teórico a la práctica en temas de protocolos de comunicación generando un aprendizaje significativo para los alumnos.
- La industria: Podrán contratar profesionales provenientes de la UTFSM sede Viña del Mar con capacidades laborales y conocimientos en protocolos de comunicación ya sea en redes convencionales o de automatización industrial IoT.

1.9 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Con el fin de estudiar las posibles alternativas de desarrollo para el presente proyecto, se plantean distintas alternativas de implementación, las cuales permiten analizar aspectos técnicos, educativos y experimentales. A continuación, se describen las cuatros alternativas a considerar:

1.9.1 Alternativa I: No hacer nada

Si se considera esta opción como desarrollo, no se implementan las nuevas experiencias ni mejoras, y solo se continuaría con los contenidos teóricos o prácticas que son limitantes a la hora de generar un aprendizaje significativo para el alumno. La falta de experiencias experimentales reduce la motivación y la capacidad de análisis y de solución de problemas, impidiendo una comprensión de lo que es la comunicación industrial y protocolos de comunicación.

1.9.2 Alternativa II: Comparación medio físico y comunicación maestro esclavo

En esta alternativa los principales enfoques que se tienen es la comparación de medios físicos de comunicación y el comportamiento de una interfaz de comunicación maestro-esclavo.

En esta alternativa no se implementa lo relacionado con el módulo USR-W610 ya que el enfoque es la comunicación física y el estudio de su rendimiento en entornos controlados. Este desarrollo crea un valor educativo permitiendo que los estudiantes puedan visualizar como el medio físico influye directamente en la estabilidad y eficiencia en la comunicación industrial.

1.9.3 Alternativa III: Experiencia con USR-W 610

Si se considera esta opción como desarrollo, se proponen experiencias basadas en el módulo USR-W610, permitiendo explorar las ventajas y limitaciones de la comunicación inalámbrica en entornos industriales. El enfoque principal de esta experiencia, es el análisis en la configuración de dispositivos, latencia de transmisión y la pérdida de paquetes comparándolos con sistemas de cableados tradicionales.

En esta alternativa, no se implementa la experiencia con el software Snap Trainer en conjunto con el PLC Arduino Opta, ya que el enfoque se centra en la comunicación inalámbrica y su integración en una red industrial.

1.9.4 Alternativa IV: Realizar cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales

Si se considera esta alternativa como desarrollo, ya que contempla la implementación de cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales.

En esta alternativa los estudiantes pueden interactuar con diferentes medios de comunicación, cableados físicos e inalámbricos, comprendes la estructura maestro esclavo e incorporar el uso de la plataforma didáctica Snap Trainer en conjunto con un PLC Arduino.

Esta alternativa amplía el ámbito técnico del proyecto complementado con un enriquecimiento del proceso educativo, proporcionando a los alumnos una visión integral del funcionamiento de las redes industriales.

La alternativa IV se considera la opción más viable y formativamente valiosa ya que va complementando los beneficios de la experimentación, el uso de nuevas tecnologías y el aprendizaje técnico y replicable dentro del aula.

1.10 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Para la evaluación de las alternativas anteriormente comentadas se utilizará una escala del 1 al 5, en donde el 1 sería “muy deficiente” y el 5 “óptima” como se muestra en la tabla 1-1, la alternativa con mayor puntaje será la seleccionada para el desarrollo del trabajo de título.

Tabla 1-1 Escala de calificación.

Tabla de Puntuación de Alternativas de Solución				
Muy deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.11 CUADRO COMPARATIVO

Para tener una claridad en la comparación de las alternativas se ideó un cuadro comparativo (Tabla 1-2), en donde se podrá apreciar la puntuación obtenida por la solución que con mayor puntuación teniendo en cuenta variables como la innovación, beneficio y factibilidad.

Tabla 1-2 Comparación de alternativas

Característica/Alternativa	Alternativa I	Alternativa II	Alternativa III	Alternativa IV
Innovación	1	2	2	4
Beneficio	1	2	3	4
Factibilidad	5	5	5	5
Puntuación total	7	9	10	13

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.11.1 Alternativa seleccionada

La alternativa seleccionada fue la alternativa número IV, para determinar esta elección se evaluaron estos 4 puntos que serán que se muestran a continuación:

- Innovación: La innovación que tiene esta alternativa es ver como los protocolos de comunicación se han ido adaptando los ambientes de las industrias teniendo la posibilidad uno de elegir el más conveniente.
- Beneficio: Los beneficios que genera esta alternativa es que ayudará a los participantes del proyecto a seleccionar el protocolo que más se ajuste a los requisitos de comunicación ya sea en una red local o en internet.
- Factibilidad: La universidad facilitará y dispondrá el laboratorio para realizar el proyecto, y el encargado del proyecto será quien desarrolle la parte práctica para las pruebas a realizarse.

1.12 OBJETIVOS

En esta sección se describirán los objetivos generales y específicos que se deben alcanzar durante el desarrollo del proyecto, con la finalidad de entender cuándo será necesario la implementación de un protocolo u otro.

1.12.1 Objetivo general

Implementar 4 experiencias de laboratorio para la asignatura de redes computacionales.

1.12.2 Objetivos específicos

Para cumplir el objetivo general, se deben cumplir los siguientes objetivos específicos.

- Evaluar las características entre el cable de red (par trenzado) y la fibra óptica como medios de transmisión de datos físicos.
- Realizar una conexión entre dos PLC Siemens uno como maestro y el otro como esclavo con una interfaz de comunicación RS485 con el protocolo Modbus.
- Realizar una conexión inalámbrica con el equipo USR-W 610

- Desarrollar una experiencia educativa utilizando el software Snap Trainer en conjunto a un PLC Arduino Opta.
- Crear las experiencias de laboratorio.

1.13 PROYECCIÓN Y SOSTENIBILIDAD DEL PROYECTO

El desarrollo de experiencias prácticas de control y comunicación para la asignatura de redes computacionales IECII, su enfoque principal no es solo fortalecer la enseñanza práctica, también busca establecer un pilar base para la evolución futura del laboratorio, teniendo la capacidad de proyectarse y que sea escalable en el tiempo, permitiendo la incorporación de nuevas tecnologías y ampliar el alcance académico dentro de la carrera Ingeniería en control e instrumentación industrial.

La proyección y sostenibilidad de este trabajo su base es el carácter flexible, escalable y formativo, sin dejar de lado la necesidad de crear experiencias prácticas para la asignatura. Contribuye a un aporte estructural al fortalecimiento práctico y al proceso de enseñanza-aprendizaje en el área de redes industriales, complementando con los nuevos desafíos tecnológicos educativos que plantea la industria 4.0.

CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

El objetivo de realizar estas 4 experiencias es comprender y comparar distintos tipos de comunicación utilizados en entornos industriales, de esta forma se busca identificar sus ventajas, limitaciones y aplicaciones en sistemas de control y redes industriales.

2.1 EXPERIENCIA 1: COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS

Esta experiencia tiene como objetivo la comparación de dos medios físicos de comunicación industrial utilizados en redes: cable Ethernet (UTP) y fibra óptica multimodo.

2.1.1 Objetivo

El objetivo de esta experiencia es comparar el desempeño y características con el fin de analizar las diferencias en velocidad de transmisión, estabilidad, alcance y susceptibilidad a interferencias electromagnéticas. La experiencia se va a dividir en dos escenarios, el escenario 1 consiste en la prueba realizada para el cable UTP. El segundo escenario consiste en la prueba realizada para el cable de fibra óptica multimodo.

2.1.2 Ejercicio propuesto para el escenario 1

El escenario para el desarrollo de la prueba del cable utp, se interconectan un computador y un PLC. Se utilizará un tester de red, el cual permitirá ver la continuidad y el orden correcto de los cables, se ejecutará un ping desde el PC a un PLC siendo una herramienta que permitirá comprobar si el equipo está en la red y accesible.

2.1.2.1 Tabla de equipos para el escenario

Para realizar la prueba se elaboró una Tabla 2-1 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-1 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por par trenzado.

N°1	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C	1

	AC/DC/RLY	
2	Computador	1
3	Par trenzado Cat 5 E	2 mts
4	Software, Tia portal V18	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.1.2.2 Resultados esperados para el escenario 1

Los resultados esperados para la prueba de comunicación con el cable UTP son: debe estar bien crimpado a su conector RJ45 ya sea en 568A o 568B y pasar la prueba de tester de red, que exista una comunicación entre el computador y el PLC, realizado la prueba de encender luces confirmando que existe tal comunicación, para que así la red no reporte errores de transmisión o pérdidas de paquetes, la prueba de ping como pruebas de comunicación.

2.1.3 Ejercicio propuesto para el escenario 2

El escenario para el desarrollo de la prueba con cable de fibra óptica, se realizará una conexión entre dos PLC ubicados a una distancia de aproximadamente 2 metros, utilizando un cable UTP entre el PLC y el swich para luego interconectar utilizando la fibra óptica como medio de transmisión en conjunto con convertidores de medio.

2.1.3.1 Tabla de equipos utilizados fibra óptica

Para realizar la prueba se elaboró la tabla 2-2 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-2 Equipos requeridos para la prueba de medios guiados por fibra óptica.

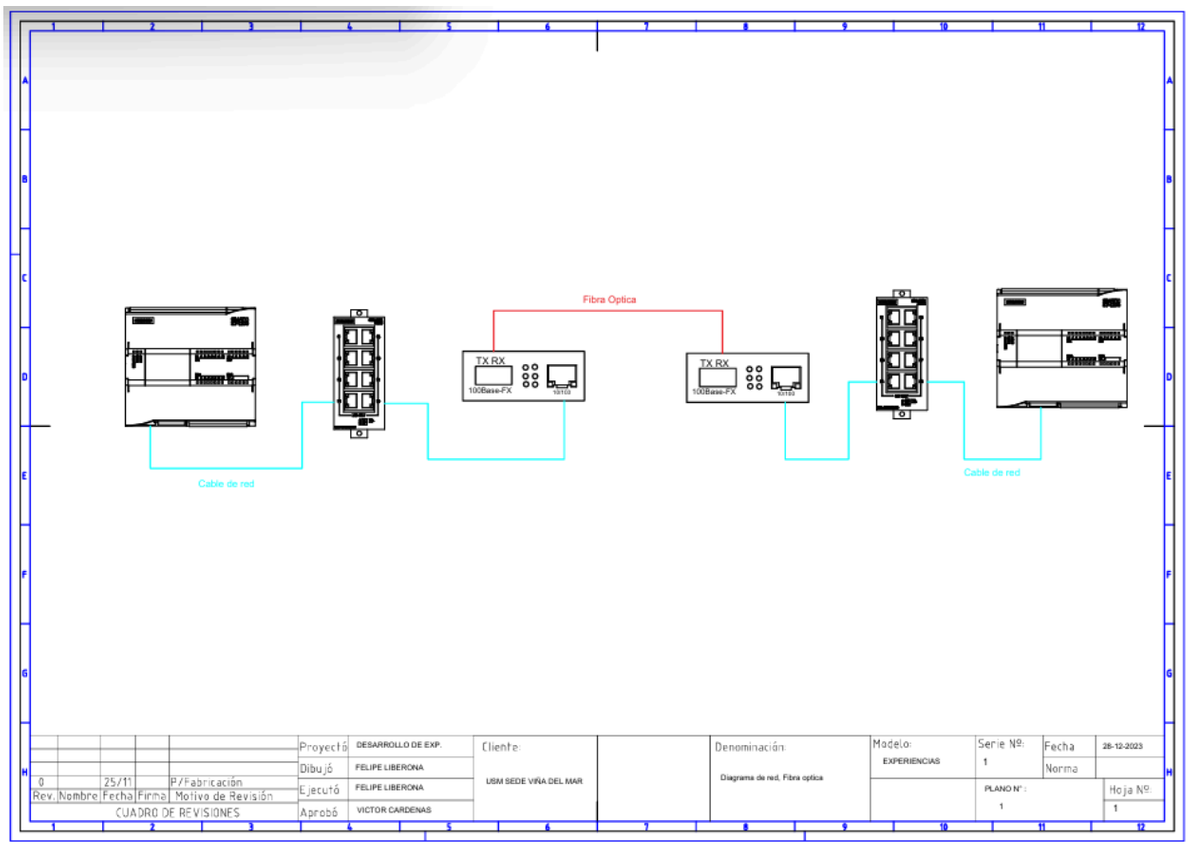
N°2	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY	2
2	Scalance XB005	2

3	Fast Ethernet Media Conver.	1
4	Fibra óptica MM	2Mts
5	Software, TIA Portal V18	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.1.3.2 Diagrama de red para el escenario 2 de fibra óptica

En la figura 2-1 se muestra el diagrama que se realizó para la prueba.



Fuente Elaboración propia

Figura 2-1 Diagrama de red comparación de medios físicos con fibra óptica mm

2.1.3.3 Resultados esperados fibra óptica

Los resultados esperados para la prueba con la comunicación a través de fibra óptica son: El estado de los equipos y de la fibra óptica que debieran estar en buenas condiciones, que exista una comunicación entre los PLC pudiendo encontrarse en la red, logrando que la prueba de ping o comunicación sea realizada con éxito y de una manera visual por el encendido de los leds.

2.2 EXPERIENCIA 2 : CONVERTIDOR INDUSTRIAL DE COMUNICACIÓN USR-W610

El USR-W610 es un módulo convertidor de comunicación industrial que permite establecer una comunicación entre los puertos RS232, RS485 o TTL y redes Ethernet o WiFi, teniendo como principal función transferir datos entre dos dispositivos y una red TCP/IP ayudando a la conexión remota de equipos industriales, sin la necesidad de un cableado físico.

2.2.1 Objetivo de la experiencia con el convertidor industrial de comunicación USR-W 610

El objetivo de la experiencia será implementar una comunicación por un medio físico que va ser un cable de red y la otra parte de la experiencia será una comunicación inalámbrica, la comunicación entre un arduino uno y un plc arduino opta en una primera instancia se hará, desde el arduino hasta un computador por medio físico y inálambrico para luego reemplazar el computador por un PLC, con el fin de demostrar la transmisión de datos vía Wifi y física basada en interfaces como el RS-485 en el contexto de redes industriales.

2.2.2 Importancia del equipo y tecnología del USR-W610

La importancia del equipo y su tecnología es debido a que corresponde un dispositivo de conversión de Wifi a ethernet que permite una la integración de equipos por medio de RS-232 o RS-485 a redes inalámbricas. El uso en entornos industriales permite reducir el cableado físico, actualizar sistemas que no poseen interfaces de red y facilitar el monitoreo remoto.

En comparación con otras tecnologías de comunicación inalámbrica, como lo son LoRa o Zigbee, el USR-W610 es una opción más práctica y económica en entornos cerrados o de corta distancia, donde previamente exista una red Wifi disponible. El USR-W610 ofrece una velocidad de transmisión, menor latencia y compatibilidad con protocolos industriales como Modbus TCP y Modbus RTU, facilitando su integración en redes industriales.

2.2.3 Ejercicio propuesto para el módulo USR - W 610

A continuación, se presentan los distintos escenarios de aplicación desarrollados con el módulo USR-W610, con el fin de evaluar sus capacidades de comunicación y comprender las diferentes formas en que se puede integrar a redes industriales. Cada escenario se diseñó para analizar un aspecto específico de su funcionamiento o interoperabilidad con otros dispositivos.

2.2.4 Escenario I con el módulo USR-W610

Este escenario consiste en establecer una comunicación entre un arduino uno R3 y un computador por un medio físico, usando el USR-W610 como puente entre la interfaz serial del arduino la cual pasa por un conversor de TTL 485 permitiendo que el arduino se pueda comunicar por el protocolo RS-485 al módulo USR - W610. Se tiene como objetivo establecer una conexión entre una red Ethernet y una red serial RS-485 para demostrar la capacidad del módulo de convertir tramas Modbus TCP en Modbus RTU.

2.2.4.1 Tabla de equipos para el escenario I con el módulo USR-W610

Para realizar la prueba se elaboró la tabla 2-3 con los equipos que se requieren para el escenario I.

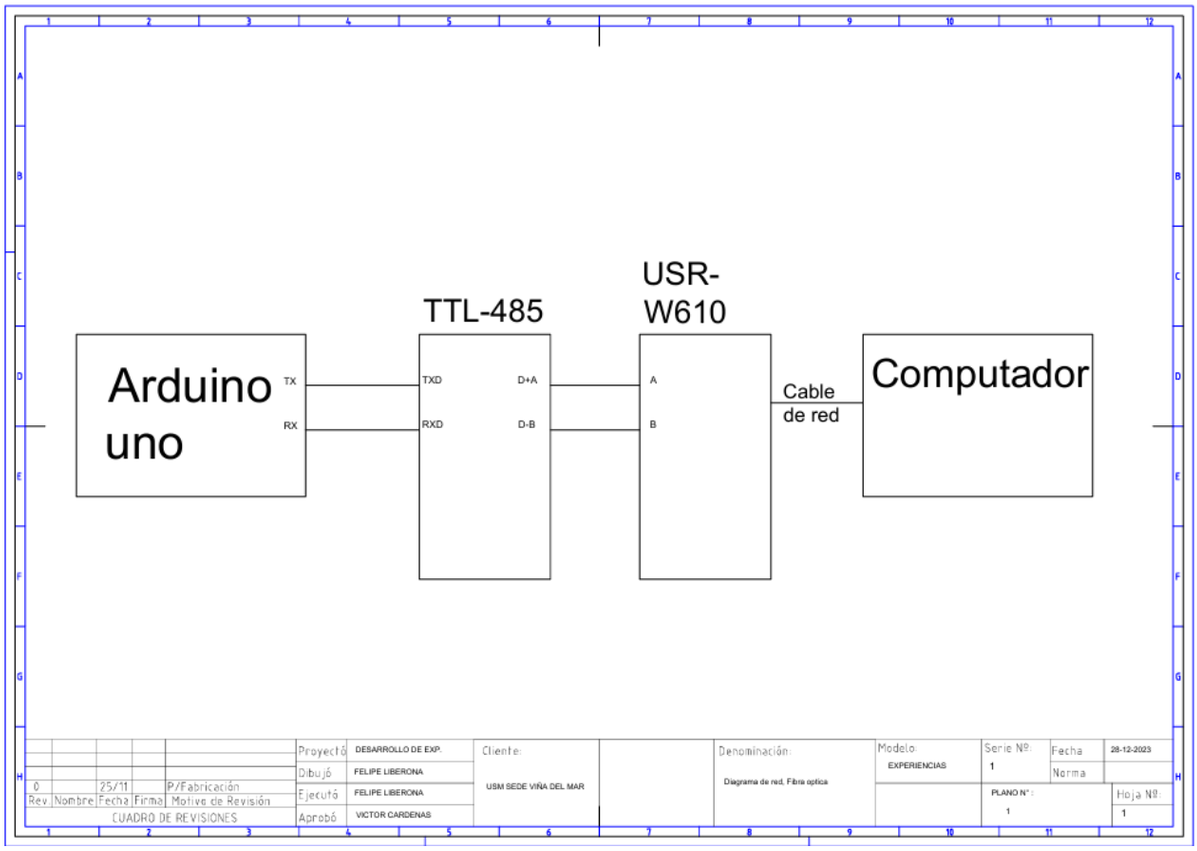
Tabla 2-3 Equipos requeridos para el escenario I USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	1
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para el escenario I

2.2.4.2 Diagrama de red para el escenario I con el módulo USR-W610

A continuación, se muestra en la figura 2-2 el diagrama de red utilizado para el escenario I.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Diagrama de bloques escenario I

2.2.4.3 Resultados esperados para el escenario I con el módulo USR-W610

El arduino enviará información obtenida ya sea por un sensor conectado a la placa o por un contador en su programación por UART pasando por un convertidor lógico permitiendo al arduino uno comunicarse por medio de RS485 con el USR -W610 el cual transmite la información por un medio físico al computador, utilizando un programa como el Modbus Poll que será encargado de recibir los datos y mostrar los datos.

2.2.5 Escenario II con el módulo USR-W610

El segundo escenario se busca crear una red inalámbrica entre dos puntos, en donde los dispositivos USR-W610 van a permitir la comunicación entre el arduino uno y el computador por una red WiFi sin la necesidad de una previamente existente. Se tiene como objetivo determinar la viabilidad del uso de comunicación inalámbrica y su aplicabilidad en sistemas industriales donde se requiera una reducción del cableado.

2.2.5.1 Tabla de equipos para el escenario II con el módulo USR-W610

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-4 con los equipos que se requieren para realizar el escenario de prueba.

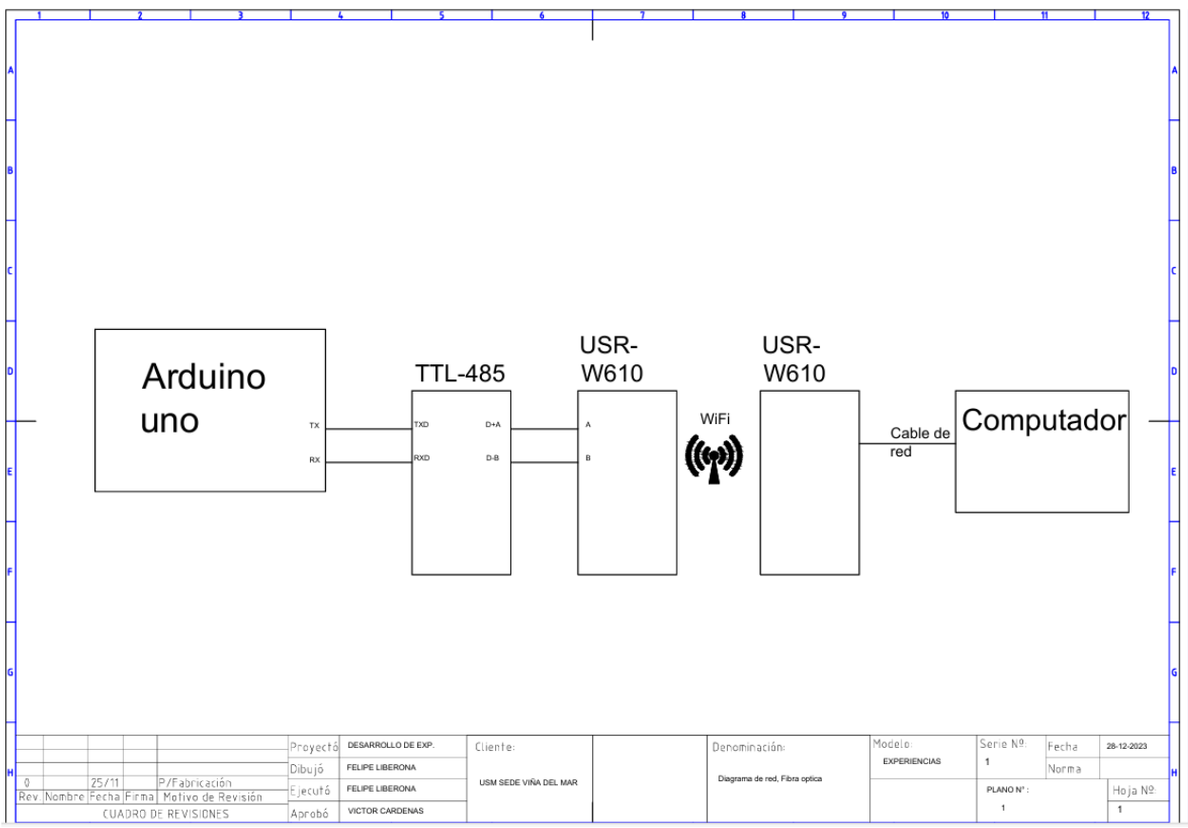
Tabla 2-4 Equipos requeridos para el escenario II USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	2
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para el escenario II

2.2.5.2 Diagrama de red para el escenario II con el módulo USR-W610

En la figura 2-3 se muestra el diagrama de red que se realizó para el escenario II



Fuente: Elaboración propia Figura 2-3 Topología de red escenario II

Figura 2-3. Diagrama de bloques para escenario

2.2.5.3 Resultados esperados

Los datos que son enviados por el arduino llegan a ser transmitidos por un USR-W610 el cual los envía a otro USR-W610 mediante TCP/IP. El computador será el que recibirá los datos y los mostrará por el programa Modbus Poll.

2.2.6 Escenario III con el módulo USR-W610

El escenario III busca establecer la comunicación entre un PLC Arduino Opta actuando como maestro y un computador con el programa Snap Trainer actuando como esclavo. Este escenario se desarrollan el protocolo modbus TCP/IP como también RTU, en conjunto con un PLC Arduino Opta, un módulo USR-W610 y un adaptador de USB/RS-485 finalizando con un computador ejecutando el programa Snap Trainer para un control de un semáforo.

2.2.6.1 Tabla de equipos

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-5 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

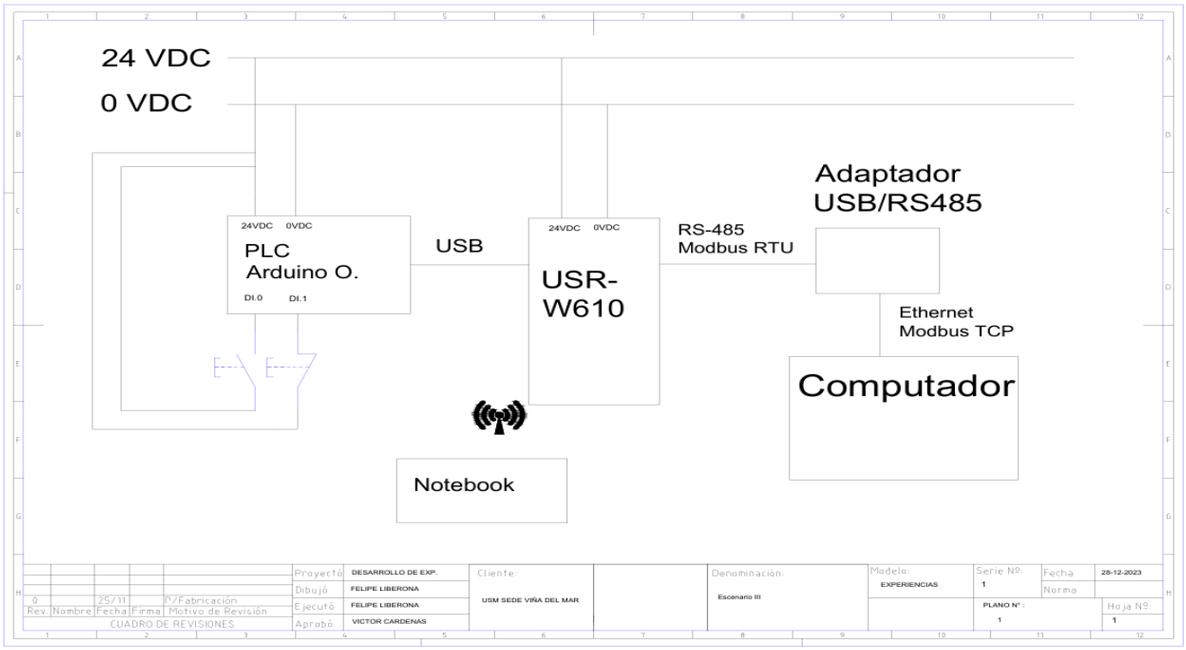
Tabla 2-5 Equipos requeridos para el escenario III USR-W610

N°	Descripción	Cantidad
1	Computador	1
2	USR -W610	1
3	Arduino uno R3	1
4	TTL 485	1
5	PLC arduino Opta	1
6	Adaptador USB/RS 485	1

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.2.6.2 Diagrama de red

En la figura 2-4 se muestra el diagrama de red que se realizó para escenario III.



Fuente: Elaboración propia Topología de red escenario III

Figura 2-4. Diagrama de bloques para escenario III.

2.2.6.3 Resultados esperados

Los resultados esperados para este escenario, es que la comunicación entre el PLC Arduino Opta y el módulo USR-W610 sea correcta en su configuración de IP. La comunicación Modbus RTU debe ser estable entre el módulo USR-W610 y el computador en conjunto con el adaptador USB-RS485. El PLC Arduino Opta controla el semáforo luces verde y roja por medio de la comunicación establecida y escribiendo en los registros específicos. La comunicación debe operar de forma estable durante un periodo de tiempo prolongado, sin caídas de conexión o errores de transmisión.

2.3 EXPERIENCIA III : COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS

El escenario de pruebas para la comunicación maestro esclavo por profibus, se realizará un control on/off de un motor por medio de una pantalla HMI que estará conectado por profinet al PLC maestro, enviando la señal por medio del protocolo profibus al PLC esclavo en donde una de sus salidas cerrará el contactor correspondiente al motor para así hacerlo funcionar.

2.3.1 Importancia de la comunicación maestro esclavo por profibus

La importancia de esta experiencia es comprender la utilización del protocolo de comunicación modbus siendo uno de los más utilizados en las redes de automatización, permitiendo un intercambio de comunicación eficiente y rápido.

Al ser una comunicación maestro-esclavo puede ser ideal para redes pequeñas en donde el maestro tenga el control sobre el intercambio de datos.

2.3.2 Objetivo de la experiencia III

El objetivo es evaluar la transmisión y respuesta de señales de control entre ambos controladores, verificando la correcta configuración del intercambio de datos.

2.3.3 Ejercicio propuesto para la experiencia III comunicación maestro esclavo por profibus

El ejercicio propuesto para la comunicación maestro esclavo por profibus, se realizará un control on/off de un motor por medio de una pantalla HMI que estará conectado por profinet al PLC maestro, enviando la señal por medio del protocolo profibus al PLC esclavo en donde una de sus salidas cerrará el contactor correspondiente al motor para así hacerlo funcionar.

2.3.4 Tabla de equipos para la prueba de comunicación maestro esclavo por profibus

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-6 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-6 Equipos requeridos para comunicacion maestro esclavo

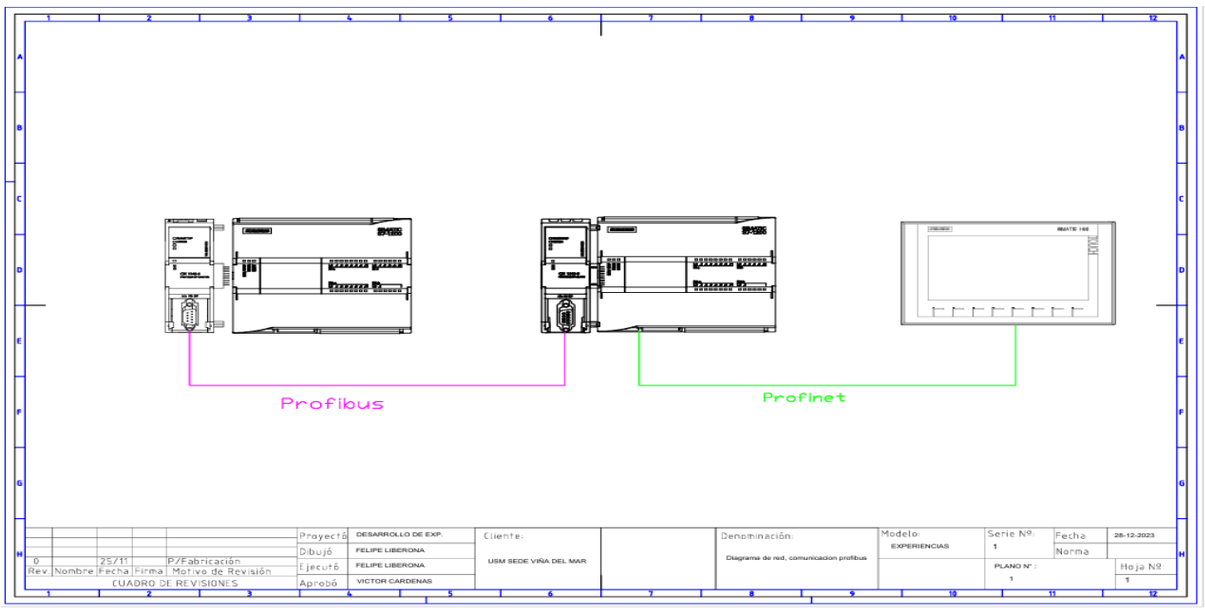
N°4	Descripción	Cantidad
1	PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY	2
2	HMI KTP 700	1
3	Contactor.	1
4	Fuente 24 VDC	1
5	Motor trifasico	1

6	Módulo de comunicación Maestro CM 1243-5	1
7	Módulo de comunicación Esclavo CM 1242-5	1
8	Cable profibus	2mts
9	Conector DB9	2

Fuente Elaboración propia basada en los equipos requeridos para la prueba

2.3.5 Diagrama de red para la comunicación maestro esclavo por profibus

En la siguiente figura 2-5 se muestra el diagrama de red para la experiencia.

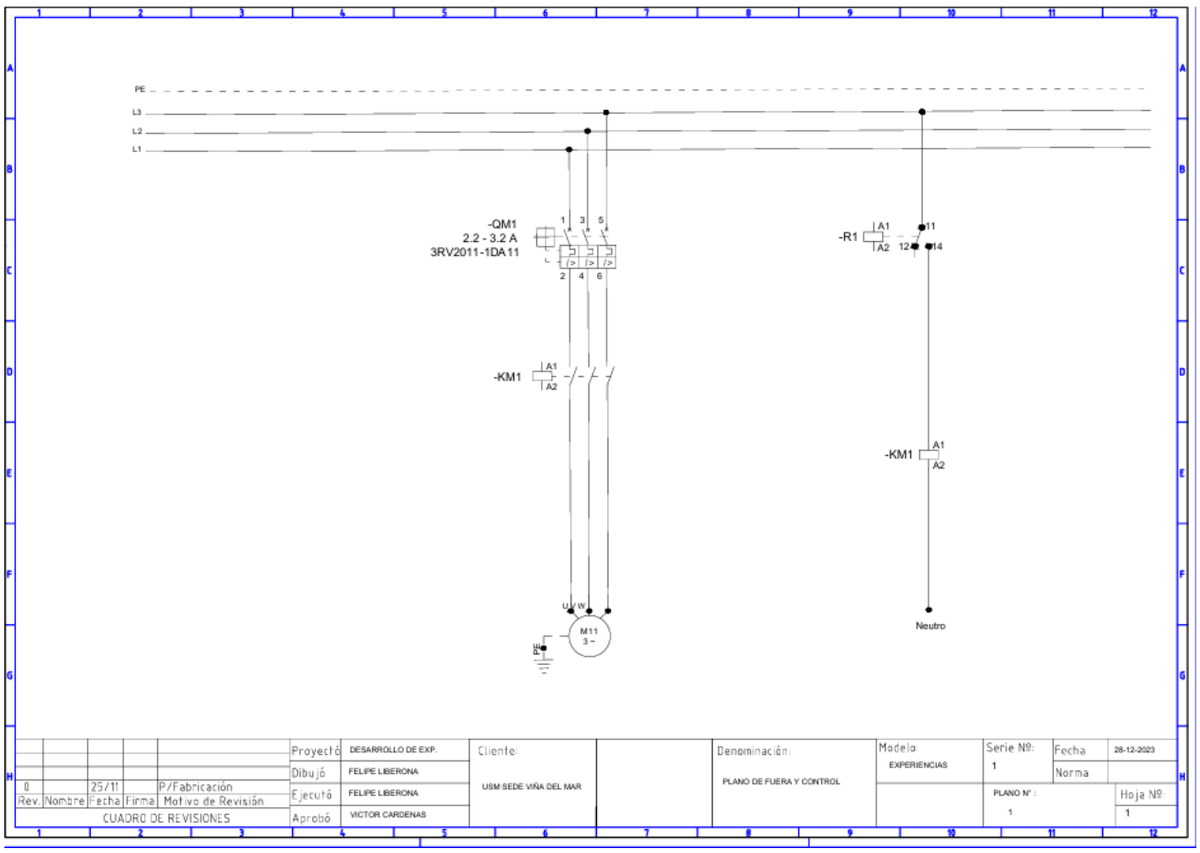


Fuente Elaboración propia

Figura 2-5. Diagrama de red comunicación maestro-esclavo.

2.3.6 Plano de control y fuerza para el motor

Para la experiencia se consideró el accionar de un motor por medio del HMI, para en este caso se desarrolló el plano de control y de fuerza para el motor como se indica en la figura 2-6.

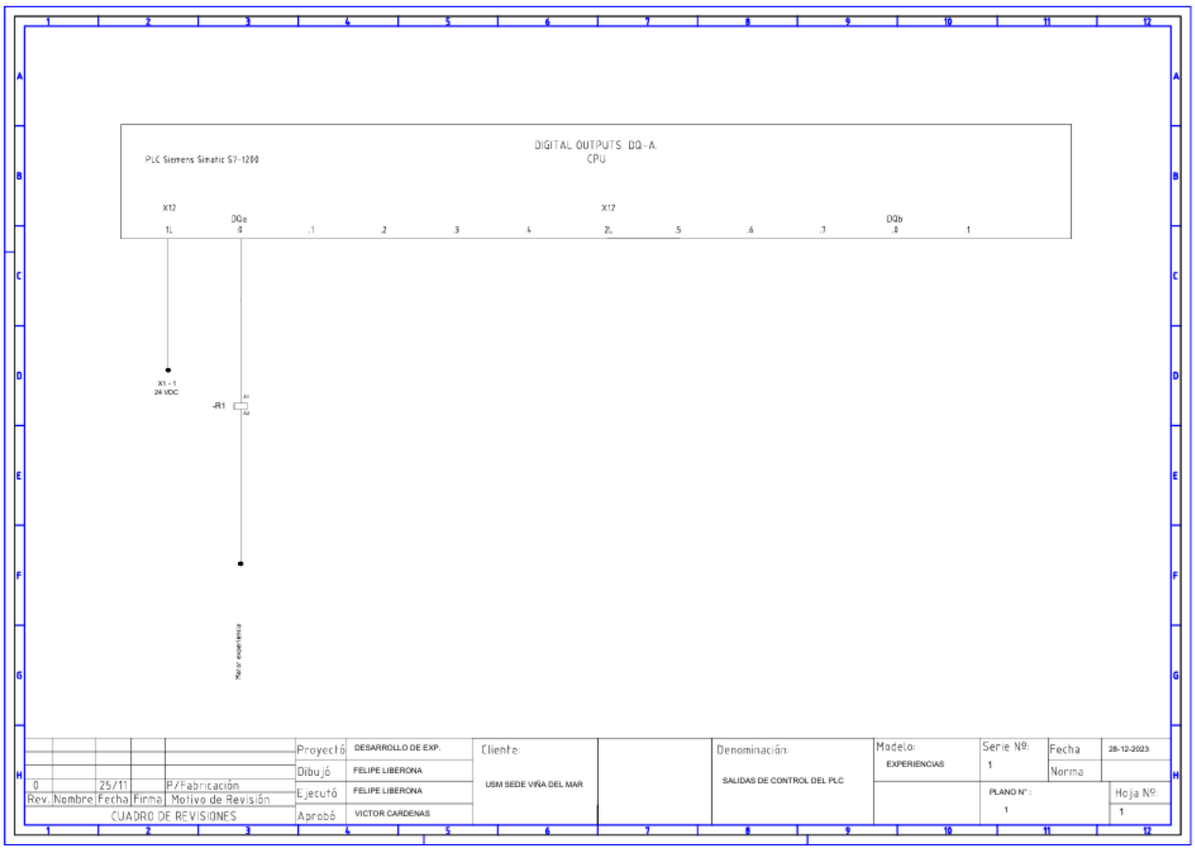


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6. Plano de control y de fuerza del motor.

2.3.7 Plano de salida digital del PLC

Como la experiencia necesita una salida digital para realizar la activación del motor se muestra en la siguiente figura 2-7 cuál salida se utilizará.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-7 Plano salidas digitales.

2.3.8 Resultados esperados

Los resultados esperados para la experiencia, es que la conexión entre los PLC uno como maestro y el otro como esclavo se realice correctamente, con sus luces LED verde fijo y el tia portal no presentando errores de programación.

El funcionamiento de apretar el botón en la pantalla HMI y el bit sea enviado hasta el PLC esclavo y pueda ser ejecutado haciendo funcionar el motor.

Que no se detecten pérdidas de datos o interrupciones durante el desarrollo de la experiencia.

2.4 EXPERIENCIA IV: INTEGRACIÓN ENTRE SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA

La experiencia tiene como finalidad establecer una comunicación entre un computador en donde esté instalado el software Snap Trainer y el PLC Arduino Opta, permitiendo ejecutar acciones de control y monitoreo en tiempo real desde computador hacia el PLC.

2.4.1 Objetivo de la experiencia IV

El objetivo es implementar una comunicación entre el software Snap Trainer y el PLC Arduino Opta, validando el intercambio de datos entre ambos dispositivos y evaluar la aplicación como herramienta de monitoreo y control.

2.4.2 Importancia del software snap trainer

La importancia que tiene el software Snap Trainer es que va a permitir al alumnado simular, procesos industriales sin la necesidad de trabajar directamente con esto, logrando que los estudiantes tengan un aprendizaje práctico y seguro, mejorando la comprensión lógica de programación y fomentando el aprendizaje activo.

La compatibilidad que tiene con distintos tipos de controladores como ej: Siemens, Arduino, Allen-Bradley entre otros, nos va a permitir obtener una experiencia completa.

2.4.3 Ejercicio propuesto para la experiencia IV

El ejercicio propuesto para la prueba con el software consistirá en realizar una comunicación entre el PLC Arduino Opta y el software snap trainer utilizando una gateway de comunicación, donde se podrán simular sensores y ver cómo responde ante la simulación a trabajar el PLC.

2.4.3.1 Tabla de equipos para realizar la experiencia del software snap trainer

Para realizar la prueba se elaboró una tabla 2-7 con los equipos que se requieren para realizar la prueba.

Tabla 2-7 Equipos requeridos experiencia con snap trainer

N°5	Descripción	Cantidad
1	PLC Arduino Opta WiFi	1
2	Gateway Profibus	1
3	Cable profibus	1

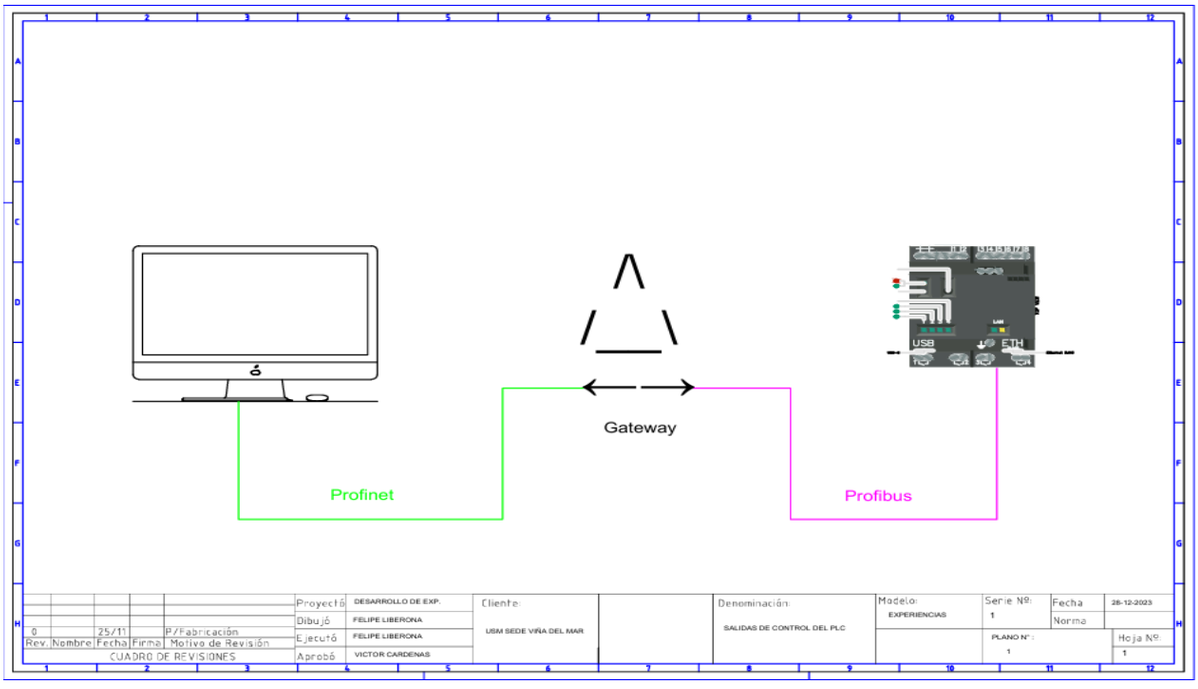
4	Fuente 24 VDC	1
5	Software Snap Trainer	1
6	Software Arduino PLC IDE	1
9	Conector DB9	2

Fuente Elaboración propia. Experiencia con el software snap trainer

2.4.3.2 Diagrama de redes para la experiencia con software snap trainer.

A continuación en la figura 2-8 se muestra el diagrama de red para la experiencia

.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-8. Diagrama de red Snap Trainer.

2.4.3.3 Resultados esperados

Los resultados esperados para la experiencia la comunicación entre el arduino Opta y el gateway sea estable en conjunto con la transmisión de datos desde Snap trainer con el protocolo de comunicación profibus para así ir activando salidas en el PLC, todo esto hará que el sistema sea funcional y sin errores de transmisión.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS

3 RESULTADO OBTENIDOS DE LAS 4 EXPERIENCIAS

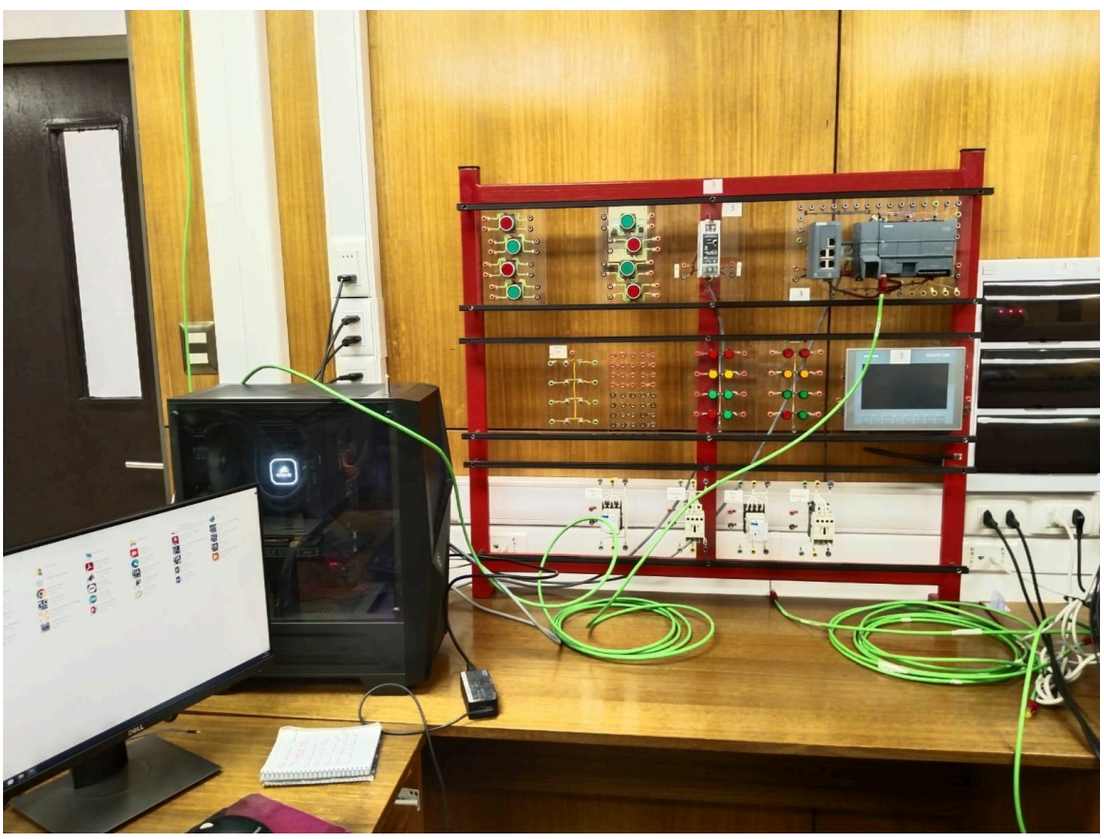
El capítulo presenta el desarrollo y la obtención de los resultados obtenidos en las experiencias. Cada una de estas experiencias se enfocaron en aplicar distintos tipos de protocolos de comunicación y tecnologías, teniendo como un enfoque en conjunto evaluar su aplicación en el área industrial generando entornos educativos y material para el aprendizaje.

3.1 EXPERIENCIA COMPARACIÓN DE MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos.

3.1.1 Montaje para la experiencia comparación medio físico con cable UTP

Para esta parte de la experiencia en donde el montaje para la experiencia fue la conexión por medio de un cable UTP, entre el PLC y el computador como se muestra en la siguiente figura 3-1.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1 Montaje comparación de medios físicos.

3.1.2 Configuración de hardware y software

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.1.2.1 Configuración en hardware

Se verificará que los pares de UTP estén conectados de manera correcta y que no haya algún cable cortado internamente.

Este se verificará con un probador de cables en cada extremo del cable verificando que los 8 LEDS enciendan de forma secuencial.

Se verificará con una inspección visual el estado del cable y de los conectores RJ45, en conjunto con los terminales de salida del computador y de entrada del PLC.

3.1.2.2 Configuración hardware.

Para la configuración del hardware se verificará por intermedio de CMD (símbolo de sistema) que va a permitir interactuar a través de comandos con otros dispositivos conectados a la misma red. Con el comando ping y la dirección IP que se asigne al PLC, se verificará que están en la misma red, detectando problemas en la red o pérdida de latencia.

3.1.3 Dificultades y soluciones.

Durante la implementación de esta experiencia no surgieron grandes dificultades, pero como consideración siempre es bueno verificar el estado del cable y de los puertos de red en los equipos, verificar si la IP asignada en el PLC están en la misma red de área local y que son únicas.

3.1.3.1 Direccionamiento de IP.

Como complemento al punto anterior se desarrolló una tabla de direccionamiento de las IP que son utilizadas para esta experiencia como se muestra en la tabla 3-1.

Tabla 3-1 Direccionamiento de las IP.

Ítem / Dispositivo	Nombre del Nodo	IP Dirección	Máscara de Subred	Gateway	Observación
1	PC 4 de laboratorio	192.168.1.10	255.255.255.0	192.168.1.1	Configuración manual
2	PLC S7-1200	192.168.1.20	255.255.255.0	192.168.1.1	Configuración manual

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia

3.1.4 Análisis de funcionamiento

El computador se comunica con el PLC por intermedio de un cable de red, permitiendo cargar programas al PLC, visualización y monitoreo en línea.

3.1.5 Resultados obtenidos

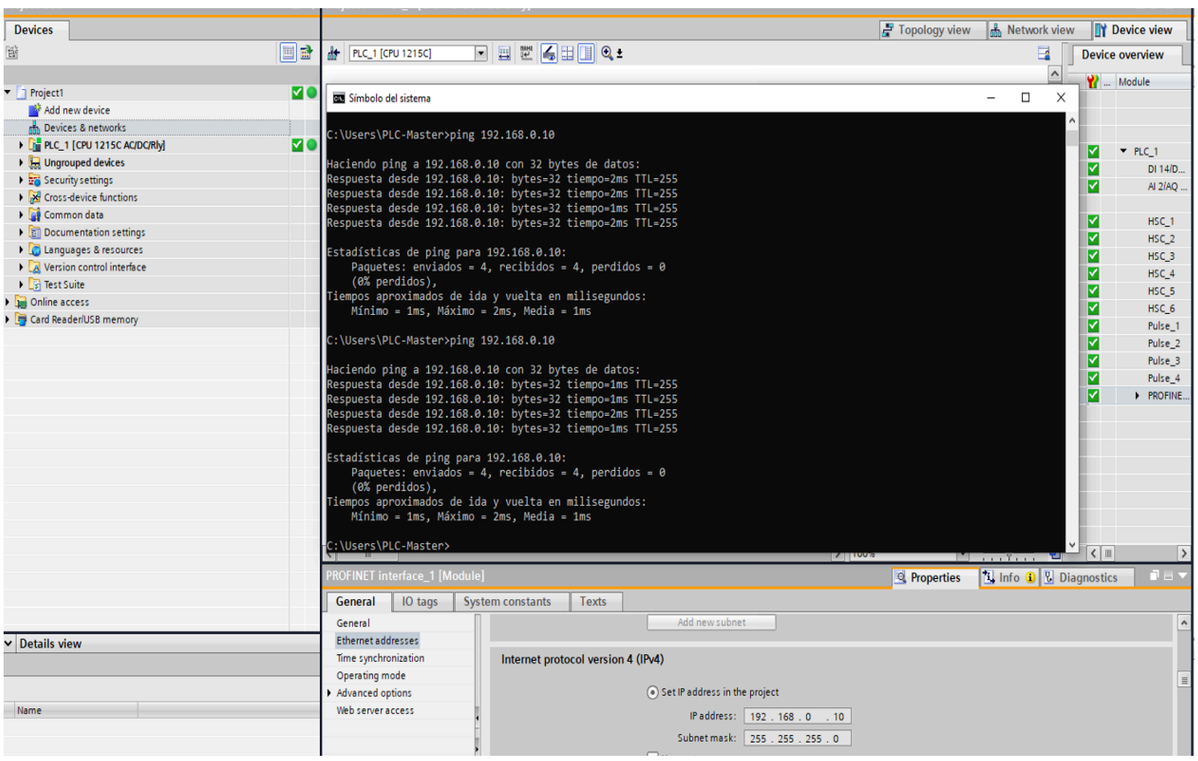
En la tabla 3-2 siguiente se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia. En la figura 3-2 se muestra la interfaz del software Tia Portal V 18 en conjunto con el CMD en donde se verifica que la comunicación se realizó de manera óptima.

Tabla 3-2 Evaluación de la experiencia comparacion de medio físico.

Ítem	Descripción / Valor observado	Resultado
Tipo de conexión física	Cable Ethernet directo	OK
Estado de los puertos	LEDs encendidos/parpadeando en ambos extremos	OK
Dirección IP del PLC	192.168.0.10	OK
Dirección IP del PC	192.168.0.5	OK
Máscara de subred	Ej: 255.255.255.0 en ambos dispositivos	Compatible

Prueba de ping	Respuesta desde el PLC	OK
Software utilizado	TIA Portal / CMD	Compatible
Reconocimiento del PLC	Detectado correctamente desde el software	OK
Comunicación en línea	Lectura/escritura de variables en tiempo real	OK
Protocolo utilizado	PROFINET	Compatible
Estabilidad de la conexión	Comunicación continua sin interrupciones	Estable
Velocidad de respuesta	Baja latencia (<10ms)	Adecuada

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2 Interfaz Tia Portal, CMD

3.2 MONTAJE PARA LA EXPERIENCIA COMPARACIÓN MEDIO FÍSICO CON FIBRA ÓPTICA.

El montaje para el desarrollo de esta experiencia consistió en la comunicación entre dos PLC S7-1200 por intermedio de un conversor de medios de fibra óptica.

3.2.1 Configuración de hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.2.1.1 Configuración en hardware.

En la configuración para la experiencia la conexión entre los dos PLC se realizará con una cable de fibra óptica y conversores de medio, teniendo en cuenta que en los conversores en un extremo se coloca en TX y en el otro el cable de fibra óptica debe llegar el RX, se debe verificar que los LED encienden tanto los de alimentación como los de comunicación.

3.2.1.2 Configuración de software.

Para verificar la comunicación entre los dos PLC se enviará un bit, siendo una prueba sencilla pero efectiva. Al ser transmitido el bit se verificará la integridad de los datos de un PLC a otro, siendo que no sea el caso se procederá a revisar los bloques utilizados (PUT, GET) o un error en la dirección IP.

3.2.2 Análisis de funcionamiento.

Para esta experiencia el principal equipo es el conversor de medio para fibra óptica el cual nos va a permitir ser un puente entre dos redes distintas, una con un cable de red UTP y la otra con una de fibra óptica. El funcionamiento consiste en convertir señales eléctricas usadas en los cables UTP en señales ópticas para su transmisión por el cable de fibra óptica.

3.2.3 Resultados obtenidos.

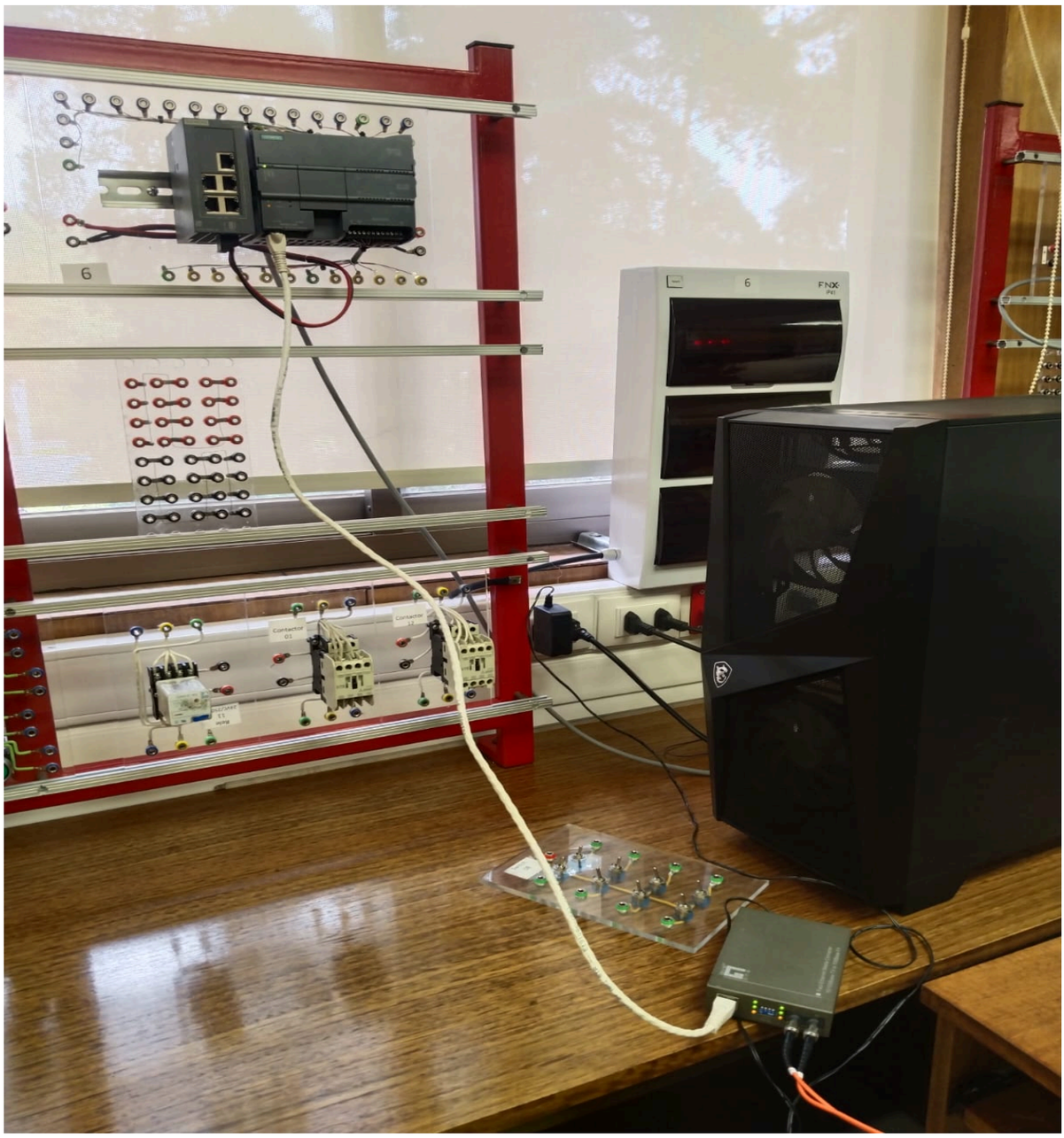
En la tabla 3-3 se presentan de forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia. En la figura 3-3 se aprecia el conversor de medio conectado al PLC , en la figura 3-4 se aprecia el Tia Portal ejecutando el comando PUT.

Tabla 3-3 Evaluación de la experiencia comparación de medio físico con fibra óptica.

Ítem	**Descripción / Valor observado**	**Resultado**
Tipo de conexión física	PLC ↔ Switch (UTP) → Conversores de medio → Fibra óptica → Switch ↔ PLC	OK
Estado de los puertos	LEDs encendidos en los PLC	OK
Dirección IP del PLC Maestro	192.168.0.1	OK
Dirección IP del PLC Esclavo	192.168.0.2	OK
Máscara de subred	255.255.255.0 en ambos dispositivos	Compatible
Prueba de ping	Respuesta desde el esclavo al maestro y viceversa	OK
Software utilizado	TIA Portal V18	Compatible
Reconocimiento del PLC	Ambos PLC detectados correctamente en el proyecto	OK
Comunicación en línea	Posible realizar lectura y escritura en ambos PLC	OK
Protocolo utilizado	PROFINET (GET/PUT)	Compatible
Activación del bit	Bit %M0.0 en maestro llega correctamente a %M1.0 en esclavo	Correcto
Temporizador TON (ET)	ET mostró tiempos entre 2 y 5 ms	Adecuado
Estabilidad de la conexión	Sin cortes ni errores de transmisión durante la prueba	Estable

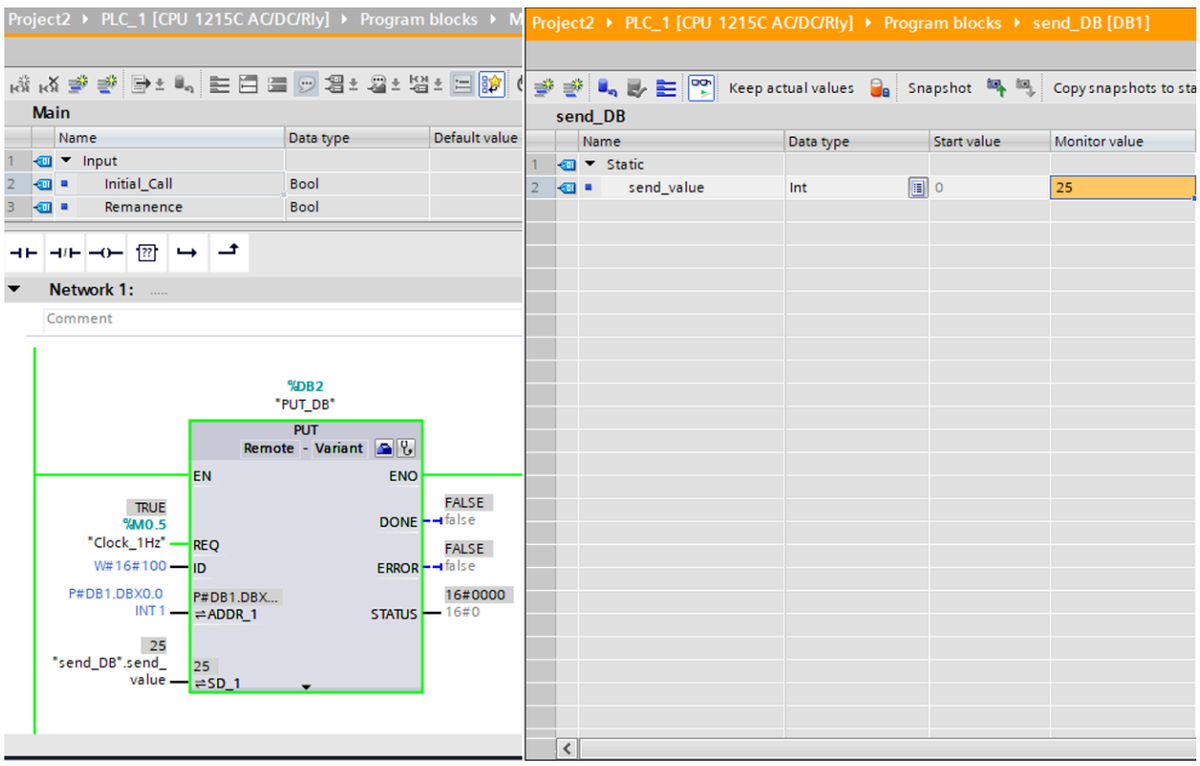
Pérdida de paquetes	No se detectaron pérdidas durante las transmisiones repetidas	No hubo

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Conversor de medio



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4 Comando PUT

3.3 EXPERIENCIA CON MÓDULO USR-W610

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos.

3.3.1 Montaje para la experiencia.

El montaje para esta experiencia se dividió en 3 distintos escenarios en donde cada uno se fue agregando complejidad en la arquitectura de comunicación, en donde cada etapa se va introduciendo desafíos técnicos.

3.3.2 Montaje escenario I: Arduino-TTL 485-USR-W610-Computador.

El montaje consiste en conectar el Arduino Uno con un conversor TTL 485 al USR-W610 mediante UART. La configuración del USR-W610 como servidor TCP permite establecer una comunicación con el computador utilizando un cable de red.

Este montaje permite asegurar el correcto funcionamiento del módulo para posteriormente incorporar enlaces inalámbricos en los siguientes escenarios.

3.3.3 Montaje escenario II : Arduino - USR -W610 - USR-W610 - Computador

En este segundo montaje se incorpora un segundo módulo USR-W610, que se conecta por medio de un cable de red, el segundo mantiene el mismo conexionado físico que el escenario uno, ambos módulos se comunican entre sí, de forma inalámbrica siendo configurados uno de manera cliente y servidor.

Al ser un montaje con un segmento de comunicación inalámbrica se va a requerir una configuración específica de IP, puertos y sincronización de datos.

3.3.4 Montaje escenario III: PLC arduino Opta-USR-W610-Snap Trainer

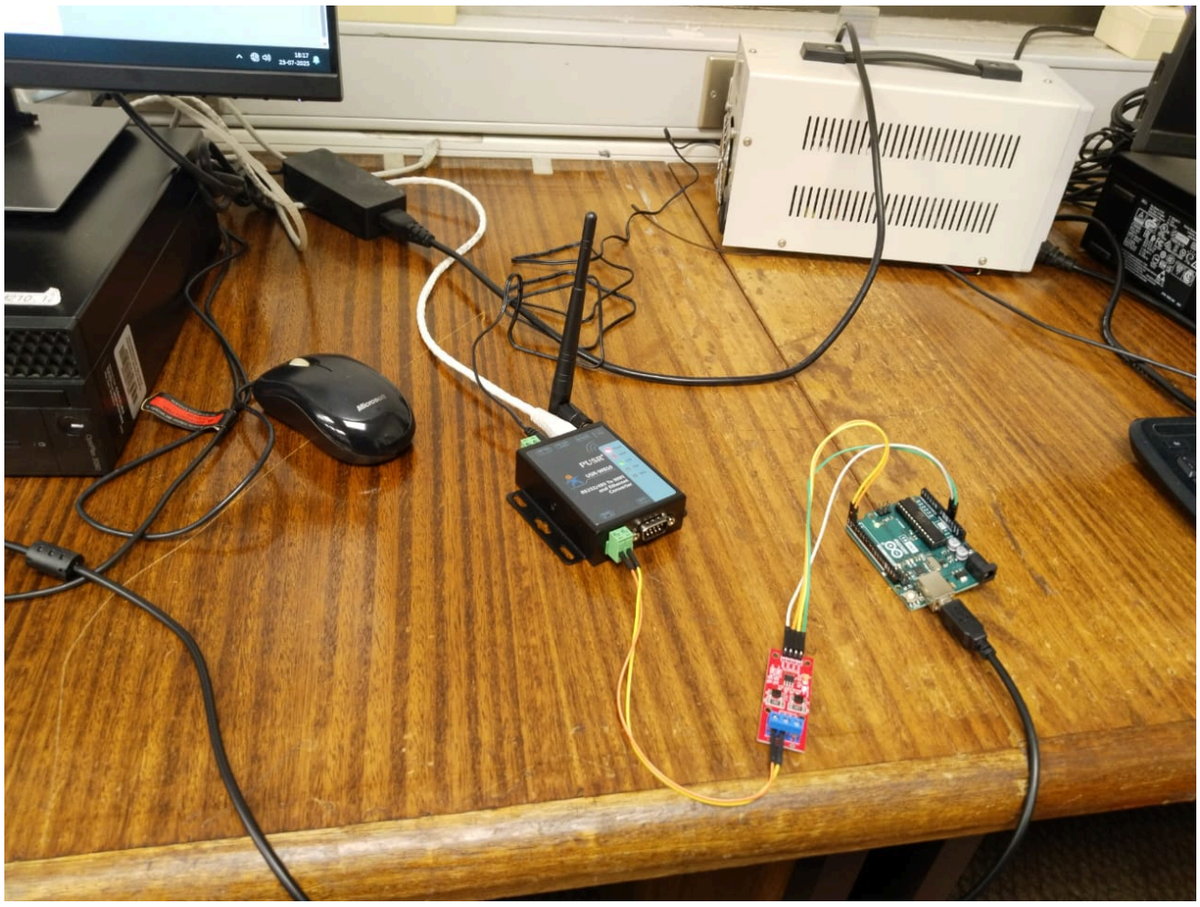
En el tercer montaje para el escenario III, se incorpora el programa Snap Trainer como esclavo, un adaptador USB/RS485 y el PLC Arduino Opta como maestro. Para este escenario el módulo USR-W610 nos va a permitir pasar de Modbus TCP a Modbus RTU y un punto de acceso Wifi. El adaptador USB/RS485 nos permite conectar al computador que tiene el programa Snap Trainer.

3.3.5 Configuración de hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.3.6 Escenario I: Configuración hardware.

La configuración del hardware comienza con dos cables que salen del Arduino UNO de los pines TX-RX conectados al módulo TTL RS485, TXD-RXD (el TX se conecta con RXD y el RX con TXD). Desde el módulo TTL RS485, los pines de salida A y B son conectados al terminal RS 485 del módulo USR - W610, respetando la polaridad indicada por el fabricante. Finalizando, desde el módulo USR - W610 se conecta al computador por un cable de red. A continuación, se muestra la figura 3-5.



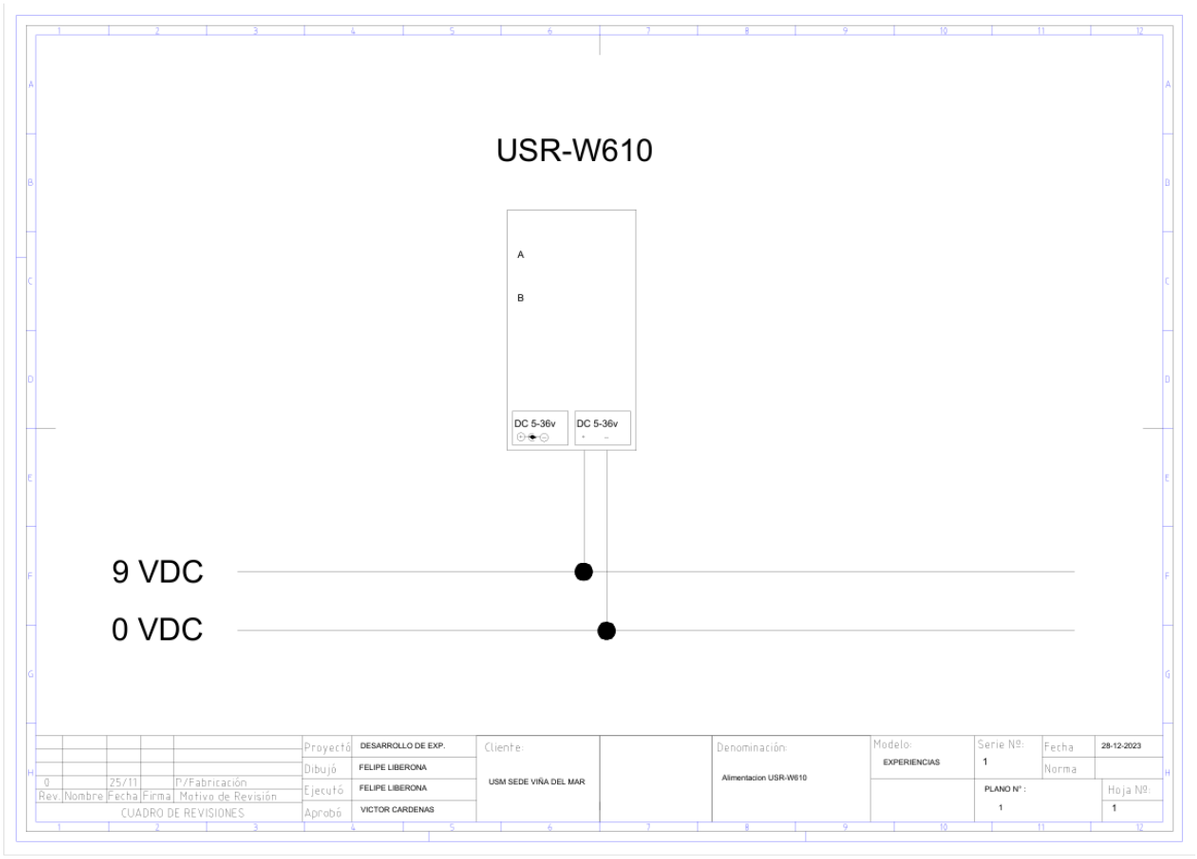
Fuente Elaboración propia

Figura 3-5. Montaje para el escenario I.

3.3.7 Diagrama eléctrico para el módulo USR-610

El diagrama eléctrico facilita la visualización de la alimentación del módulo como se muestra en la siguiente figura 3-6. El diagrama eléctrico cumple un rol fundamental para la implementación del equipo, ya que teniendo una referencia visual para el cableado minimiza los posibles errores en su conexión, además permite identificar la polaridad correcta de la alimentación.

De esta forma el diagrama no solo facilita la compresión del cableado físico del módulo, también es un complemento para el diagnóstico, mantenimiento y posibles trabajos de expansiones del módulo de comunicación industrial USR-W610.



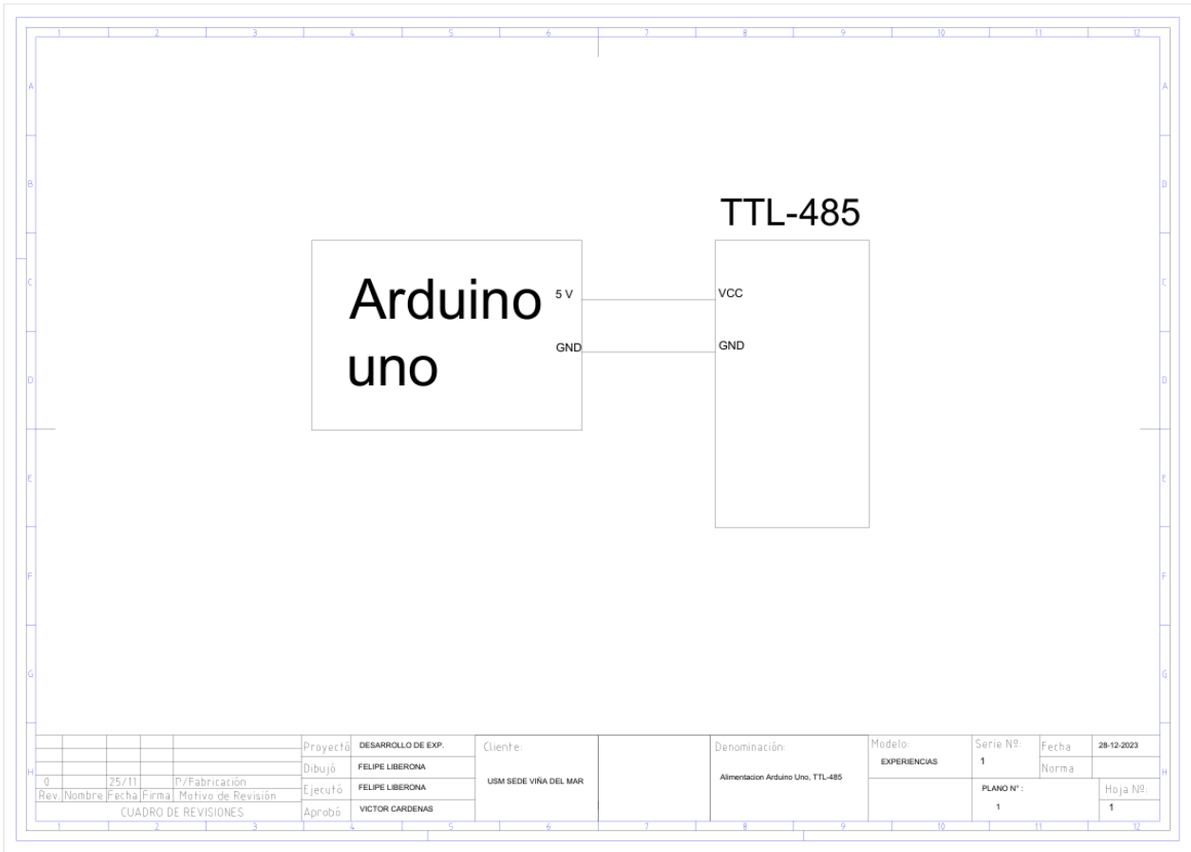
Fuente Elaboración propia

Figura 3-6 Diagrama eléctrico para el conversor USR-W610

3.3.8 Diagrama electrico para Arduino Uno, TTL-RS485

El diagrama eléctrico facilita la visualización de la alimentación del Arduino Uno y da entender que la alimentación de TTL-RS485 depende del Arduino Uno, estableciendo una relación de maestro esclavo con respecto a la provisión energía como se muestra en la figura 3-7.

En términos prácticos tener un diagrama de conexión eléctrica contribuye mejor a la comprensión de la alimentación del equipo siendo esencial para tareas de verificación, mantenimiento y futuras modificaciones.



Fuente Elaboración propia

Figura 3-7 Diagrama eléctrico para Arduino uno- TTL-485

3.3.9 Código de programación que se utilizará en el Arduino uno R3.

El código de programación a utilizar en el Arduino Uno R3 es esencial en el funcionamiento y desarrollo de los tres escenarios, siendo el que se muestra en la figura 3-8.

Este programa fue diseñado con el fin de obtener una transmisión y recepción de datos confiable, el código define las configuraciones de los pines de comunicación, parámetros de velocidad (baud rate) y el procedimiento continuo que aseguran un intercambio de información estable. Además, el código puede adaptarse fácilmente a distintos entornos de prueba permitiendo una flexibilidad y escalabilidad, de esta manera la correcta implementación va a permitir validar funcionalidades esperadas y comportamientos en diversas condiciones.

```
#include <ModbusRTU.h>

#define REGN 10  // Registro donde se almacenará el número aleatorio
#define REGN2 11  // Registro donde se almacenará el número aleatorio
#define REGN3 12
#define SLAVE_ID 1  // ID del esclavo Modbus

ModbusRTU mb;

void setup() {
  Serial.begin(38400, SERIAL_8N1);  // Inicia la comunicación Serial con la configuración estándar

  mb.begin(&Serial);  // Inicia el Modbus RTU y asigna el puerto Serial
  mb.slave(SLAVE_ID);  // Configura el dispositivo como esclavo con el ID especificado

  mb.addHreg(REGN);  // Añade el registro de retención en la dirección especificada
  mb.addHreg(REGN2);
  mb.addHreg(REGN3);
}

void loop() {
  int randomNumber = random(0, 100);  // Genera un número aleatorio entre 0 y 100
  int randomNumber2 = random(200, 300);
  int randomNumber3 = random(400, 500);
  mb.Hreg(REGN, randomNumber);  // Establece el valor del registro de retención
  mb.Hreg(REGN2, randomNumber2);
  mb.Hreg(REGN3, randomNumber3);

  mb.task();  // Procesa las tareas Modbus RTU
  delay(100);  // Espera un poco antes de la siguiente actualización
}
```

Fuente Informe 1 de ayudantía

Figura 3-8 Código para Arduino Uno

3.3.10 Escenario I: Configuración software.

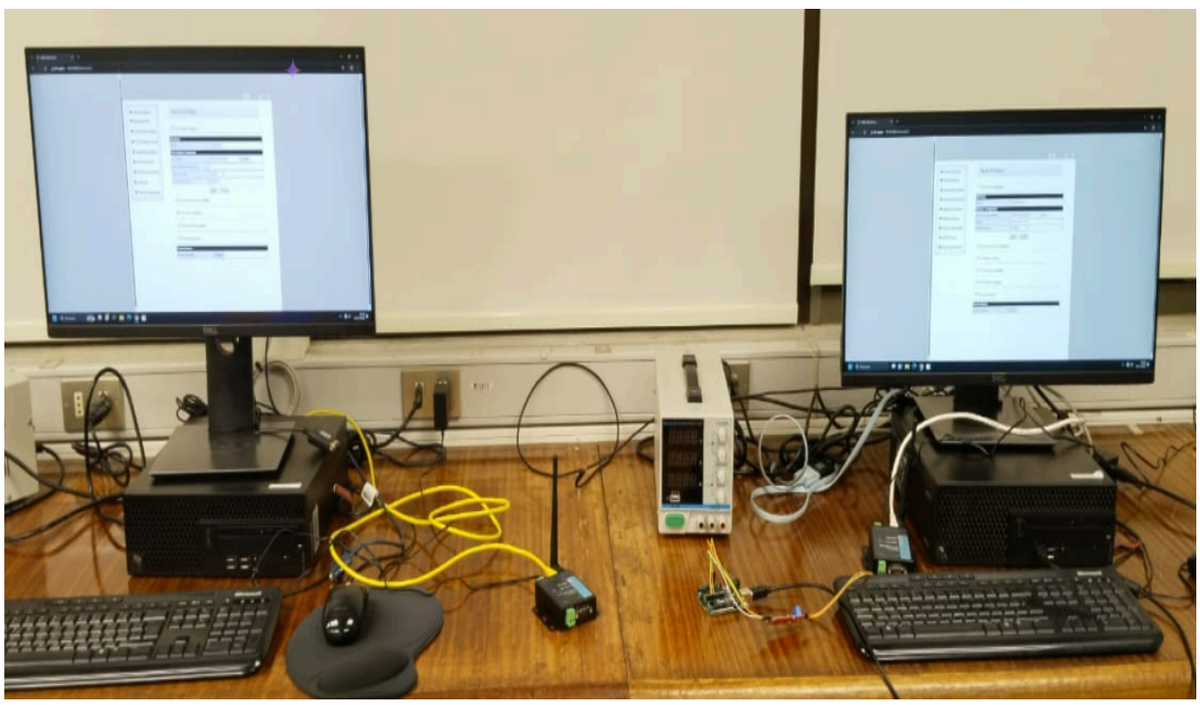
Para la configuración de la parte del software ya sea en el computador donde se debe conocer la ip, además se debe instalar el programa Modbus Poll el cual también se tiene que configurar algunos parámetros. Para la configuración del módulo USR-W610 uno tiene que ingresar al navegador colocar la IP indicada en la etiqueta del módulo y las credenciales de acceso, en la web configuration interface se tiene que modificar el modo de trabajo ya sea TCP/UDP/AP cliente o servidor asignar una IP estática. Para verificar si el computador tiene comunicación con el módulo desde el CMD uno utiliza el comando Ping a la dirección IP asignada al módulo.

3.3.11 Escenario II: Configuración hardware

Se mantiene la misma configuración que el anterior escenario, conservando tanto la estructura del circuito como la disposición de los componentes, pero se va a disponer de un segundo módulo USR - W610, el cual se conectará al computador por un cable de red. Teniendo dos módulos USR-W 610 se podrá realizar una conexión por WiFi entre ellos como se muestra en la figura 3-9.

La implementación de un segundo módulo USR-W610 permite un enlace de punto a punto, en donde un módulo actúa como servidor (AP mode) y el otro como cliente (STA mode), logrando una comunicación bidireccional que permite la transmisión de datos sin la necesidad de un medio físico como transmisor, manteniendo estabilidad y confiabilidad en las comunicaciones industriales.

En la figura 3-9 se muestra la interacción entre ambos módulos y su vinculación con el computador y el resto de los elementos que componen este escenario.

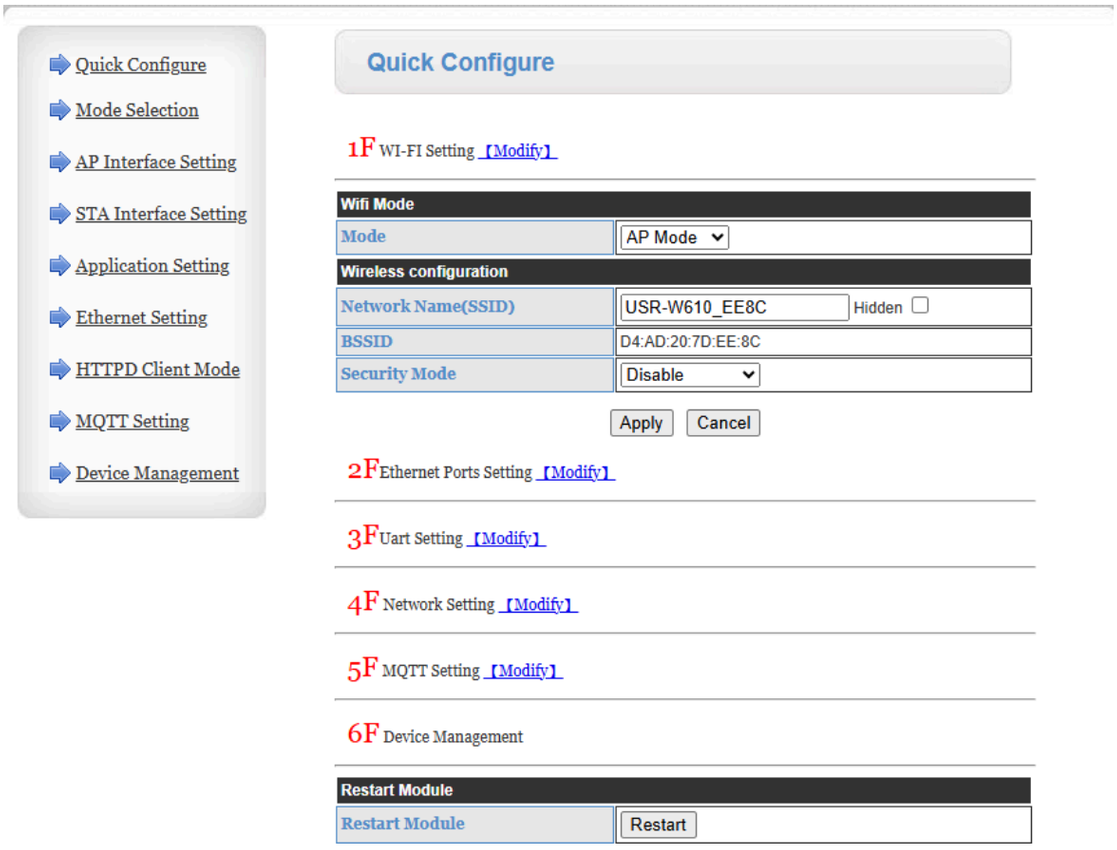


Fuente Elaboración propia

Figura 3-9 Montaje para el escenario II

3.3.12 Escenario II: Configuración software.

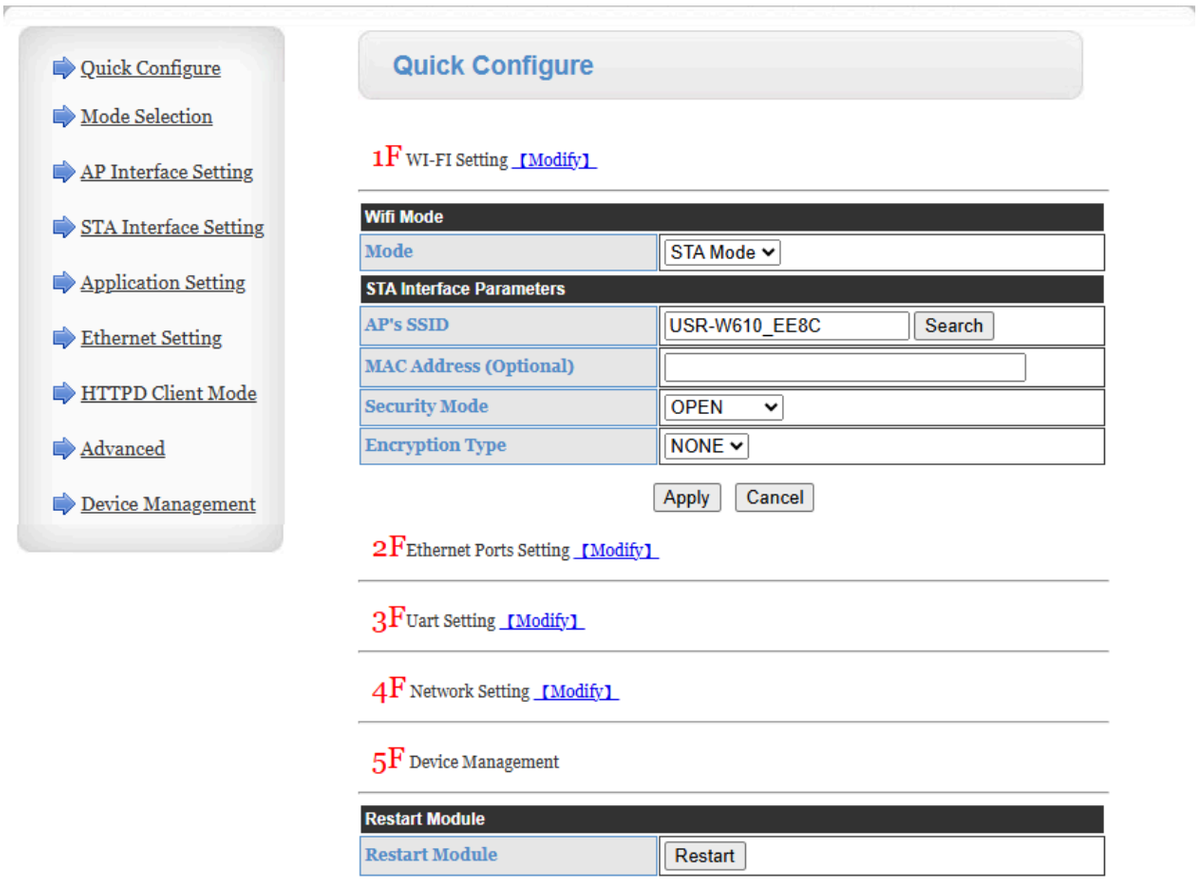
Se mantiene la configuración anterior pero en este escenario se agrega un segundo módulo USR- W610, el módulo que se conecta al arduino se tiene que configurar como servidor en el modo AP creando una red Wifi propia, como se muestra en la figura 3-10.



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-10 Configuración Módulo USR - W610 en AP

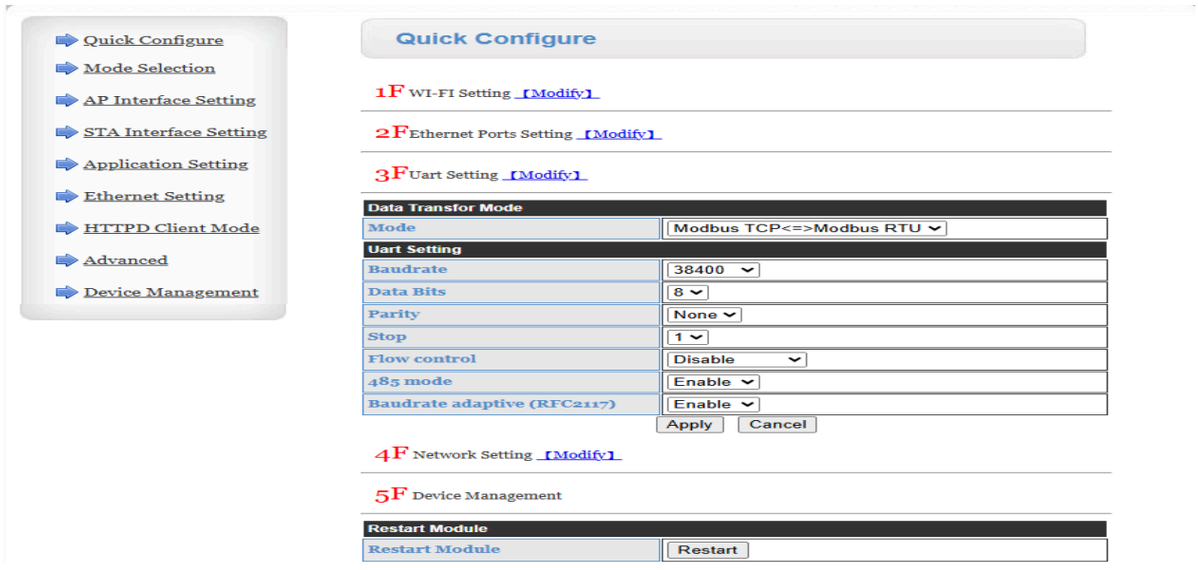
El segundo módulo el cual se comunica con el computador se tiene que configurar como cliente (modo estación) para así conectarse a la red creada por el módulo, como se muestra en la figura 3-11 (estación).



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-11 Configuración Módulo USR - W610 en STA

En los dos módulos se tienen que configurar con mismos parámetros, Puerto local -502 TCP Serial - 38400 Baudrate, 8 Data bits, como se ve en la figura 3-12.



Fuente: Web del Módulo USR - W610

Figura 3-12 Parámetros Módulo USR - W610

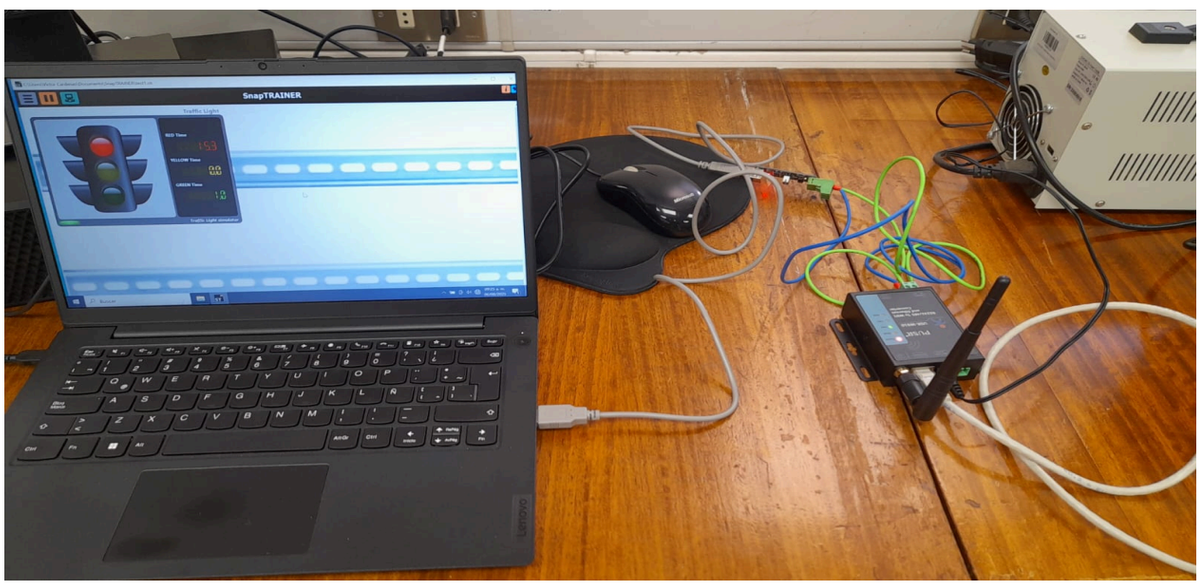
3.3.13 Escenario III: Configuración hardware.

La configuración para el escenario III comienza con la comunicación por un cable de red desde el puerto RJ45 del PLC Arduino Opta para conectarse al módulo USR-W610. Del módulo USR - W610 nos conectaremos por RS-485 al adaptador de USB/RS485 para luego conectarse por USB al computador el cual estará ejecutando el programa Snap Trainer como se muestra en la figura 3-14. Para comandar el programa Snap Trainer el cual tendrá la pestaña de un semáforo se conectarán dos pulsadores, cada uno estará asociado a una luz del semáforo, a continuación, se muestran las figuras 3-13 y 3-14.



Elaboración propia para el escenario III

Figura 3-13 Escenario III PLC Arduino Opta.

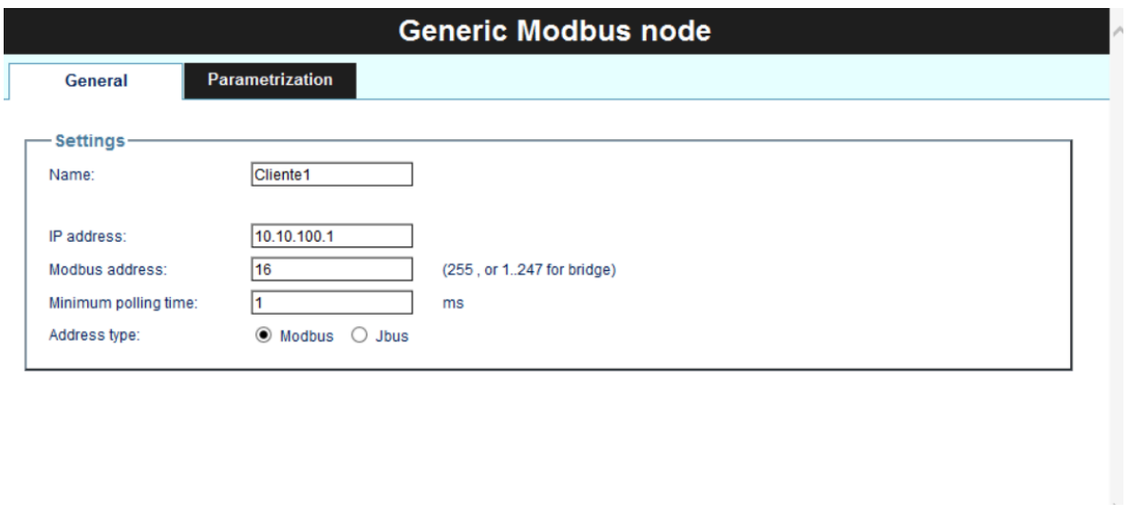


Fuente Elaboración propia para el escenario III

Figura 3-14 Escenario III

3.3.14 Escenario III: Configuración software.

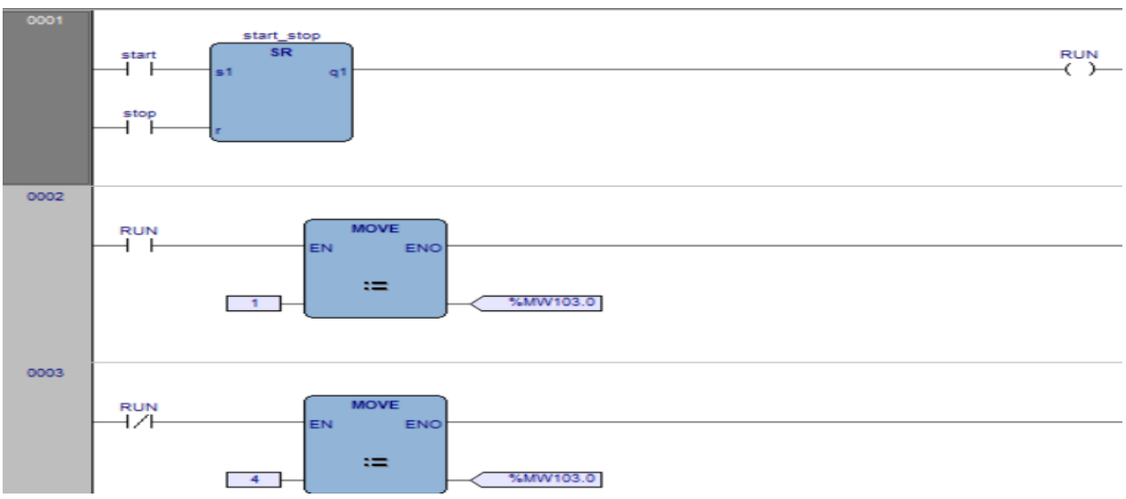
Para la configuración del Software se tienen 3 equipos que son los que se tienen que configurar para realizar este escenario de buena manera. El primero en realizar la configuración es el PLC Arduino Opta, en donde se tiene que fijar una dirección de IP del cliente que sería el software Snap Trainer como se muestra en figura 3-15, además debe coincidir en el rango de la IP asignada al módulo USR-W610.



Fuente interfaz del programa Arduino IDE del PLC

Figura 3-15 Parametrización del PLC

La programación que se realizó fue sencilla siendo su principal enfoque verificar la comunicación de los equipos del escenario III, como se muestra en la figura 3-16.

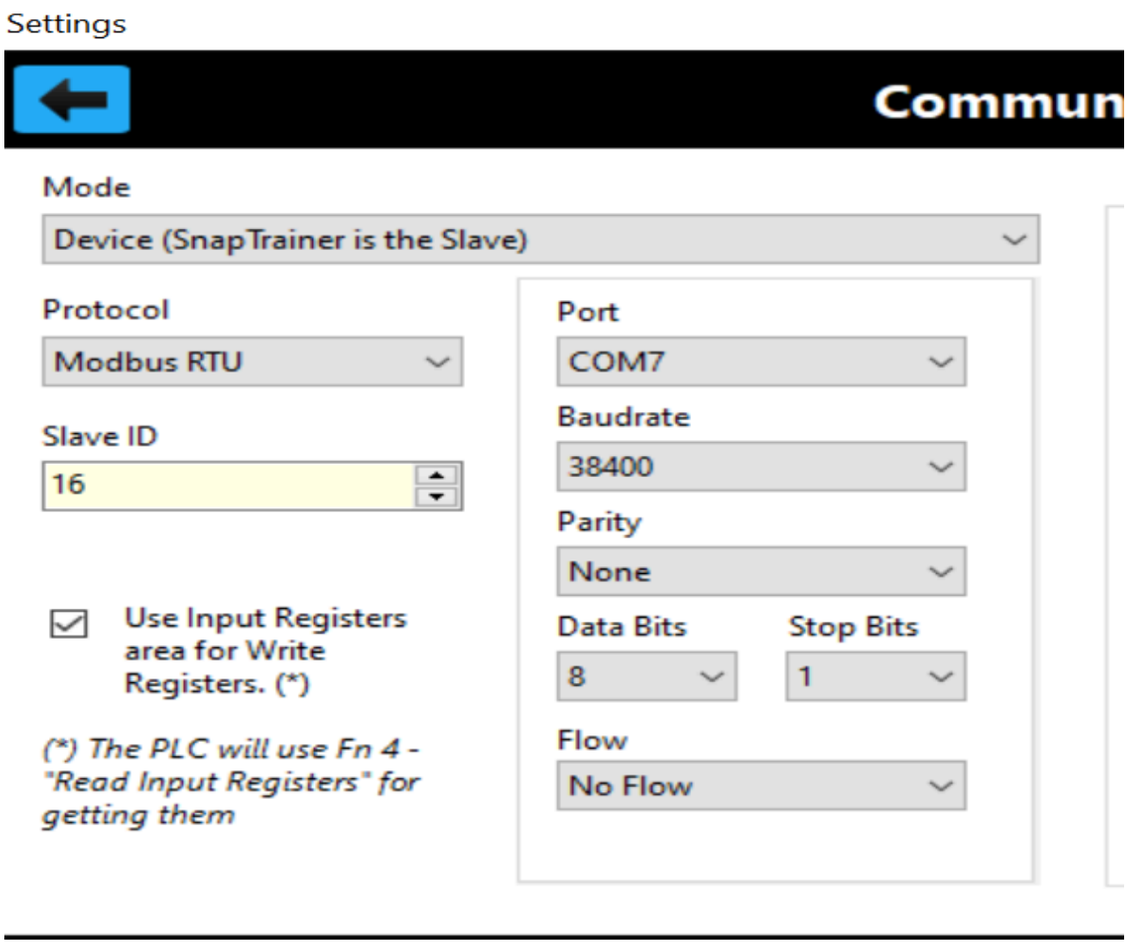


Fuente elaboración propia, programación en ladder.

Figura 3-16 Programa en ladder para el escenario III

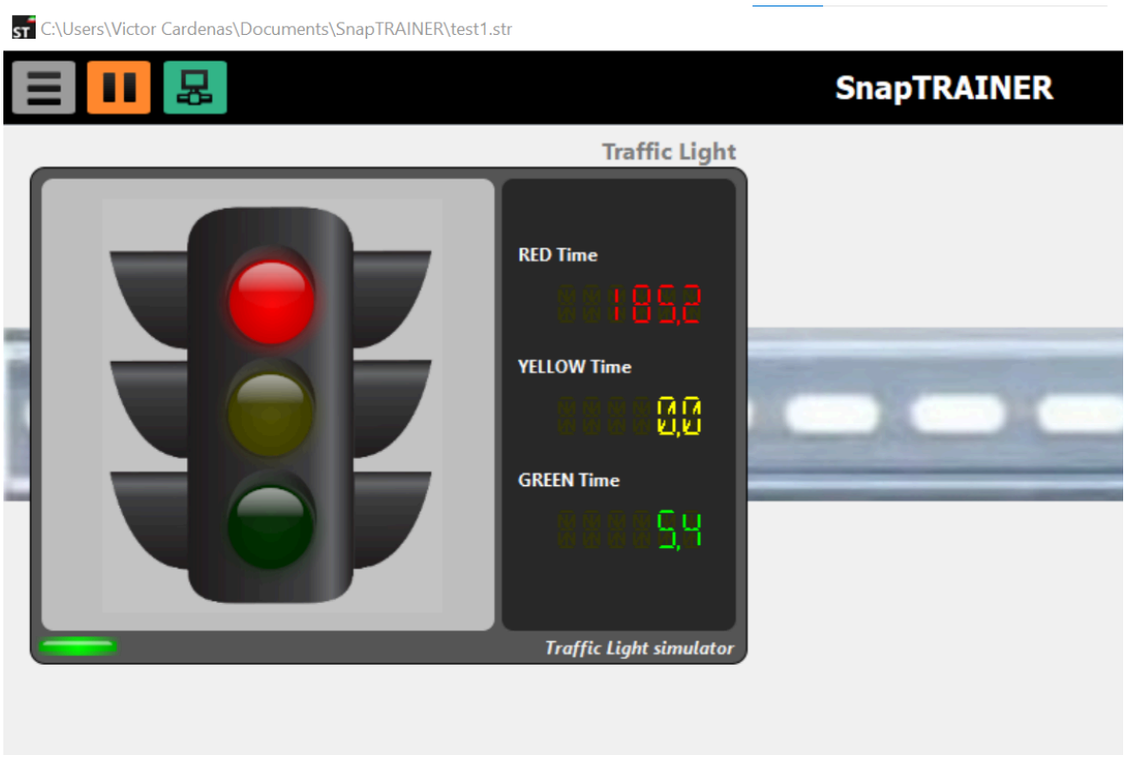
El segundo equipo que se realizó su configuración fue el módulo USR-W610, el cual va a mantener la configuración del segundo escenario, funcionando como punto de acceso (AP) y cumpliendo una función de puente entre dos protocolos de comunicación distintos y permitiendo generar una red WiFi.

El tercer equipo a configurar fue el computador con el programa Snap Trainer el cual se configura como esclavo modbus RTU y el puerto COM que se utilizara para la comunicación como se muestra en la siguiente figura 3-17. En la figura 3-18 se muestra el semáforo que es parte de la interfaz del programa Snap Trainer.



Fuente Interfaz del programa Snap trainer.

Figura 3-17 Interfaz de comunicación del programa Snap Trainer.



Fuente Elaboración propia interfaz del programa Snap Trainer

Figura 3-18 Semáforo Snap Trainer.

3.3.15 Dificultades y soluciones.

Las dificultades y soluciones se detallarán para cada uno de los escenarios que se trabajaron durante la experiencia.

3.3.15.1 Dificultades y soluciones. Escenario I.

La principal dificultad fue la programación del Arduino Uno, en donde su scripts faltaba en librerías relacionadas a la comunicación por Modbus. Otra dificultad que surgió durante el desarrollo fue que el PC no reciba datos y se ajustó la configuración UART, también se revisó el puerto TCP y la IP asignada al USR-W610.

3.3.15.2 Dificultades y soluciones. Escenario II.

La principal dificultad que surgió fue que la comunicación entre los módulos USR - W610 no se establece, esto se debía a que en ambos módulos presentaban un conflicto de red al tener dirección IP LAN y WAN dentro de la misma subred, generando que el tráfico de datos no se logre enrutar. La solución fue asignar una dirección IP, al módulo configurado como

servidor TCP en una subred distinta a la asignada a la dirección IP LAN así evitando que las interfaces compartan el mismo segmento de red.

3.3.15.3 Dificultades y soluciones. Escenario III.

Para este escenario surgieron más de un problema, el PLC no se conectaba al módulo USR-W610 siendo su causa una IP mal configurada, como solución se verificaron las IP que estuvieran en la misma red y que no se repitieran.

Otra dificultad que se tuvo fue que el computador no reconoce el adaptador USB-RS485; como solución se verificaron los drivers y se cambió de puerto.

3.3.16 Análisis de funcionamiento.

El análisis de funcionamiento de los escenarios tiene la particularidad que todos se hacen en base al módulo USR - W610 y en donde se genera la información a transmitir es un Arduino Uno, haciendo que los 3 escenarios tengan un funcionamiento bien similar.

En el primer escenario al trabajar con una conexión mediante un cable de red desde el módulo USR - W610 facilitando y generando un entorno con menos variables que manejar para que su comunicación sea efectiva.

En el segundo escenario al incorporar un segundo módulo USR - W610 va a permitir que la comunicación sea por WiFi agregando complejidad en la configuración, especialmente en función de los módulos si van a funcionar como cliente o servidor y con sus respectivas configuraciones.

En el tercer escenario al incorporar un PLC y con el computador se trabaje con el programa Snap Trainer permite que el módulo conversor USR-W610 sea un puente entre dos protocolos de comunicación Modbus TCP y Modbus RTU, además de funcionar como un servidor de una red WiFi local. Al ser una comunicación híbrida y que el PLC tenga un control del programa Snap Trainer sin que tengan un cable directo entre ellos, genera una buena experiencia en sistemas industriales que mezclan tecnologías antiguas y modernas.

3.3.17 Resultados obtenidos.

Los escenarios de prueba creados para el módulo USR - W610 permiten validar distintos tipos de comunicación entre dispositivos. En general los resultados apreciamos el uso del conversor USR-W610 es una solución efectiva y de bajo costo para establecer comunicación

entre distintos dispositivos, de forma inalámbrica o física aplicando en entornos educativos o industriales.

3.3.17.1 Escenario I tabla de resultados

A continuación se muestra la tabla 3-4 de los resultados obtenidos para el escenario I.

Tabla 3-4 Resultados escenario I

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	UART TTL ↔ Ethernet directa al computador	Comunicación estable	OK
Configuración IP en USR-W610	IP LAN: 192.168.0.1 / Computador: 192.168.0.2 (misma subred)	Comunicación en misma red	OK
Rol de red	USR-W610 como servidor TCP	Conexión aceptada desde el PC	OK
Interfaz física	Conexión UART (TX/RX) con niveles TTL desde Arduino Uno	Datos convertidos sin error	OK
Velocidad de comunicación	9600 bps configurados tanto en Arduino como en USR-W610	Datos sin distorsión	OK
Software de recepción en PC	Modbus Poll	Visualización de datos enviada	OK
Estabilidad de la comunicación	Sin pérdida de tramas, conexión constante	Flujo continuo	OK
Diagnóstico visual (LEDs)	LED de Link encendido y actividad parpadeante en USR-W610	Señal estable	OK
Validación final	Datos transmitidos correctamente desde Arduino a PC vía USR-W610	Comunicación efectiva	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario I.

3.3.17.2 Escenario II tabla de resultados

A continuación se muestra la tabla 3-5 los resultados obtenidos para el escenario II.

Tabla 3-5 Resultados escenario II

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	UART TTL ↔ WiFi ↔ Ethernet	Comunicación inalámbrica	OK
Modo de red	USR1 en modo Servidor TCP (AP), USR2 en modo Cliente TCP (STA)	Enlace punto a punto	OK tras ajuste
Configuración IP	LAN y WAN estaban en misma subred originalmente	Redes distintas	Ajustado correctamente
Interfaz física	UART TTL desde Arduino al primer USR-W610, Ethernet desde segundo USR al computador	Señal recibida sin error	OK
Velocidad de comunicación	9600 bps en ambos módulos USR	Sin pérdidas	OK
Diagnóstico visual (LEDs)	LED WiFi encendido, actividad TX/RX visible	Señal activa	OK
Software de recepción	Software TCP en PC muestra datos recibidos	Datos correctos	OK
Validación final	Comunicación inalámbrica estable entre Arduino y PC	Flujo funcional	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario II.

3.3.17.3 Escenario III tabla de resultados

A continuación, se muestra la tabla 3-6 los resultados obtenidos para el escenario III.

Tabla 3-6 Resultados para el escenario III

Ítem	Descripción / Observación Realizada	Resultado Esperado	Resultado Obtenido	Observaciones
1. Comunicación Ethernet	Conexión entre PLC Arduino Opta y USR-W610 vía Modbus TCP	Comunicación estable por puerto 502	OK	IP correctamente configuradas.
2. Conversión TCP a RTU	Traducción de tramas Modbus TCP a Modbus RTU en el módulo W610	Conversión sin errores	OK	USR-W610 respondió correctamente como pasarela
3. Comunicación RS-485	Enlace físico y lógico entre W610 y PC por RS-485	Comunicación continua.	OK	Se usó adaptador USB ↔ RS-485, sin fallos
4. Reconocimiento del esclavo	Snap Trainer recibe correctamente las tramas Modbus RTU	Respuesta inmediata a comandos	OK	Snap Trainer configurado como esclavo ID 1
5. Control del semáforo	Activación de luces desde el PLC a través de toda la cadena	Encendido correcto de luces según registros	OK	Cada luz respondió al comando enviado por PLC
6. Tiempo de respuesta	Tiempo desde comando hasta acción en Snap Trainer	Latencia < 200 ms	Aprox. 100–150 ms	Dentro del rango esperado para pruebas didácticas

7. Estabilidad en operación	Pruebas prolongadas de funcionamiento continuo	Sin desconexiones ni bloqueos	OK	Se mantuvo activo por más de 30 minutos
8. Facilidad de integración	Compatibilidad entre dispositivos y protocolos	Integración fluida	OK	Buena interoperabilidad con herramientas estándar

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos del escenario III.

3.3.18 Cierre de los escenarios de pruebas para el módulo USR-610

La implementación de los escenarios para el conversor USR-W610 permitió conocer la versatilidad de este equipo adaptando comunicaciones seriales a entornos inalámbricos, las pruebas fueron siendo progresivas en donde la primera fue una conexión por un medio físico para luego realizar una comunicación por un entorno inalámbrica (WiFi), demostrando que es posible diseñar sistemas de control y supervisión sin depender de un cableado físico.

3.4 EXPERIENCIA PARA LA COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO POR PROFIBUS.

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos para la experiencia con la comunicación maestro esclavo por profibus.

3.4.1 Montaje para la experiencia.

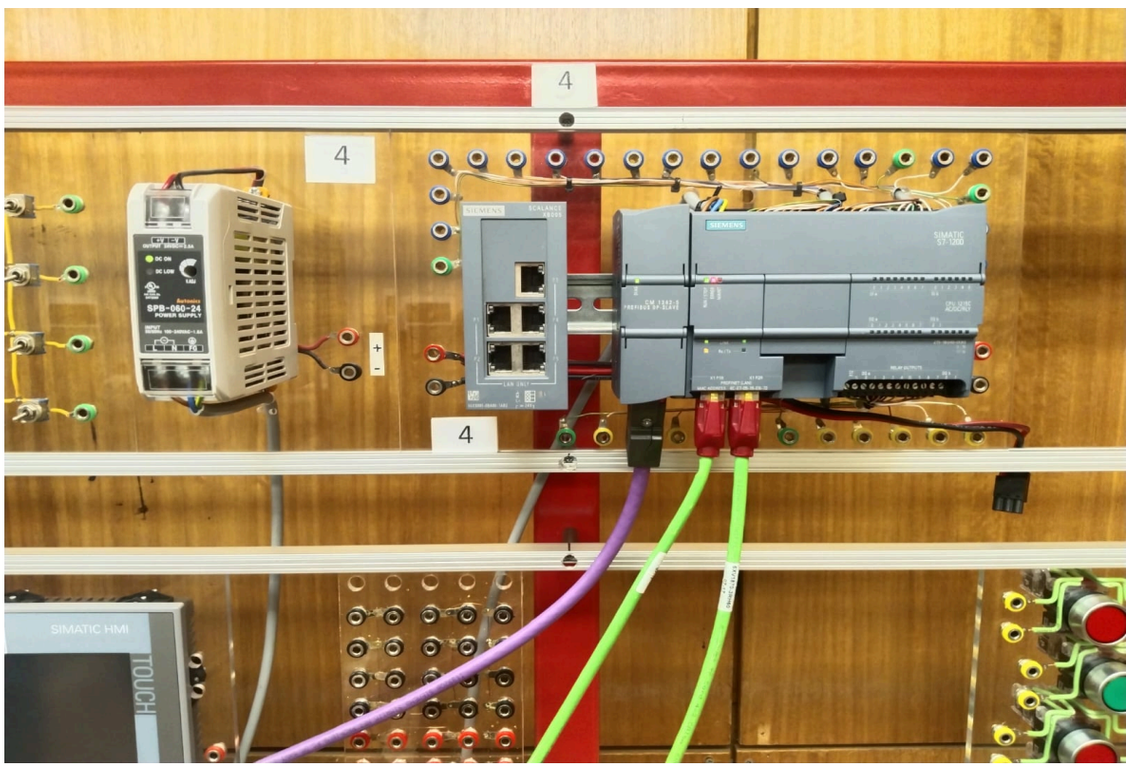
El montaje para la experiencia fue la comunicación entre dos PLC uno como maestro y el otro como esclavo, además se agregara una pantalla HMI que accionará el start y stop de un motor. La pantalla estará conectada al PLC esclavo mediante un cable ethernet y así comandar la señal hasta el PLC maestro para encender o apagar el motor.

3.4.2 Configuración hardware y software.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

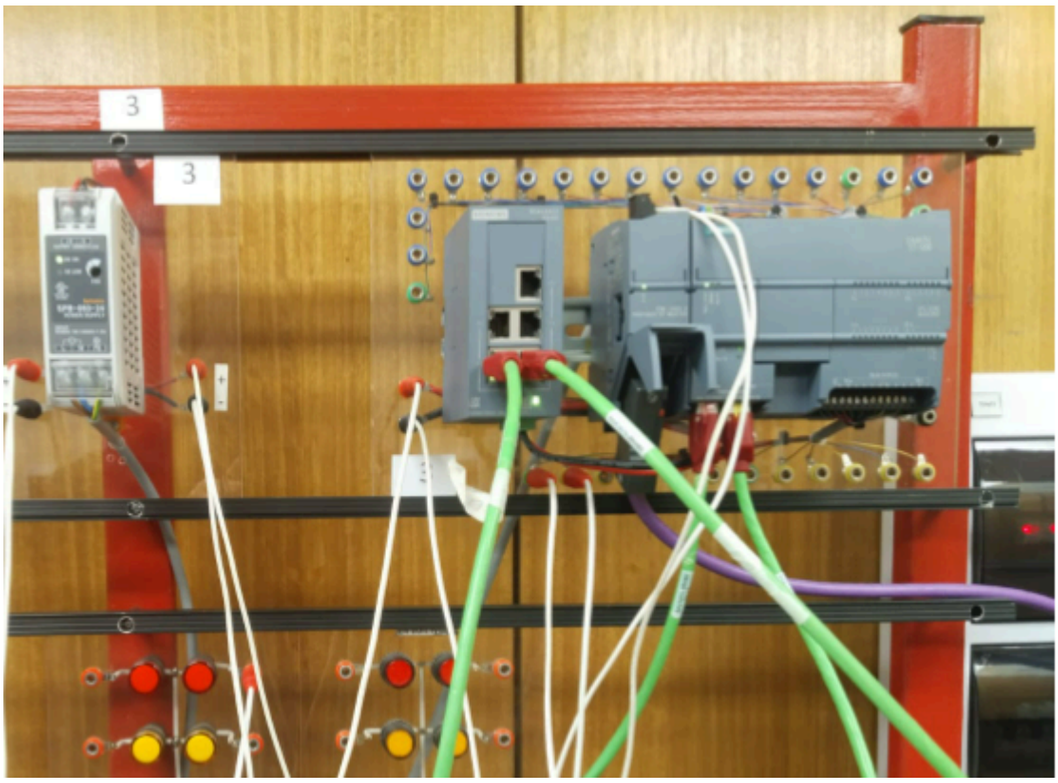
3.4.2.1 Configuración hardware.

Para la configuración con referencia al cable los conectores DB9 no fue necesario agregar el switch estaba en off ya que no fue necesario agregar la resistencia de 120 Ohm en el extremo de cada cable que son solo dos puntos a conectar. En los módulos de comunicación ya sea el CM 1234-5 o CM 1542-5 en ambos el conector DB9 debe quedar bien firme y para evitar que se salga debe estar bien atornillado. El módulo CM 1542-5 que vendría siendo el módulo maestro requiere una alimentación de 24[V]DC externos, y su conexión al PLC debe quedar firme y ambos bien fijados al riel. El módulo 1234-5 su alimentación proviene del backplane del PLC. La alimentación de los PLC es de 220 [V]AC y proviene del enchufe que está al costado izquierdo del puesto de trabajo. A continuación, las figuras 3-19 y 3-20 con sus respectivas instalaciones y requerimientos.



Fuente: Laboratorio USM

Figura 3-19. PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY ESCLAVO



Fuente: Laboratorio USM

Figura 3-20 PLC S7 1200 CPU 1215C AC/DC/RLY MAESTRO

3.4.2.2 Configuración del software.

Para la configuración de la experiencia el software a utilizar será el Tia Portal V18, se tendrán que agregar los PLC cada uno con su módulo de acuerdo a su función. En el PLC maestro se tiene que modificar la dirección de profibus y el sentido y tamaño que tendrán los datos a enviarse entre los PLC. En el PLC esclavo se agrega la misma dirección que se asignó en el PLC maestro y también se tiene que asignar el tamaño y dirección de los datos a enviar.

3.4.3 Dificultades y soluciones.

Las principales dificultades presentadas durante la experiencia se relacionaron con la comunicación entre los dispositivos. Los indicadores LED rojos de los módulos parpadeaban, lo que evidenciaba una falla en la comunicación. Para resolver este problema, se cargó la programación de forma independiente en cada PLC y posteriormente se realizó un reinicio, logrando así restablecer la comunicación entre ambos equipos.

Otra dificultad que surgió durante el desarrollo de la experiencia fue el envío de bits por profibus, ya que requiere una programación en específico en conjunto con el direccionamiento de los PLC maestro y esclavo.

3.4.4 Análisis de funcionamiento.

La experiencia se realizó con un PLC maestro el cual se comunica con un PLC esclavo que están enlazados por medio de una red profibus, en donde el esclavo se va comunicando con el maestro y respondiendo las solicitudes del mismo. La información que se envían entre los PLC es en formato de BYTES de los cuales se pueden usar todos o un solo bit, siendo una comunicación cíclica y permitiendo un intercambio confiable de información.

3.4.5 Resultados obtenidos.

En la tabla 3-7 siguiente se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia.

Tabla 3-7 Resultados comunicación maestro esclavo - Profibus

Ítem	**Descripción / Observación Realizada**	**Resultado Esperado**	**Resultado Obtenido**
Tipo de comunicación	Maestro ↔ Esclavo vía PROFIBUS (CM1242-5 ↔ CM1241-5)	Comunicación estable	OK
Dirección PROFIBUS del esclavo	Configurada en maestro y en hardware del esclavo como **3**	Coinciden	OK
Byte de salida del maestro	%QB0 (bit 0 activado con marca %M0.0)	%QB0 = 1	OK (%QB0 = 1)
Byte de entrada del esclavo	%IB0 (lectura del bit enviado por maestro)	%IB0 = 1	OK (%IB0 = 1)
Activación de salida en esclavo	%Q0.0 activada si %IB0.0 = 1	Salida encendida	OK (%Q0.0 = 1)
LEDs de módulos PROFIBUS	Verificación de estado LED en CM1242-5 y CM1241-5	Verde fijo/parpadeo	OK
Tiempos de actualización	Observación de actualización cíclica (<100 ms)	Tiempo aceptable	OK

Estabilidad de la comunicación	Sin interrupciones en recepción del bit	Sin errores	OK
Diagnóstico en TIA Portal	Sin errores en diagnóstico del maestro o esclavo	Sin fallos	OK
Verificación en Watch Table	Cambio en %QB0 se refleja inmediatamente en %IB0	Coincidencia total	OK

Fuente Elaboración propia basada en los resultados obtenidos de la experiencia.

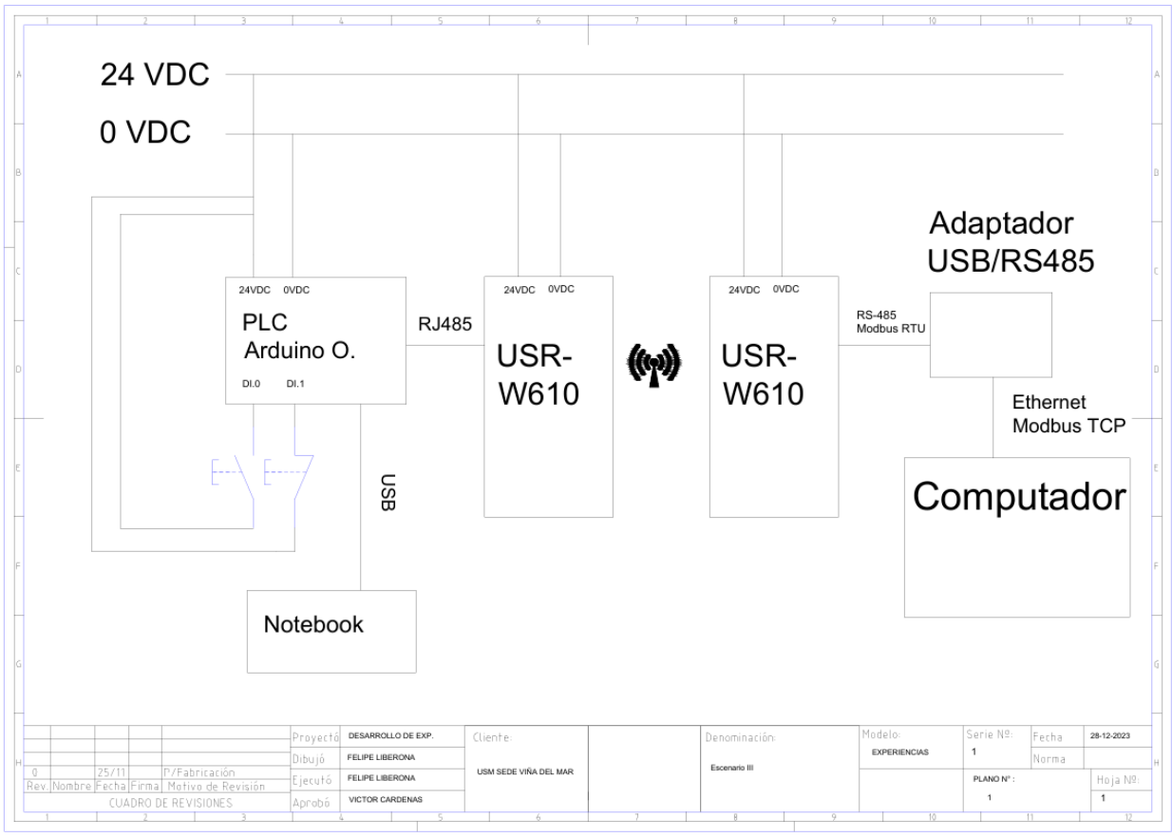
3.5 EXPERIENCIA CON EL SOFTWARE SNAP TRAINER Y PLC ARUDUINO OPTA.

A continuación, se detallan los procedimientos, dificultades, análisis de funcionamiento, configuración de hardware y software y los resultados obtenidos para la experiencia con el software Snap Trainer y PLC Arduino Opta.

3.5.1 Montaje para la experiencia.

El montaje para la experiencia requiere establecer una comunicación entre un computador el cual tiene que tener instalado el Software Snap Trainer. La comunicación se puede realizar de dos formas principalmente, una de ellas es por Modbus TCP o puede ser por RS485 Modbus RTU, ambos protocolos pertenecen a la familia Modbus pero se diferencian en el medio físico y la estructura de transmisión utilizada. Para esta experiencia la comunicación se realizó con Modbus RTU para establecer una comunicación entre el módulo USR -W610 y el adaptador USB/RS485 el cual se comunica por Modbus TCP con el computador.

De esta manera, el módulo USR-W610 desempeña un rol como puente de enlace entre la red Ethernet del computador y el PLC Arduino Opta. En la figura 3-21 se ilustra el esquema general del montaje, donde se aprecia la secuencia de conexión y los protocolos utilizados en cada tramo de la red.



Fuente: Elaboración propia Topología de red escenario III

Figura 3-21. Diagrama escenario III.

3.5.2 Configuración de software y hardware.

Para las pruebas que se realizaron para esta experiencia se realizaron configuraciones en software y hardware:

3.5.2.1 Configuración hardware.

Para la comunicación en la experiencia se requiere que el computador tenga instalado en programa Snap Trainer, como el computador no dispone de un puerto RS 485, se utiliza un conversor de USB a RS485 para así realizar la comunicación por profibus teniendo en cuenta que el Arduino Opta tiene el puerto para utilizar este protocolo. A tener en consideración que en el conversor de USB a RS485 el lado A se conecta con el A del módulo USR-W610 y el lado B con el B del módulo USR-610 evitando así cruzar los cables ya que no habrá comunicación.

3.5.2.2 Configuración de software.

La configuración del software en esta experiencia consta de verificar el puerto COM en el administrador de dispositivos, en el Snap Trainer se tienen que modificar la velocidad de comunicación que debe coincidir con respecto al PLC Arduino Opta y que la ID asignado al PLC coincidan. El script que se debe realizar en el PLC se deben agregar la librería de Arduino Modbus y Arduino RS485, como se muestra en la siguiente figura 3-22



Fuente: Programa Arduino IDE 2.3.6

Figura 3-22: Librerias Arduino IDE

3.5.3 Dificultades y soluciones.

Durante el desarrollo de esta experiencia uno de los problemas fue que no había comunicación entre el PC y el PLC, para la solución se verificó el estado de los cables si estaban invertidos A/B, la ID que corresponde en Snap Trainer como la que se cargó en el PLC, siendo esto último la solución. Problemas con el desarrollo del código que se cargó en el PLC, donde en un principio no se integró la librería ArduinoModbus generando un error de compilación no logrando cargar en el PLC.

3.5.4 Análisis de funcionamiento.

El funcionamiento de esta experiencia tiene como principal enfoque simular el funcionamiento de sistemas industriales usando protocolos de comunicación como Modbus entre otros. La configuración en Snap Trainer considera parámetros como la velocidad de transmisión, cantidad de bits y en el PLC se emplean librerías las cuales permiten la correcta comunicación entre el PC y el PLC.

3.5.5 Resultados obtenidos.

En la tabla 3-8 se presenta de una forma detallada los resultados obtenidos durante el desarrollo de la experiencia.

Tabla 3-8 Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.

Parámetro evaluado	**Descripción de la prueba**	**Resultado obtenido**	**Valor esperado**	**Observaciones**
Estabilidad de la conexión	Comunicación continua	Sin pérdida de conexión	Sin interrupciones	Se mantuvo estable sin reinicios ni errores de timeout
Tiempo de respuesta	Tiempo entre solicitud de lectura y respuesta del Opta	~15-30 ms	< 100 ms	Respuesta rápida adecuada para procesos no críticos
Precisión de los datos	Comparación entre datos escritos y leídos posteriormente	Coinciden exactamente	Coincidencia total	No se detectó corrupción o pérdida de datos
Manejo de errores	Intento de acceso a registros fuera de rango	Esclavo no responde o indica error	Rechazo de petición	Comportamiento correcto según protocolo Modbus
Compatibilidad de software	Uso de Snap Trainer como maestro Modbus TCP	Comunicación funcional	Totalmente compatible	Requiere configuración manual de parámetros de puerto y protocolo
Comportamiento ante desconexión	Desconexión del cable RS-485 en funcionamiento	Se pierde la comunicación	Interrupción inmediata	El sistema reacciona como se espera

Fuente: Elaboración propia. Resultados Snap Trainer - PLC Arduino Opta.

3.6 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS 4 EXPERIENCIAS.

A continuación se presenta la tabla comparativa 3-9 entre las 4 experiencias desarrolladas en el presente proyecto de título, considerando variables técnicas, teniendo como objetivo identificar fortalezas, limitaciones, aplicación y actualidad.

Tabla 3-9 Análisis comparativo de las 4 experiencias.

Criterio	Experiencia 1 Modbus RTU PC ↔ PLC Siemens	Experiencia 2 Comunicación serial WiFi con USR-W610	Experiencia 3 Snap trainer con PC y PLC Arduino Opta	Experiencia 4 Maestro-esclavo entre PLCs por PROFIBUS
Tipo de comunicación	Cableada serial (RS-485)	Inalámbrica local (WiFi – punto de acceso)	Inalámbrica local (WiFi – punto de acceso)	Cableada industrial (bus de campo PROFIBUS)
Topología	Maestro–esclavo	Cliente–servidor	Cliente–servidor	Maestro/esclavo
Protocolo utilizado	Modbus RTU	TCP/IP (Modbus TCP o socket serial)	TCP/IP (HTTP o socket)	PROFIBUS DP
Dispositivos involucrados	PC, PLC Siemens (ej. S7-1200)	PLC Arduino Opta, USR-W610, PC	USR-W610, PC, PLC Arduino Opta	PLC Siemens S7-1200 x2
Facilidad de configuración	Media	Media	Media	Baja
Estabilidad	Alta	Alta	Alta	Alta
Aplicación educativa	Lectura y escritura de registros industriales	Comunicación serial inalámbrica en redes locales	Comunicación inalámbrica entre PLCs	Redes industriales de alto nivel

Fuente elaboración propia basada en el análisis de las 4 experiencias.

3.7 ESTUDIO DE COSTOS.

El estudio de costos tiene como finalidad cuanto seria el valor económico necesario para el desarrollo de las experiencias planteadas para la asignatura de redes computacionales IECII, considerando los equipos, materiales, software y herramientas necesarias para implementar.

El análisis se basa en precios referenciales obtenidos de proveedores locales y plataformas en línea, con valores expresados en pesos chilenos (CLP) y en dólares estadounidenses (USD). En la tabla 3-10 se muestra el valor de pesos chilenos y en dólares americanos y la cantidad necesaria para las experiencias que se realizaron.

Tabla 3-10 Costo de equipos.

Ítem	Descripción	Cantidad	Costo unitario (CLP)	Costo total (CLP)	Costo total (USD)
PLC Siemens S7-1200 CPU 1215C	Controlador principal del sistema maestro	2	$1.200.000	$2.400.000	$2.526
PLC Arduino Opta	Controlador esclavo para comunicación Modbus	1	$350.000	$350.000	$368
Módulo USR-W610	Conversor WiFi a RS485 / RS232	2	$90.000	$180.000	$190
Computador	Computador de laboratorio	1	$1.000.000	$1.000.000	$1050
TTL 485	Convertidor a RS485	1	$5000	$5000	$5,25
Fuente de alimentación 24VDC	Fuente para PLC y módulos	1	$50.000	$50.000	$53

Pantalla HMI Siemens KTP700	Interfaz de usuario para control del motor	1	$550.000	$550.000	$579
Motor trifásico + contactor	Elemento de control del sistema	1	$150.000	$150.000	$158
Scalance XB005	Switch industrial Ethernet	1	$255.000	$255.000	$267,75
Fast Ethernet media	Convertidor de medios Fast Ethernet	2	$72.000	$144.000	$150.0
Arduino R3	Placa Arduino UNO	1	$9.000	$9.000	$9,40
Adaptador USB/RS485	Adaptador conversor de USB a RS485	1	$6.000	$6.000	$6,30
CM 1243-5	Módulo de comunicación Maestro	1	$416.900	$416.900	S$437,7
CM 1242-5	Módulo de comunicación Esclavo	1	$867.000	$867.000	S$910,32
Tia Portal V16	Software Siemens	1	$440.000	$440.000	S$462
Snap Trainer	Software educacional	1	Gratis	Gratis	Gratis
Arduino IDE	Software Arduino	1	Gratis	Gratis	Gratis

Fuente elaboración propia. Tabla de costos de equipos.

3.7.1 Analisis y conclusion de los costos

El costo total estimados para el desarrollo del proyecto asciende a un total de $6.822.900 CLP (≈ $7.164,05 USD), para el desarrollo de las cuatro experiencias para la asignatura de redes computacionales IECII.

Los equipos a utilizar son de una larga vida útil y versatilidad, pudiendo ser utilizados en otras asignaturas, proyectos de título o algún estudio que se tenga que realizar haciendo que la inversión tenga un mayor valor.

En conclusión, la inversión estimada se considera rentable, sostenible y alineada con los objetivos educativos del laboratorio, contribuyendo a fortalecer la enseñanza práctica.

CONCLUSIÓN.

En este trabajo se logró desarrollar y validar diversas experiencias de control orientadas a la asignatura *Redes Computacionales IECII*, integrando tecnologías y protocolos industriales actuales, como PROFIBUS y la comunicación maestro–esclavo entre controladores lógicos programables (PLC) Siemens S7-1200. Además, se incorporaron dispositivos de comunicación inalámbrica, entre ellos el módulo USR-W610, lo que permitió explorar alternativas de conectividad basadas en redes Wi-Fi y TCP/IP para aplicaciones industriales.

A través de la configuración práctica y el análisis de las redes de comunicación industrial, se evidenció la relevancia de una correcta parametrización y diagnóstico para garantizar la estabilidad y eficiencia en el intercambio de datos, tanto en medios guiados como no guiados. La implementación del módulo USR-W610 amplió el alcance del proyecto, demostrando la viabilidad de soluciones flexibles y modernas para la transmisión de información en entornos industriales.

Finalmente, este proyecto contribuyó al fortalecimiento del conocimiento aplicado en la formación técnica, facilitando la comprensión de las redes industriales y promoviendo un aprendizaje significativo mediante la experiencia directa con equipos y tecnologías de última generación, en modalidades de comunicación tanto cableadas como inalámbricas.

BIBLIOGRAFÍA

Tanenbaum, A. S., & Wetherall, D. (2003). *Redes de computadoras* (5.ª ed.). Recuperado el 19 de junio de 2025, de https://bibliotecavirtualapure.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/06/redes_de_computadoras-freelibros-org.pdf

Repositorio Snap Trainer. (2025). *SnapTRAINER [Repositorio en GitHub]*. Recuperado el 10 de junio de 2025, de https://github.com/davenardella/SnapTRAINER

USR IOT. (s.f.). *Configuración de módulo USR-W610 [Manual del usuario]*. Recuperado el 24 de julio de 2025, de https://www.usriot.com/download/usr-w610-user-manual.pdf