

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON COMUNICACIÓN ETHERNET INDUSTRIAL PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
TECNÓLOGO EN ELECTROMECAÁNICA**

JUAN ANDRÉS TOAQUIZA ESPADAS

juan.toaquiza@epn.edu.ec

LUIS JOHNY CHASIPANTA YANEZ

luis.chasipanta@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO PROAÑO

pablo.proano@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. CARLOS ROMO

carlos.romo@epn.edu.ec

Julio, 2019

DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Andrés Toaquiza Espadas y Luis Johny Chasipanta Yáñez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Firmas:

Juan Andrés Toaquiza Espadas

Luis Johny Chasipanta Yáñez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Andrés Toaquiza Espadas y Luis Johny Chasipanta Yáñez en el diseño de este, bajo mi supervisión.

Firma:

Firma:

Ing. Pablo Proaño Chamorro
Director del Proyecto

Ing. Carlos Romo Herrera
Codirector del Proyecto

AGRADECIMIENTO

A mis padres por haber confiado y apoyado durante mi carrera universitaria, gracias a sus buenos consejos y méritos demostrados para alentarme a seguir adelante en este mi objetivo propuesto.

A todos los ingenieros por haber compartido sus conocimientos y experiencias del campo laboral, por los ingenieros que pospusieron sus horas de clases solo para brindarme buenos consejos, que a estas alturas fueron de gran ayuda para culminar esta etapa de vida

A todos mis amigos y compañeros con quienes compartí alegría y tristezas a lo largo de mi carrera universitaria, en donde cada uno demostraba fortalezas y debilidades en áreas diferentes, pero eso no fue nada malo ya que con el apoyo y compañerismo se puede aprender el uno del otro y sobresalir ante las adversidades para finalmente llegar a estas alturas de la carrera como Tecnólogo Electromecánico

Finalmente, al ingeniero Pablo Proaño por haber guiado en el desarrollo de este proyecto, por la confianza y paciencia mantenida durante todo el tiempo compartido en sus horas de clases y en la realización de este proyecto de titulación.

Luis

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi familia quienes me apoyaron en los buenos y malos momentos, quienes me aconsejaron a seguir adelante que, a pesar de las adversidades presentadas, que siempre me inculcaron con el positivismo y con una sonrisa en el rostro se llegara muy lejos. A mis profesores por el apoyo, los buenos consejos y las enseñanzas transmitidas en cada clase recibida en el transcurso de los semestres, a mis amigos y compañeros por el hecho de haber formado parte en mi carrera universitaria. Finalmente, a aquellos nuevos estudiantes quienes les serán de ayuda y de refuerzo para sus proyectos Electromecánicos basados en la automatización y control provenientes y desarrollados en la ESFOT.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi madre por todo el apoyo brindado durante toda mi vida y aún más en mi época en la universidad, ya que con todo su amor y sacrificio me dio fuerza para seguir adelante día tras día permitiéndome cumplir hoy un sueño más, por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mi hermano y mi padre por ayudarme económicamente cuando yo lo necesitaba sin importar la situación de ellos, a sus consejos, valores e interés sobre toda mi carrera en la universidad, por confiar y creer en mí.

Agradezco a los docentes de la Escuela De Formación De Tecnólogos de la Escuela Politécnica Nacional, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación, de manera especial, Ingeniero Pablo Proaño tutor de nuestro proyecto de titulación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

Juan

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a mi familia que siempre me apoyo a lo largo de mi carrera estudiantil, especialmente a mi madre a ella que, con sus buenos consejos, palabras de aliento y su gran amor incondicional hicieron de mí una mejor persona.

A mi hermano por apoyarme de forma continua emocional y económica en todo este proceso, a mi padre que a pesar de la distancia se ha preocupado de mi bienestar.

Juan

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Conceptos generales	3
2. METODOLOGÍA.....	7
2.1 Descripción de la metodología usada	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	8
3.1 Estudio de requerimientos del laboratorio	8
3.2 Implementación de un sistema de comunicación entre PLC's utilizando plantas industriales	12
3.3 Implementación de un sistema de comunicación entre PLC's y HMI's	33
3.4 Implementación de un sistema de comunicación entre un PLC y LOGO con Display LOGO TDE	41
3.5 Implementación de un sistema SCADA	44
3.6 Pruebas y Análisis de resultados	49
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
4.1 Conclusiones	59
4.2 Recomendaciones	60
5. BIBLIOGRAFÍA	61
6. ANEXOS	62

Índice de figuras

Figura 2. PLC Maestro y Esclavo	5
Figura 1. Niveles de la Automatización	5
Figura 3. Representación de un sistema SCADA.....	6
Figura 4. Implementación de un SCADA.....	8
Figura 5. Alimentación 127 y 220 (VAC) del Laboratorio de Tecnología Industrial.	9
Figura 6. Alimentación de 24 (VDC) del PLC.	10
Figura 7. Dimensiones de placas en mesas de trabajo.	10
Figura 8. Switch Ethernet.....	11
Figura 9. Plantilla para los soportes de los dispositivos de visualización.....	11
Figura 10. Placas terminadas.....	12
Figura 11. Módulos PLC del Laboratorio de Tecnología Industrial.	13
Figura 12. Planta de control de nivel por sensor ultrasónico comandada por Maestro- Esclavo.	13
Figura 13. Planta de control de nivel por presión hidrostática comandada por Maestro- Esclavo.	14
Figura 14. Unidad central de presión comandada por un LOGO.	14
Figura 15. PLC Maestro, Esclavo_1 y Esclavo_2.....	16
Figura 16. Industrial Ethernet con Conexiones S7.	16
Figura 17. Configuración de dirección IP del interlocutor.	17
Figura 18. Configuración de TSAP del interlocutor.....	17
Figura 19. Bloques PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo1	19
Figura 20. Maestro-Esclavo con planta de nivel por sensor ultrasónico.	23
Figura 21. Bloques PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo1	26
Figura 22. Maestro-Esclavo_2 con planta de nivel por presión hidrostática.	28
Figura 23. Bloque PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.	30
Figura 24. Maestro-Esclavo_2 con unidad de presión.....	32
Figura 25. Entrada y salida de red.	32
Figura 26. Programación en el Software LOGO Soft Comfort.	33
Figura 27. Componentes para la comunicación entre PLC's con HMI's.	35
Figura 28. Conexión PLC y HMI.....	35
Figura 29. Interfaces gráficas.....	36
Figura 30. Comunicación PLC Maestro con HMI principal	36
Figura 31. Portada de la interfaz.	37
Figura 32. Menú.....	37

Figura 33. Plantilla HMI para la planta de nivel por sensor ultrasónico.....	37
Figura 34. Plantilla HMI para la planta de nivel por presión hidrostática.....	39
Figura 35. Plantilla HMI para la unidad central de presión.	40
Figura 36. LOGO y Display LOGO TDE.....	41
Figura 37. Selección de dispositivos.	42
Figura 38. Red de LOGO y Display LOGO TDE.....	42
Figura 39. Display LOGO TDE con PLC y LOGO	43
Figura 40. Algoritmo de control de la comunicación PLC-LOGO con Display LOGO TDE...	44
Figura 41. Dispositivos industriales formando un SCADA.	44
Figura 42. PLC Maestro gobernando LOGO V8 con Display LOGO TDE.	46
Figura 43. Planta de control por presión con unidad central de presión.	46
Figura 44. Planta de control de nivel PLC Esclavo_1.....	47
Figura 45. Vista de redes en TIA Portal.....	47
Figura 46. Conexiones creadas en TIA PORTAL	48
Figura 47. Dispositivos industriales conectados al sistema SCADA.....	49
Figura 48. Pruebas en switch ethernet.....	50
Figura 49. Pruebas en placas-soporte	52
Figura 50. Pruebas entre PLC's S7 1200	53
Figura 51. Pruebas entre PLC y LOGO.....	54
Figura 52. Pruebas entre PLC y HMI	55

Índice de tablas

Tabla 1. Equipos para un SCADA	9
Tabla 2. Puntos de red para cada área de trabajo.	11
Tabla 3. Aplicaciones de los dispositivos industriales.....	12
Tabla 4. Creación de la red.....	17
Tabla 5. Marcas y PUT GET.	18
Tabla 6. Parámetros del bloque PUT.	18
Tabla 7. Parámetros bloque GET.....	18
Tabla 8. Descripción de las variables de entrada.....	20
Tabla 9. Distribución de entradas físicas PLC Maestro.	20
Tabla 10. Entradas y salidas del PLC Esclavo _1	22
Tabla 11. Descripción de las variables del bloque PUT (PLC Maestro y PLC Esclavo_1). .	23
Tabla 12. Parámetros de entrada del bloque PUT (PLC Maestro y PLC Esclavo_1).....	24
Tabla 13. Descripción de las variables del bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_1. ...	25
Tabla 14. Parámetros de entrada para el bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_1.	25
Tabla 15. Entradas y salidas del PLC Esclavo _2	27
Tabla 16. Descripción de las variables del bloque PUT del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.	28
Tabla 17. Parámetros de entrada para el bloque PUT del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.	29
Tabla 18. Descripción de los datos del bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_2.....	29
Tabla 19. Valores reales para el bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_2.	30
Tabla 20. Descripción de las variables.....	32
Tabla 21. Bus de datos.	33
Tabla 22. Dispositivos industriales con interfaces gráficas.	34
Tabla 23. Elementos de la plantilla de la planta de nivel por sensor ultrasónico.....	38
Tabla 24. Elementos de la plantilla de la planta de nivel por presión hidrostática.....	39
Tabla 25. Elementos de la plantilla de la unidad central de presión.	40
Tabla 26. Dispositivo industrial con interfaz gráfica.....	41
Tabla 27. Variables de la comunicación entre LOGO's y un PLC.....	43
Tabla 28. Elementos del sistema SCADA	45
Tabla 29. Función de cada Esclavo en el sistema SCADA.....	45
Tabla 30. Conexiones S7 y HMI.....	47
Tabla 31. Pruebas de envío de información desde el computador hacia los Dispositivos industriales.....	50
Tabla 32. Verificación de estado y funcionamiento del switch ethernet.	51

Tabla 33. Pruebas en las placas-soporte de las interfaces gráficas	52
Tabla 34. Requerimientos necesarios para comunicación entre PLC's.	53
Tabla 35. Requerimientos necesarios para la comunicación PLC-LOGO Siemens.	54
Tabla 36. Comunicación PLC S7 1200 Siemens con HMI DELTA	56
Tabla 37. Comunicación entre un Display LOGO TDE con un LOGO V8 Siemens.	57
Tabla 38. Pruebas en el sistema SCADA.	58

RESUMEN

El presente proyecto muestra el manejo de dispositivos industriales como son PLC's, LOGO's y plantas industriales proporcionados por el Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT- EPN en un enlace de topología Maestro-Esclavo, los cuales se comunican entre sí por medio de un Switch Ethernet que transmite datos de manera bidireccional, el tener varios dispositivos industriales interactuando dentro de un sistema de comunicación permite controlar, supervisar y adquirir información acerca de cada módulo industrial, ubicados en varios puntos de trabajo, por tanto este sistema se considera como parte de un SCADA.

El capítulo uno contiene la introducción acerca del proyecto de titulación, los puntos relevantes de investigación en la comunicación Ethernet, además se da a conocer los dispositivos industriales de visualización que se integran al Laboratorio de Tecnología Industrial, otro aspecto descrito, es la justificación, donde se manifiesta el por qué y el para qué del proyecto, finalmente en los objetivos se detallan las metas que se requieren alcanzar.

El capítulo dos describe la metodología utilizada para la ejecución del proyecto mediante el estudio de requerimientos del Laboratorio de Tecnología Industrial, se realiza un análisis de los dispositivos industriales existentes y de los equipos de visualización adquiridos para la implementación de un SCADA.

El capítulo tres describe los resultados y discusiones obtenidos al implementar un SCADA con dispositivos industriales como: PLC's, LOGO's, HMI's, Display LOGO TDE y plantas industriales disponibles, entonces se detalla cada comunicación realizada entre dos dispositivos industriales a la vez, con el propósito de obtener un sistema de comunicación Ethernet con varios dispositivos industriales, además en cada implementación se realiza pruebas de funcionamiento y de comunicación.

El capítulo cuatro muestra las conclusiones y recomendaciones obtenidas a partir de la implementación y el funcionamiento del SCADA realizado en el Laboratorio de Tecnología Industrial.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de titulación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SCADA CON COMUNICACIÓN ETHERNET PARA EL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL”, se basa en el protocolo de comunicación Ethernet donde se enlazó siete dispositivos industriales como son: tres PLC's, dos HMI's, un LOGO y un Display LOGO TDE, a un Switch Ethernet permitiendo el flujo de información entre ellos, esto con el fin de comandar actuadores, supervisar niveles o adquirir datos e información de magnitudes proporcionadas por sensores de cada módulo industrial con el fin de considerarlo como un SCADA.

El presente proyecto de titulación se desarrolla para el Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos de la EPN, con el fin de ayudar a los estudiantes de las carreras de electromecánica y telecomunicaciones a adquirir y fortalecer los conocimientos en redes industriales, mostrando una introducción acerca de sistemas SCADA.

Los dispositivos adquiridos para complementar el SCADA fueron dos pantallas HMI de la marca Delta y un Display LOGO TDE de la marca Siemens, las pantallas HMI se enlazan con sus respectivos PLC's controlando y supervisando el funcionamiento de cada planta industrial, por su parte el Display LOGO TDE es un dispositivo de visualización que contiene entradas adicionales que complementan al LOGO.

Además, para establecer una red de comunicación entre todos los dispositivos industriales mencionados anteriormente, en el software TIA Portal se utiliza dos tipos de conexiones, una que es la conexión S7 que permite la comunicación entre equipos de la marca Siemens STEP 7 y la otra que es la conexión HMI que se refiere básicamente a la comunicación de los PLC's con las pantallas HMI.

1.1 Planteamiento del problema

Una empresa necesita adaptar un sistema de comunicación para poder llegar a obtener beneficios como: la reducción de costos de producción, la mejora de la calidad, productividad y efectividad en sus sistemas, por tales motivos cada empresa posee por lo menos un tipo de comunicación industrial, que ayude a controlar y supervisar diversos dispositivos de campo, así como controlar de forma remota todo el proceso. [1]

El Laboratorio de Tecnología Industrial posee módulos de control, como PLC's (autómatas programables), siendo estos la base del control industrial, pero solo se podía trabajar con estos de forma individual, esto limita el aprendizaje de los estudiantes por tal motivo se diseñó un modo de comunicación para poder ampliar el número de dispositivos conectados entre sí.

Para fomentar el estudio de un sistema SCADA se diseñó un sistema de comunicación entre los autómatas del Laboratorio de Tecnología Industrial, con el fin de enlazarlos entre sí, que permita supervisar los parámetros de control de los módulos a escala ya existentes en el laboratorio.

1.2 Justificación

La implementación de un sistema SCADA en el Laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos en la EPN permite a los estudiantes de las carreras de electromecánica, y telecomunicaciones adquirir y fortalecer conocimientos de una red industrial.

Mediante el diseño de un sistema de comunicación se busca controlar los procesos industriales de forma local o remota esto permitirá recopilar y procesar datos en tiempo real, ya que hoy en día todas las empresas cuenta con algún tipo de comunicación industrial, con el fin de conectarlos con diferentes dispositivos .Y como profesionales técnicos se debe tener una extensa formación teórica y práctica es así como el diseño de un sistema de comunicación ayudará a las futuras generaciones a involucrarse en el ámbito de las redes industriales, mediante un diseño práctico y útil dentro del campo laboral.

Para la supervisión y control de datos fue necesaria la construcción de soportes para las interfaces gráficas humano máquina, la cual presenta de forma simplificada, el sistema bajo control para el comando de cada estación. [2]

1.3 Objetivos

❖ Objetivos General

Implementar un sistema SCADA con comunicación Ethernet Industrial para el Laboratorio de Tecnología Industrial.

❖ Objetivos específicos

- Realizar estudios de requerimientos técnicos y condición del sistema.
- Implementar un sistema de comunicación entre PLC's.
- Implementar un sistema de comunicación entre PLC y HMI.
- Implementar un sistema SCADA.
- Realizar pruebas de funcionamiento de toda la red

1.4 Conceptos generales

a) Definición de Comunicación

La Comunicación es el proceso de intercambiar datos e información entre varios dispositivos. En la comunicación de datos se existen varios elementos:

- Equipo emisor/receptor: Son equipos que están presentes en la comunicación (ordenadores, PLC's, periféricos, etc.).
- Canal: Son los recursos o medios físicos capaces de transmitir señales estos pueden ser (cable eléctrico, aire, fibra óptica).
- Mensajes: Son los datos que se transfieren entre ambos equipos. [3]

b) Red industrial

En principio una red se puede definir como una serie de estaciones (Nodos) o equipos interconectados que se pueden comunicar entre sí, a través de un medio en particular. Por tanto, una red industrial es una red conformadas por equipos de control, tales como: PLC's, HMI, variadores u otros dispositivos de campo que permiten la comunicación y enlace con maquinarias o equipos eléctricos, electrónicos, mecánicos e hidráulicos para intercambiar información y compartir recursos.

Las ventajas más significativas que aportan la red industrial son:

- Visualización y supervisión de todo el proceso productivo.
- El acceso a los datos del proceso es más rápido.
- El rendimiento del proceso industrial mejora notablemente.
- Se realiza la programación a distancia sin ser necesario estar cerca del proceso.
- El intercambio de datos se realiza entre varios sectores del proceso. [4]

c) Red de comunicación

Se la puede conectar mediante el protocolo TCP/IP por medio de cualquier tipo de red industrial, llegando hasta comunicación inalámbrica como:

- **Sistema centralizado:** Es cuando el control se lo realiza por medio de un solo sistema.
- **Sistema distribuido:** Cuando el control se realiza a través de diferentes sistemas conectados a la red.

d) Ethernet

Es un estándar de transmisión de datos para redes de área local que utiliza arquitectura TCP/IP bajo el método de control de acceso. Ethernet también define las características de cableado,

señalización de nivel físico y los formatos de los datos en niveles de enlace según el modelo OSI. (Ethernet también llamado como estándar IEEE 802.3). [5]

e) Profinet

Profinet está basado en Industrial Ethernet que contiene una red de estructura uniforme que da la facilidad de enlazar o comunicar de forma directa equipos de la marca Siemens mediante sistemas industriales que se encuentren en campo, las ventajas que posee, es utilizar cables y Switch Ethernet, acceso a los dispositivos de campo a través de la red y estándar abierto. [6]

f) Dirección IP

Dirección IP por sus siglas en inglés (Internet Protocol) es una identificación única que poseen los dispositivos conectados a una red o a internet.

Se compone por cuatro combinaciones de 8 bits, por ejemplo: 192.168.0.1 a estos números se los llama octetos y puede formar más de cuatro billones de combinaciones de direcciones diferentes. [7]

g) Protocolo TCP

Este protocolo se encarga de estandarizar la información entre los equipos que se encuentran en un sistema y permite la comunicación entre ellos, este protocolo es el más conocido y utilizado, sus siglas TCP significan Protocolo de Control de Transmisión. [8]

h) Topología Maestro-Esclavo

Es un esquema de comunicación industrial ampliamente difundido para redes de integración que se compone de equipos de control, también se la denomina maestro-esclavo debido a que tiene un equipo designado como Maestro y otros equipos designados como Esclavos como se muestra en la Figura 1, además existen dos tipos de topologías Maestro-Esclavo.

- **Balanceado:** donde el maestro y el esclavo se comunican independientemente entre los dos, esto quiere decir que cualquiera de ellos puede iniciar la comunicación.
- **Desbalanceado:** donde el maestro es quien gobierna los ciclos de comunicación, toda iniciativa de comunicación es llevada a cabo por este equipo, los esclavos solo responden a la petición del maestro, si les corresponde, el proceso de pregunta/respuesta de un equipo maestro a uno esclavo se lo conoce como transacción. [9]

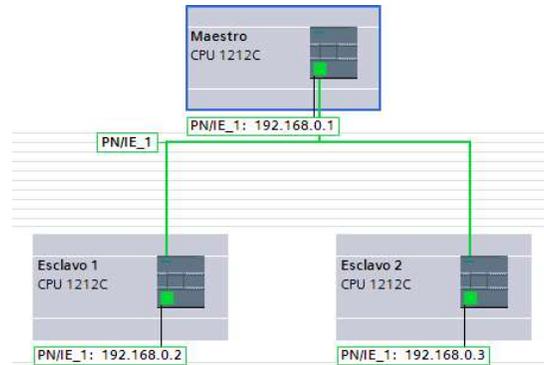


Figura 1. PLC Maestro y Esclavo
Elaboración Propia

i) Pirámide de automatización

Es la representación que muestra los distintos escalones que se pueden hallar en una industria con procesos automatizados, ya que hoy en día la tecnología avanza a pasos gigantescos es necesario de la mejora continua de cada uno de los escalones.

En la Figura 2 se observa los niveles más relevantes de la automatización teniendo este proyecto el alcance del tercer nivel, un SCADA.



Figura 2. Niveles de la Automatización
Fuente [10]

Cada nivel se determina de la siguiente manera:

- El **primer nivel o "nivel de campo"** incluye los dispositivos físicos, como los actuadores, sensores, temporizadores, controladores y en si todo tipo de maquinaria.
- El **segundo nivel o "nivel de control"** incluye los dispositivos controladores como controladores lógicos programable PLC, el cual recibe señales de entrada y salida de los componentes del primer nivel.
- El **"nivel de supervisión" (tercer nivel)** corresponde a los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA).

- En un **nivel superior o "nivel de planificación"** se encuentran los sistemas de ejecución de la producción (MES).
- La **cúspide de la pirámide ("nivel de gestión")** la componen los sistemas de gestión integral de la empresa (ERP). [6]

j) Definición de sistemas SCADA

SCADA proviene de las siglas en inglés (Supervisory Control And Data Acquisition) y está compuesto de hardware y software que permiten comunicar, controlar y supervisar varios dispositivos industriales de manera física y remota, en la Figura 3 se observa varios dispositivos formando un sistema y representando un SCADA.

Dentro de un SCADA se puede encontrar varios elementos de control entre ellos pantallas HMI's, las cuales controlan los procesos con mayor rapidez con el fin de ayudar a los operarios y supervisores, otorgándoles un mejor control y la posibilidad de realizar cambios de forma inmediata. [11]

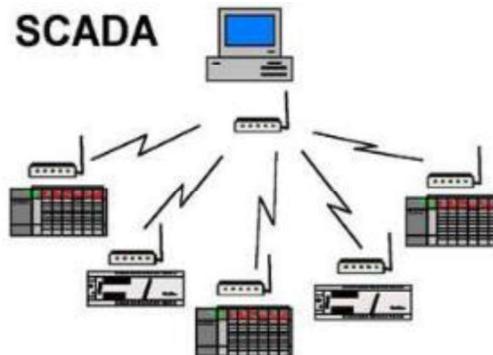


Figura 3. Representación de un sistema SCADA
Fuente [8]

k) Principales características de un sistema SCADA

Para poder considerar a un sistema como SCADA debe satisfacer ciertos requerimientos:

- Adquisición y almacenamiento de datos.
- Representaciones gráficas de las variables.
- Ejecución de acciones de control para modificar.
- Conectividad con otras aplicaciones y base de datos.
- Arquitectura abierta y flexible.
- Supervisión.
- Transmisión de información.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la metodología usada

Para iniciar el proyecto se determinó los requerimientos necesarios para realizar la comunicación entre los equipos que se encuentran en el Laboratorio de Tecnología Industrial, para lo cual primero se determinó el tipo de comunicación a establecer, en este caso mediante la comunicación Profinet que se basa en "Industrial Ethernet", además se verificó que cada equipo contengan puntos de red que les permita conectarse y comunicarse de forma diversa para el intercambio de información a través de los interlocutores vía Ethernet.

Como segunda fase, se planteó la adquisición de pantallas HMI DELTA y un Display LOGO TDE de la marca Siemens, para la alimentación de cada dispositivo se utilizó una fuente de 24 (V_{DC}) proporcionados por los módulos PLC del Laboratorio de Tecnología Industrial. Además, se construyó las placas móviles con diseño y medidas similares a las placas que existen dentro del laboratorio.

Como tercera fase, se realizó la comunicación entre los dispositivos de control del Laboratorio de Tecnología Industrial, dichos dispositivos no disponen de conmutación Ethernet para la conexión en red de más de tres dispositivos por lo que requiere un Switch Ethernet para realizar las siguientes comunicaciones:

- PLC Siemens S7 1200 con HMI Delta.
- PLC Siemens S7 1200 con PLC Siemens S7 1200.
- PLC Siemens S7 1200 con LOGO Siemens V8.
- LOGO Siemens V8 con HMI Delta.
- LOGO Siemens con Display LOGO TDE Siemens.
- Finalmente, el diseño de un Sistema SCADA.

Una vez que se logró el enlace, se empezó a levantar la comunicación Profinet por medio de un Switch Ethernet y los puntos de red que se encuentran distribuidos por todo el laboratorio, permitiendo enlazar todos los dispositivos a la vez teniendo flujo de información bidireccional, cada dispositivo como el PLC y el LOGO controlan un módulo de proceso industrial tales como:

- Planta de nivel con un sensor ultrasónico.
- Planta de nivel por presión hidrostática.
- Unidad central de presión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la Figura 4 se observa los módulos PLC's, plantas industriales, pantallas HMI's y un Display LOGO TDE, los cuales forman un SCADA.

Se denomina SCADA al presente proyecto porque el sistema implementado cumple con la comunicación vía Ethernet entre los dispositivos ya mencionados, este sistema realiza el control, supervisión de procesos industriales, sin embargo, no cuenta con una base de datos para la adquisición de la información suministrado por los sensores.



Figura 4. Implementación de un SCADA
Elaboración Propia

1. Módulo PLC Maestro.
2. Módulo PLC Esclavo_1 (S7 1200).
3. Módulo PLC Esclavo_2 (S7 1200).
4. Módulo PLC Esclavo_3 (LOGO V8).
5. Display LOGO TDE.
6. Pantalla HMI 1.
7. Pantalla HMI 2.
8. Planta de control de nivel por sensor ultrasónico.
9. Planta de control de nivel por presión hidrostática.
10. Unidad central de presión.

3.1 Estudio de requerimientos del laboratorio

Se realizó el estudio de requerimientos dentro del Laboratorio de Tecnología Industrial de la ESFOT-EPN, para conocer los equipos e instalaciones disponibles para poder desarrollar el presente proyecto, en base a los siguientes puntos.

a) Equipos disponibles

El Laboratorio de Tecnología Industrial dispone de los siguientes equipos, los cuales son utilizados para la ejecución del proyecto y se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1.
Equipos para un SCADA.

SCADA		
Equipos existentes	PLC's S7 1200	<ul style="list-style-type: none"> • PLC_1 Maestro. • PLC_2 Esclavo_1. • PLC_3 Esclavo_2.
	LOGO V8	<ul style="list-style-type: none"> • LOGO_1 Esclavo_3.
	Plantas industriales y otros	<ul style="list-style-type: none"> • Planta de control de nivel por sensor ultrasónico. • Planta de control de nivel por presión hidrostática. • Unidad central de presión.
Equipos requeridos	HMI's	<ul style="list-style-type: none"> • HMI_1 para Planta de nivel por sensor ultrasónico. • HMI_2 para Planta de nivel por presión hidrostática.
	Display LOGO TDE	<ul style="list-style-type: none"> • Visualización extra para el LOGO.

Elaboración Propia

b) Fuentes disponibles

El Laboratorio de Tecnología Industrial cuenta con fuentes de 127 y 220 (V_{AC}) en cada módulo de trabajo, además cada módulo PLC provee una alimentación de 24 (V_{DC}).

En la Figura 5 se muestra las fuentes de voltaje (V_{AC}) para circuitos de control y de fuerza suministrados en cada mesa de trabajo del laboratorio.



Figura 5. Alimentación 127 y 220 (V_{AC}) del Laboratorio de Tecnología Industrial.
Elaboración Propia

En la Figura 6 se observa los terminales de salida que contiene el módulo PLC para obtener una fuente de voltaje de 24 (V_{DC}).

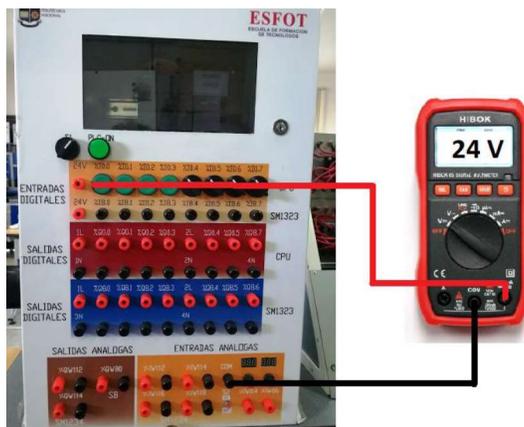


Figura 6. Alimentación de 24 (V_{DC}) del PLC.
Elaboración Propia

c) Espacio necesario

Para las pantallas HMI y Display LOGO TDE se realizó placas desmontables, las cuales ingresan en las estaciones que se encuentran en cada mesa de trabajo como se observa en la Figura 7 donde el espacio para cada una es de 19,5 (cm) de ancho con 15 (cm) de alto.

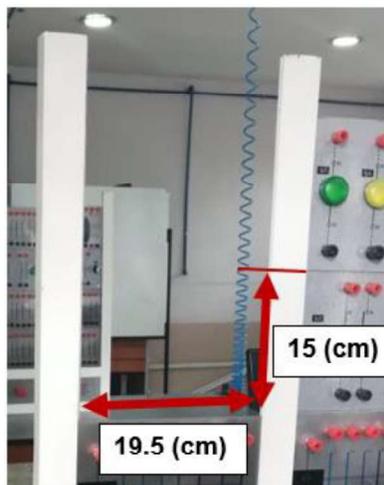


Figura 7. Dimensiones de placas en mesas de trabajo.
Elaboración Propia

d) Red disponible

Cada estación de trabajo posee un punto de red Ethernet ubicados al pie de cada mesa del Laboratorio de Tecnología Industrial como se especifica en la *Tabla 2*.

Tabla 2.
Puntos de red para cada área de trabajo.

Área de trabajo	Cantidad de puntos de red	Rack
Mesa 1	1	
Mesa 2	1	
Mesa 3	1	
Mesa 4	1	Switch
Mesa 5	1	
Mesa 6	1	
Total	6	

Elaboración Propia

Adicional existe un Switch Ethernet como se observa en la Figura 8, con 16 puertos de red con el fin de realizar una conmutación entre los equipos y dispositivos.



Figura 8. Switch Ethernet.
Elaboración Propia

e) Fabricación de soportes para dispositivos industriales de visualización

Se construyó tres placas metálicas de 2 (mm) de espesor con dimensiones de 200 (mm) de ancho y 150 (mm) de alto, esto con el fin de empotrar las pantallas HMI's y el Display LOGO TDE en las mesas de trabajo, manteniendo un estilo similar a las placas móviles del Laboratorio de Tecnología Industrial, a continuación se muestra en la Figura 9 y Figura 10 la plantilla con las placas terminadas.

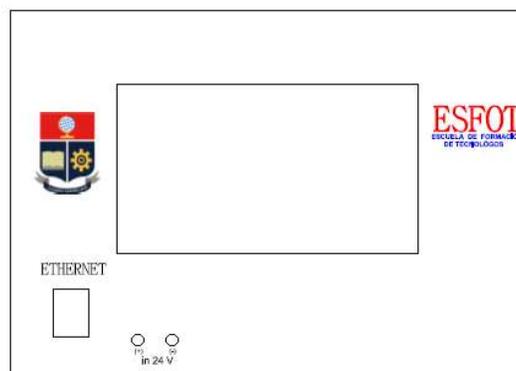


Figura 9. Plantilla para los soportes de los dispositivos de visualización.
Elaboración Propia



Figura 10. Placas terminadas.
Elaboración Propia

3.2 Implementación de un sistema de comunicación entre PLC's utilizando plantas industriales

Para el proyecto se generó la comunicación Ethernet entre PLC's y un LOGO V8, cada uno de los dispositivos comanda una planta industrial del Laboratorio de Tecnología Industrial, como se detalla en la Tabla 3.

(El procedimiento detallado tanto de la conexión como de la comunicación se describe en el Anexo A).

Tabla 3.

Aplicaciones de los dispositivos industriales.

No.	Dispositivos y Plantas industriales	Denominación	Controla
1	PLC_1 (192.168.0.1)	Maestro	Esclavo_1, Esclavo_2, Esclavo_3
2	PLC_2 (192.168.0.2)	Esclavo_1	Planta de nivel por sensor ultrasónico
3	PLC_3 (192.168.0.3)	Esclavo_2	Planta de nivel por presión hidrostática
4	LOGO V8 (192.168.0.4)	Esclavo_3	Unidad central de presión
5	Planta de nivel por sensor ultrasónico	Planta industrial	
6	Planta de nivel por presión hidrostática	Planta industrial	
7	Unidad central de presión	Elemento final de control	

Elaboración Propia

A continuación, se muestran los componentes para esta comunicación:

En la Figura 11 se observa los módulos PLC y el LOGO en su respectiva placa de montaje pertenecientes al Laboratorio de Tecnología Industrial donde estarán conectados vía ethernet para su respectiva comunicación.

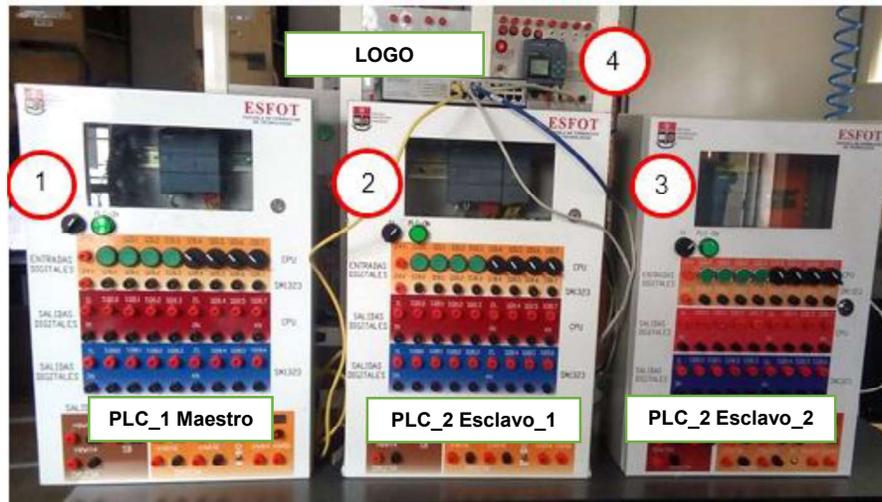


Figura 11. Módulos PLC del Laboratorio de Tecnología Industrial.
Elaboración Propia

En la Figura 12 se observa los módulos PLC requeridos para el funcionamiento de la planta de nivel por sensor ultrasónico mediante la topología Maestro-Esclavo.

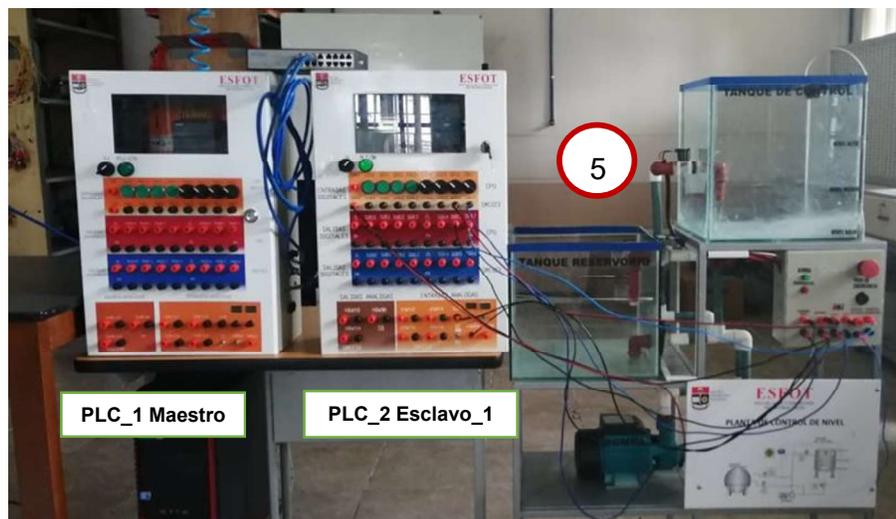


Figura 12. Planta de control de nivel por sensor ultrasónico comandada por Maestro-Esclavo.
Elaboración Propia

En la Figura 12 se observa los módulos PLC requeridos para el funcionamiento de la planta de nivel por presión hidrostática mediante la topología Maestro-Esclavo.

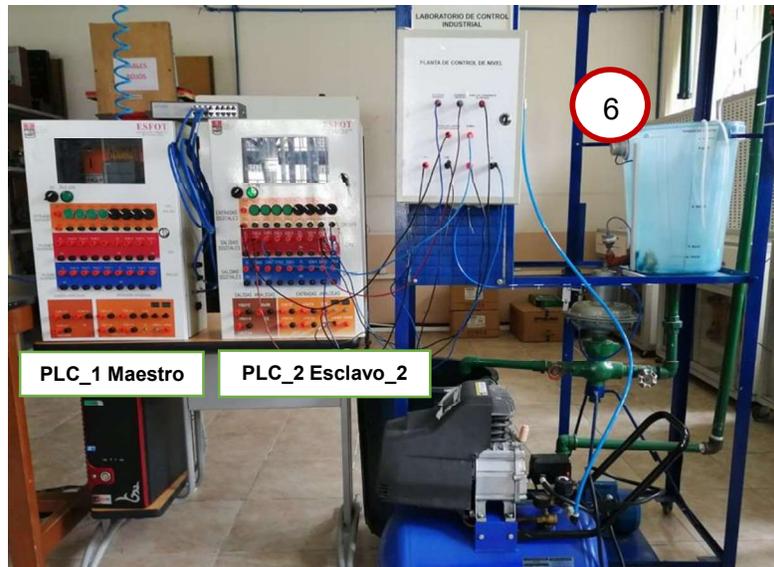


Figura 13. Planta de control de nivel por presión hidrostática comandada por Maestro-Eslavo. Elaboración Propia

En la Figura 14 se observa el módulo PLC junto con un LOGO V8 que serán los encargados de controlar la unidad central de presión con la topología Maestro-Eslavo.



Figura 14. Unidad central de presión comandada por un LOGO. Elaboración Propia

a) Función de cada dispositivo y plantas industriales:

- **PLC_1:** Se lo denomina PLC Maestro por el hecho de comandar a los PLC's Esclavos conectados a él por medio de la comunicación vía Ethernet, por otra parte, al activar las entradas físicas o remotas del PLC Maestro se producirá un cambio de estado en una marca interna del algoritmo de control del otro PLC enlazado como Esclavo.
- **PLC_2:** Se lo denomina PLC Esclavo debido a que no rechaza información o instrucciones que emite el PLC Maestro, además el PLC_2 denominado Esclavo_1 se encarga del control y supervisión de la planta de nivel por sensor ultrasónico.

- **PLC_3:** Se lo denomina PLC Esclavo debido a que no rechaza información o instrucciones que emite el PLC Maestro, además el PLC_3 denominado Esclavo_2 se encarga del control y supervisión de la planta de nivel por presión hidrostática.
- **LOGO V8:** Es un dispositivo Siemens compatible con la comunicación Maestro-Esclavo, se lo denomina PLC Esclavo_3 debido a que actúa como los demás esclavos y el enlace de comunicación se lo realiza de igual manera dentro del Software TIA Portal, además este dispositivo industrial comanda una unidad central de presión y a la vez este dispositivo puede ser comandado por un PLC Maestro.
- **Planta de nivel por sensor ultrasónico:** es un proceso industrial didáctico que se observa en la Figura 12, tiene tres niveles de operación, bajo, medio y alto, está compuesto por dos tanques de agua, uno de reserva de agua y otro de control.
Al pasar de un nivel bajo a uno alto enciende la bomba y al mismo tiempo una electroválvula que permite llenar el tanque de control hasta el nivel seleccionado, existe un sensor ultrasónico acondicionado que mide el nivel de agua y se encarga de desactivar la bomba y la electroválvula cuando alcanza el nivel requerido, este mismo proceso se repite tanto para el nivel medio como para el alto, por otra parte al pasar de un nivel alto a uno bajo, nuevamente el sensor ultrasónico mide el nivel agua y activa la electroválvula permitiendo el retorno del agua hacia el tanque de reserva hasta conseguir el nivel seleccionado.
- **Planta de nivel por presión hidrostática:** es un proceso industrial didáctico que se observa en la Figura 13, funciona con presión de aire debido a la válvula neumática de control de flujo que mantiene la planta industrial, de igual manera tiene tres niveles de operación, bajo, medio y alto, está compuesto por dos tanques de agua, uno que es de reserva de agua y el otro que es de control.
Al pasar de un nivel bajo a uno alto, se enciende la bomba de agua y comienza a llenarse el tanque de control, el mismo que tiene en la parte inferior un sensor por presión que se encarga de calcular la cantidad de agua mediante una función matemática programada permitiendo así apagar la bomba cuando alcance el nivel solicitado, por otra parte para la descarga del agua o para pasar de un nivel alto a uno bajo se activa la válvula neumática permitiendo el flujo del agua nuevamente hacia el tanque de reserva.
- **Unidad central de presión:** es un compresor que suministra presión de aire a la planta de nivel por presión hidrostática, el compresor se enciende tanto de las entradas físicas como remotas del PLC Maestro y del LOGO V8 como se observa en la Figura 14.

b) Etapas de configuración de la comunicación de los dispositivos industriales

Primero se configura los puertos de los PLC's, reasignando una dirección IP única a cada equipo, esto con el fin de evitar conflictos de comunicación, como se muestra en la Figura 15.

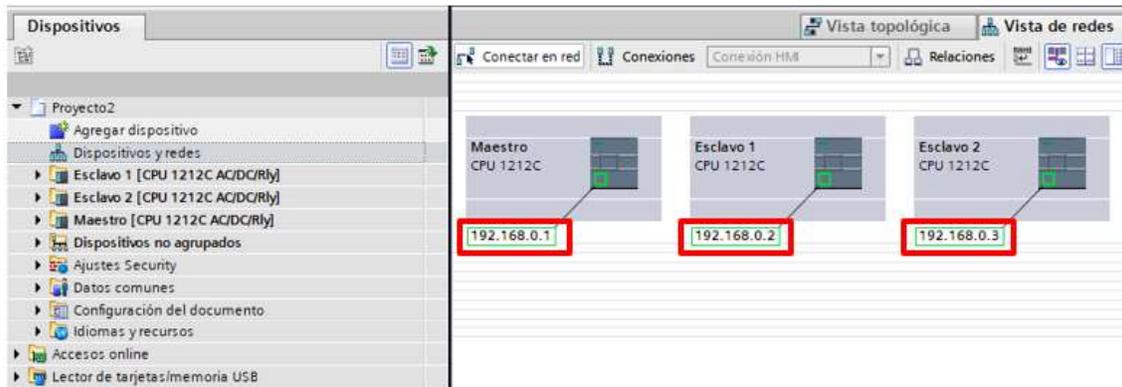


Figura 15. PLC Maestro, Esclavo_1 y Esclavo_2.
Elaboración Propia

Luego, se crean dos proyectos, uno en el software TIA Portal y otro en el software LOGO Soft Comfort, se agrega tres dispositivos PLC, se elige el controlador que dispone el laboratorio, en este caso es el CPU 1212C AC/DC/Rly, con código 6ES7 212-1BE40-0XB0 de la versión v4.0 y por otro lado se utiliza el LOGO versión V8.

Por otra parte, para comunicar dispositivos de la marca Siemens se requiere agregar 3 conexiones S7 como muestra la Figura 16, esto es válido tanto para los PLC's como para agregar una conexión para el LOGO.

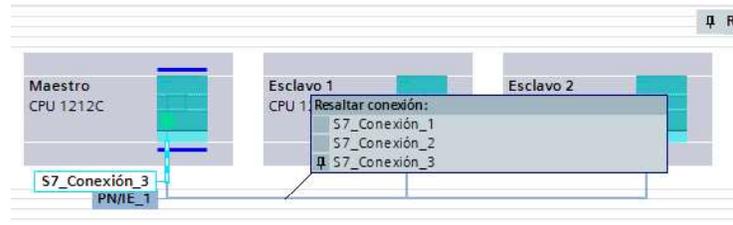


Figura 16. Industrial Ethernet con Conexiones S7.
Elaboración Propia

En la Tabla 4 se muestra las conexiones requeridas para realizar la topología Maestro-Esclavo, denominando PLC_1 como Maestro, PLC_2 como Esclavo_1, PLC_3 como Esclavo_2 y un LOGO como Esclavo_3.

Cabe mencionar que el software TIA Portal no cuenta con una librería de LOGO, por tal motivo se lo agrega como un dispositivo remoto, para ello se lo determina PLC Esclavo_3 que representa la comunicación "S7_Conexión 3".

Tabla 4.
Creación de la red.

Topología Maestro-Esclavo		
Origen	Destino	Conexión
PLC Maestro (192.168.0.1) →	PLC Esclavo_1 (192.168.0.2)	S7 Conexión 1
	PLC Esclavo_2 (192.168.0.3)	S7 Conexión 2
	PLC Esclavo_3 (192.168.0.4)	S7 Conexión 3

Elaboración Propia

Para la conexión “S7_Conexión 3” se modifica los siguientes parámetros como: la dirección IP, nombre del nuevo interlocutor, TSAP local, TSAP remoto y la casilla de establecimiento activo de conexión, como se muestra en la Figura 17 y Figura 18. (La descripción completa de como agregar la conexión 3 se detalla en el Anexo A).

Conexión

Nombre: S7_Conexión_3

Vía de conexión

Local Interlocutor

Punto final: Maestro [CPU 1212C AC/DC/Rly] LOGO

Interfaz: Maestro, Interfaz PROFINET_1[X1 : PN(LA) Desconocido

Tipo de interfaz: Ethernet Ethernet

Subred: PN/IE_1

Dirección: 192.168.0.1 192.168.0.4

Figura 17. Configuración de dirección IP del interlocutor.
Elaboración Propia

Local Interlocutor

Punto final: Maestro [CPU 1212C AC/DC/Rly] LOGO

Rack/slot: 0 1 0 0

Recurso conexión (hex): 10 20

TSAP: 10.01 20.00

SIMATIC-ACC SIMATIC-ACC

ID de subred: 4833 - 0001 -

Figura 18. Configuración de TSAP del interlocutor.
Elaboración Propia

Se agrega los bloques de comunicación PUT y GET, dichos bloques funcionan cuando se activa los siguientes parámetros que se observan en la Tabla 5.

Tabla 5.
Marcas y PUT GET.

Protección y seguridad de comunicación	
Marcas del sistema	Activan las marcas de ciclo, esto permite utilizar un tren de pulsos interno de cada PLC.
Permitir acceso PUT/GET	Activan el uso de bloque PUT/GET.

Elaboración Propia

c) Configuraron de los Bloques PUT-GET

En la Figura 19 se observa los bloques de comunicación PUT-GET, además en la Tabla 6 y Tabla 7 se muestra los parámetros necesarios para establecer la comunicación entre los dispositivos industriales.

Tabla 6.
Parámetros del bloque PUT.

Bloque de comunicación PUT		
Parámetros de entrada	Tipo de datos	Descripción
REQ:	Booleana	Es la velocidad de transferencia entre cada equipo, de preferencia 10 Hz (Marca de ciclo).
ID:	Word	Es el parámetro de direccionamiento para especificar la conexión al interlocutor asociado.
ADDR_1:	Remote	Se especifica la variable remota (PLC Esclavo) que se activará desde la variable local (PLC Maestro).
SD_1	Variant	Se especifica la variable local (PLC Maestro) que activará la variable remota (PLC Esclavo).

Elaboración Propia

Tabla 7.
Parámetros bloque GET

Bloque de comunicación GET		
Parámetros de entrada	Tipo de datos	Descripción
REQ:	Booleana	Es la velocidad de transferencia entre cada equipo, de preferencia 10 Hz (Marca de ciclo).
ID:	Word	Es el parámetro de direccionamiento para especificar la conexión al interlocutor asociado.
ADDR_1:	Remote	Se especifica la variable remota (PLC Esclavo) que activará la variable local (PLC Maestro).
SD_1	Variant	Se especifica la variable local (PLC Maestro) que se activará desde la variable remota (PLC Esclavo).

Elaboración Propia

A continuación, se observa los bloques de comunicación que fueron necesarios para el intercambio de información entre el PLC Maestro y el PLC Esclavo, la programación del PLC Maestro consta de dos bloques PUT y uno GET, debido a que cada bloque solo cuenta con 4 opciones de entrada. Adicional se utiliza el bloque GET para enviar informacional al PLC Maestro notificando que el proceso está activado mediante el cambio de estado en la dirección (Q 0.0) del mismo, en la Figura 21 se observa los bloques PUT-GET con los campos completos de información

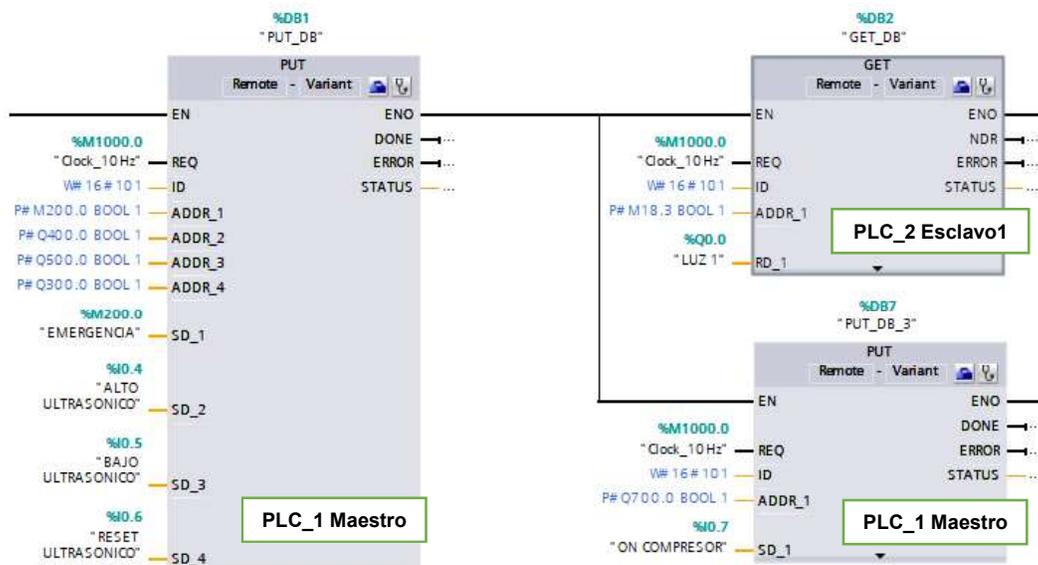


Figura 19. Bloques PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo1
Elaboración Propia

Por último, una vez preparado el software TIA Portal para la comunicación Maestro-Esclavo se procede a configurar los bloques de comunicación PUT-GET de cada uno de los PLC's Esclavos, cada bloque de comunicación mantendrá un algoritmo de control perteneciente al funcionamiento de cada planta industrial que se presentó en la Figura 12 y Figura 13, a continuación se detalla la configuración de los bloques PUT-GET entre dos dispositivos industriales:

- Entradas físicas del PLC Maestro.
- Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_1.
- Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_2.
- Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_3.

d) Entradas físicas del PLC Maestro

El PLC Maestro comandará a los tres PLC's Esclavos mediante sus entradas físicas que a continuación se detallan:

En la Tabla 8 se describe la función que realiza cada variable activada desde las entradas físicas del PLC Maestro y en la Tabla 9 se muestra la distribución de la variable hacia los PLC's Esclavos.

Tabla 8.

Descripción de las variables de entrada.

Nombre de la Variable	Descripción
Vaciar Nivel (Planta de nivel por Presión)	Permite vaciar el agua del tanque de control tanto para la planta de nivel por sensor ultrasónico como para la planta de nivel por presión hidrostática.
Nivel Medio (Planta de nivel por Presión)	Activa un modo de llenado en la planta de nivel por presión hidrostática donde permite llenar el tanque de control hasta un nivel medio.
Llenar Nivel (Planta de nivel por Presión)	Activa un modo de llenado en la planta de nivel por presión hidrostática donde permite llenar el tanque de control hasta un nivel alto.
Emergencia total	Es un estado de emergencia donde suspende el funcionamiento a cada planta industrial incluido la unidad central de presión.
Nivel Alto (Planta de nivel por ultrasónico)	Activa un modo de llenado en la planta de nivel por sensor ultrasónico donde permite llenar el tanque de control hasta un nivel alto.
Nivel Bajo (Planta de nivel por ultrasónico)	Activa un modo de llenado en la planta de nivel por sensor ultrasónico donde permite llenar el tanque de control hasta un nivel alto.
Reset (Planta de nivel por ultrasónico)	Permite reiniciar la planta de nivel por sensor ultrasónico para cambiar de un estado alto a uno bajo o viceversa.
Compresor	Permite activar la unidad central de presión para suministrar de aire a la planta de nivel por presión hidrostática.
Elaboración Propia	

Tabla 9.

Distribución de entradas físicas PLC Maestro.

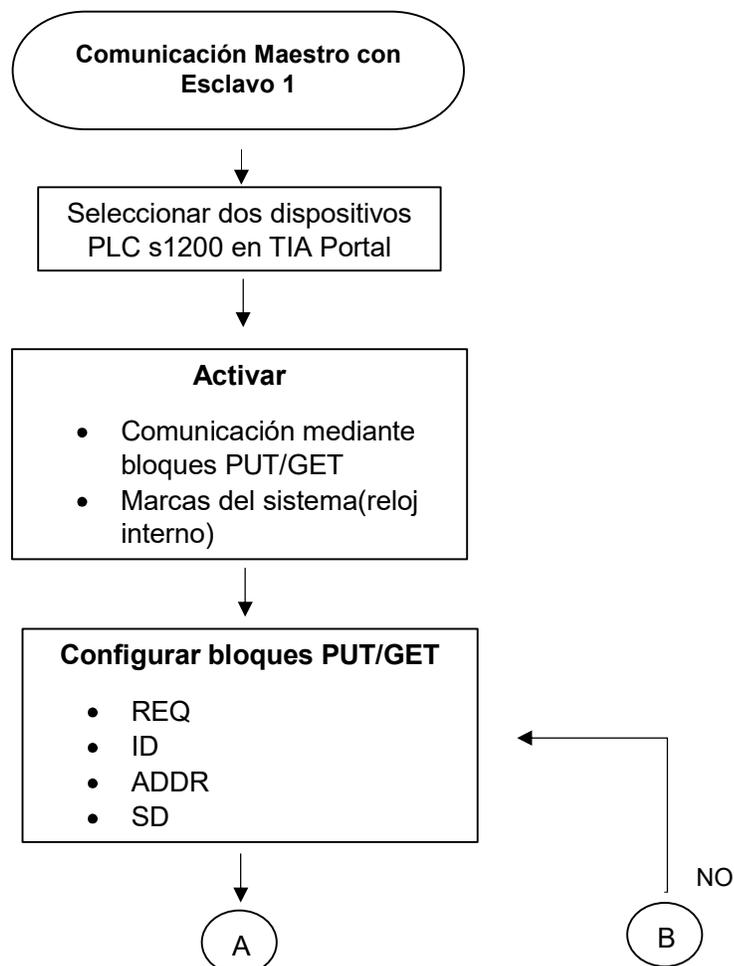
Entradas digitales del PLC Maestro		
PLC Maestro		PLC's
Entradas físicas	Dirección	Salida
10.0 Vaciar Nivel (Planta presión hidrostática)	→	Esclavo_2 Esclavo_3

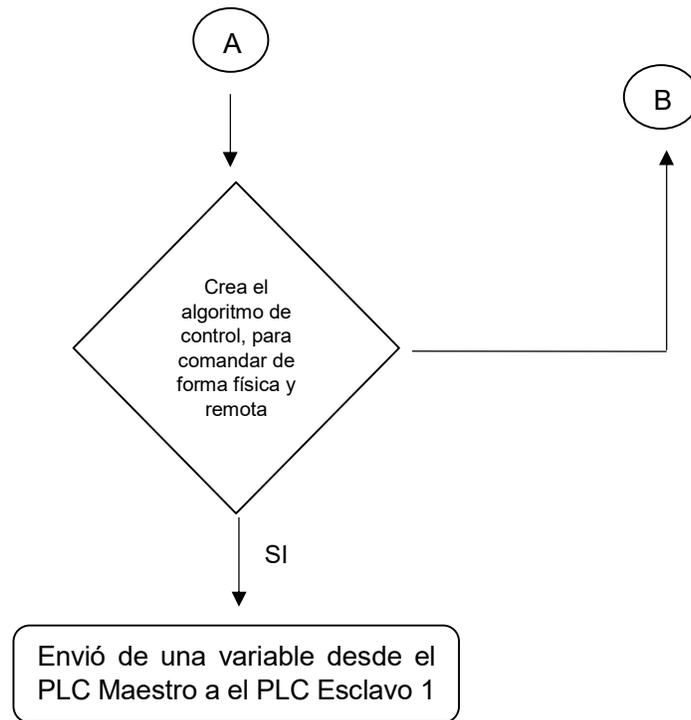
10.1 Nivel Medio (Planta presión hidrostática)	→	Esclavo_2
10.2 Llenar Nivel (Planta presión hidrostática)	→	Esclavo_2
		Esclavo_1
10.3 (Emergencia Total)	→	Esclavo_2
		Esclavo_3
10.4 Nivel Alto (Planta con sensor ultrasónico)	→	Esclavo_1
10.5 Nivel Bajo (Planta con sensor ultrasónico)	→	Esclavo_1
10.6 Reset (Planta con sensor ultrasónico)	→	Esclavo_1
10.7 (Compresor)	→	Esclavo_3

Elaboración Propia

e) Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_1

La representación de la conexión del PLC Maestro con el PLC Esclavo_1 se detalla gráfica en el siguiente diagrama:





En esta comunicación se utiliza dos PLC's y una Planta de control de nivel por sensor ultrasónico, se realiza la topología Maestro-Esclavo donde el PLC Maestro se encarga de gobernar el algoritmo de control cargado en el PLC Esclavo_1 y que dicho algoritmo pertenece al funcionamiento de la planta industrial, además la planta industrial puede ser controlada tanto desde las entradas físicas del PLC Maestro como del PLC Esclavo_1.

(La descripción completa paso a paso de la configuración de los bloques PUT-GET se detalla en el Anexo A).

El módulo PLC Esclavo_1 maneja las siguientes variables que se muestran en la Tabla 10 que se encarga del control de la planta de nivel por sensor ultrasónico.

Tabla 10.

Entradas y salidas del PLC Esclavo _1

Variable	Nombre de la Variable
I0.0	Reset
I0.1	Stop
I0.2	Emergencia
I0.3	Descarga
I0.4	Nivel bajo
I0.5	Nivel medio
I0.6	Nivel alto
I0.7	Inicio Manual

Q0.0	Bomba
Q0.1	Electroválvula
Elaboración Propia	

En la Figura 20 se observa la planta industrial comandada tanto por el PLC Esclavo_1 como por el PLC Maestro mediante la comunicación Ethernet.

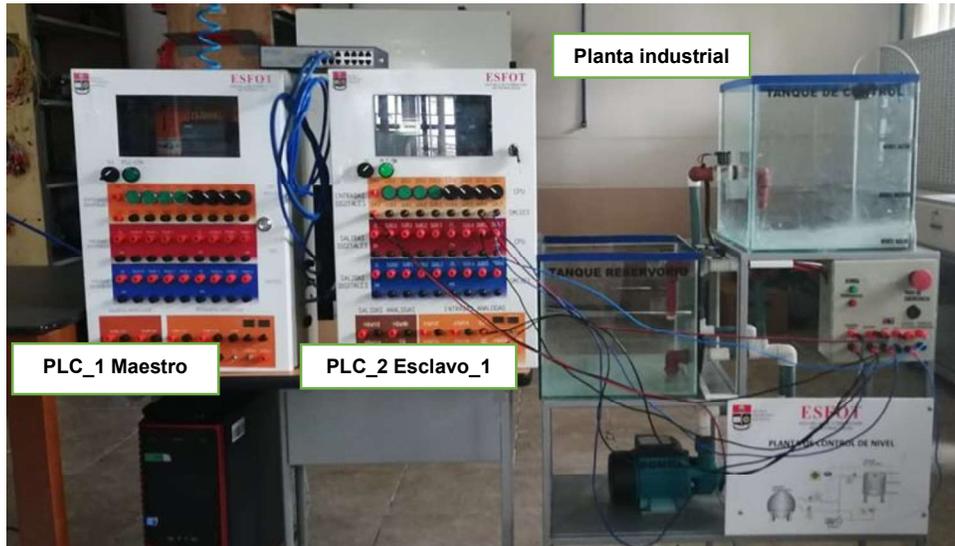


Figura 20. Maestro-Esclavo con planta de nivel por sensor ultrasónico.
Elaboración Propia

El PLC Esclavo_1 controla la planta de nivel por sensor ultrasónico como se muestra en la Figura 20, se utiliza la comunicación PUT-GET, donde el bloque PUT permite establecer comunicación vía Ethernet entre el PLC Maestro comandando al interlocutor que en este caso es el PLC Esclavo_1.

En la Tabla 11 se describe la función de cada variable del bloque PUT para el Esclavo_1 y en la Tabla 12 se muestra la manera de completar los campos solicitados por el bloque de comunicación.

Tabla 11.

Descripción de las variables del bloque PUT (PLC Maestro y PLC Esclavo_1).

Variable	Descripción
M1000.0 Clock_10 Hz	Activa el tren de pulsos internos del PLC para la velocidad de envío y recepción de la información.
W#16#101	Numero de lazo por defecto de comunicación con el interlocutor

P#M200.0 BOOL 1	Variable interna M200.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_1 que se ejecutará.
P#Q400.0 BOOL 1	Variable interna M400.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_1 que se ejecutará.
P#Q500.0 BOOL 1	Variable internavM500.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_1 que se ejecutará.
P#Q300.0 BOOL 1	Variable interna M300.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_1 que se ejecutará.
M200.0 "Emergencia"	Entrada Remota del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable M200.0 del PLC Esclavo_1.
I0.4 "Alto Ultrasónico"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable M400.0 del PLC Esclavo_1.
I0.5 "Bajo Ultrasónico"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable M500.0 del PLC Esclavo_1.
I0.6 "Reset ultrasónico"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable M300.0 del PLC Esclavo_1.
P#Q700.0 BOOL 1	Variable interna M700.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_1 que se ejecutará.
I0.7 "Compresor"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable Q700.0 del PLC Esclavo_1.
Elaboración Propia	

Tabla 12.

Parámetros de entrada del bloque PUT (PLC Maestro y PLC Esclavo_1).

Bloque	Parámetros de entrada	Descripción
PUT %DB1	REQ:	M1000.0 Clock_10 Hz
	ID:	W#16#101
	ADDR_1:	P#M200.0 BOOL 1
	ADDR_2:	P#Q400.0 BOOL 1
	ADDR_3:	P#Q500.0 BOOL 1
	ADDR_4:	P#Q300.0 BOOL 1
	SD_1	M200.0 "Emergencia"
	SD_2	I0.4 "Alto Ultrasónico"

	SD_3	I0.5 "Bajo Ultrasónico"
	SD_4	I0.6 "Reset ultrasónico"
PUT %DB7	ADDR_1:	P#Q700.0 BOOL 1
	SD_1	I0.7 "Compresor"

Elaboración Propia

Valores utilizados en cada parámetro del bloque GET para el Esclavo_1 se describen a continuación:

En la Tabla 13 se describe la función de cada variable del bloque GET para el Esclavo_1 y en la Tabla 14 se muestra la manera de completar los campos solicitados por el bloque de comunicación.

Tabla 13.

Descripción de las variables del bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_1.

Variable	Descripción
Clock_10 Hz	Activa el tren de pulsos internos del PLC para la velocidad de envío y recepción de la información.
W#16#101	Numero de lazo por defecto de comunicación con el interlocutor
P#M18.3 BOOL 1	Variable interna M18.3 del algoritmo de control del PLC Maestro que se ejecutará.
Q0.0 "LUZ 1"	Variable del PLC Esclavo_1 cuyo cambio de estado se envía a la variable M18.3 del PLC Maestro.

Elaboración Propia

Tabla 14.

Parámetros de entrada para el bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_1.

Bloque	Parámetros de entrada	Descripción
GET %DB1	REQ:	Clock_10 Hz
	ID:	W#16#101
	ADDR_1:	P#M18.3 BOOL 1
	SD_1	Q0.0 "LUZ 1"

Elaboración Propia

En la Figura 21 se observa el bloque PUT-GET completo con la información y variables mencionadas.

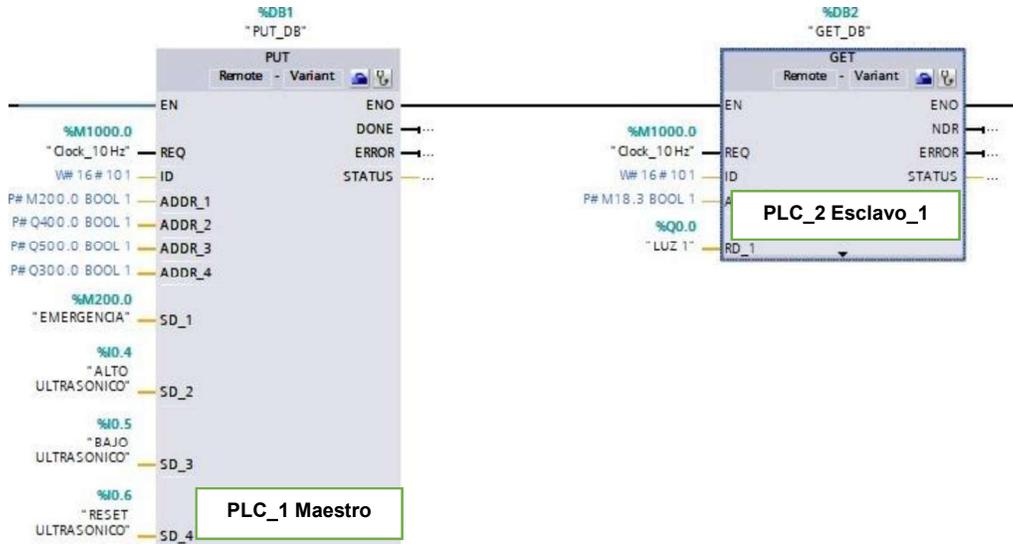
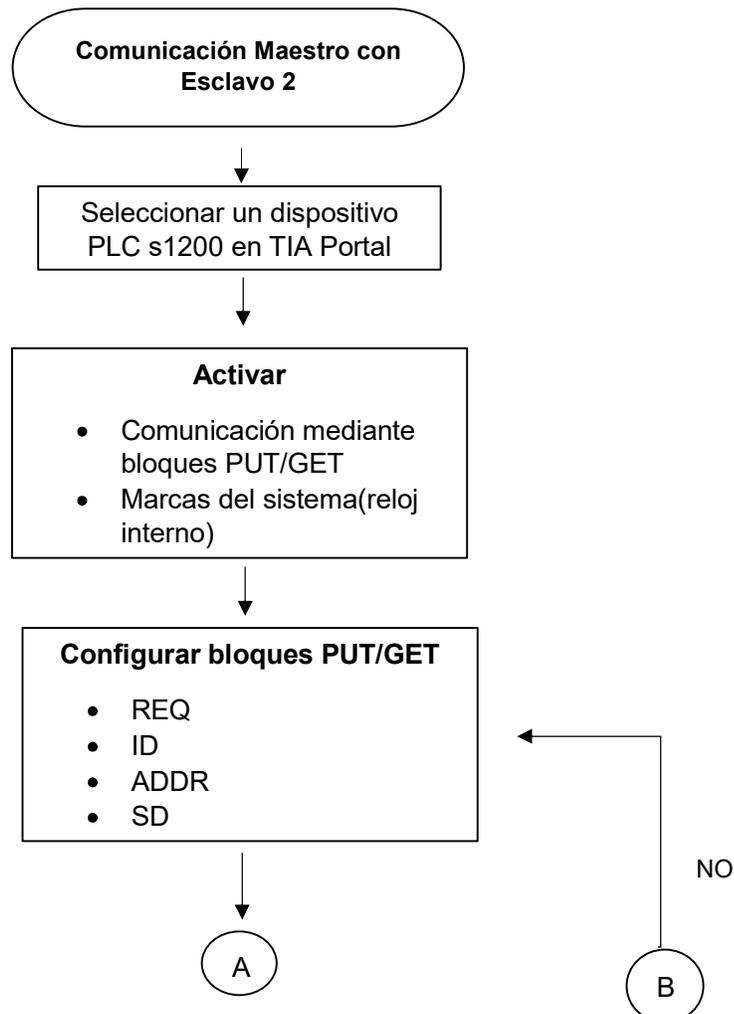
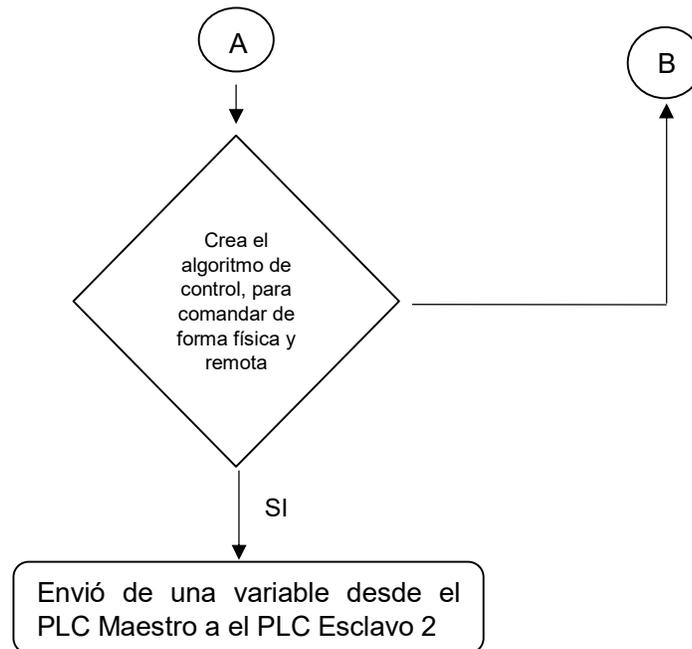


Figura 21. Bloques PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo1
Elaboración Propia

f) Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_2

La representación de la conexión del PLC Maestro con el PLC Esclavo_2 se detalla gráfica en el siguiente diagrama:





En esta comunicación se utiliza dos PLC's y una Planta de control de nivel por presión hidrostática, se realiza de igual manera la topología Maestro-Esclavo donde el PLC Maestro se encarga de gobernar el algoritmo de control cargado en el PLC Esclavo_2 y que dicho algoritmo pertenece al funcionamiento de la planta industrial, además la planta industrial puede ser controlada tanto desde las entradas físicas del PLC Maestro como del PLC Esclavo_2.

(La descripción completa paso a paso de la configuración de los bloques PUT-GET se detalla en el Anexo A).

El módulo PLC Esclavo_2 maneja las siguientes variables que se muestran en la Tabla 15 que se encarga del control de la planta de nivel por presión hidrostática.

Tabla 15.

Entradas y salidas del PLC Esclavo _2

Variable	Nombre de la Variable
I0.0	Vaciar
I0.1	Medio
I0.2	Llenar
I0.3	Paro
I0.4	On/Off
I0.6	Flotador interior
I0.7	Flotador superior

Q0.0

Bomba

Elaboración Propia

En la Figura 22 se muestra la planta industrial comandada tanto por el PLC Esclavo_2 como por el PLC Maestro mediante la comunicación Ethernet.

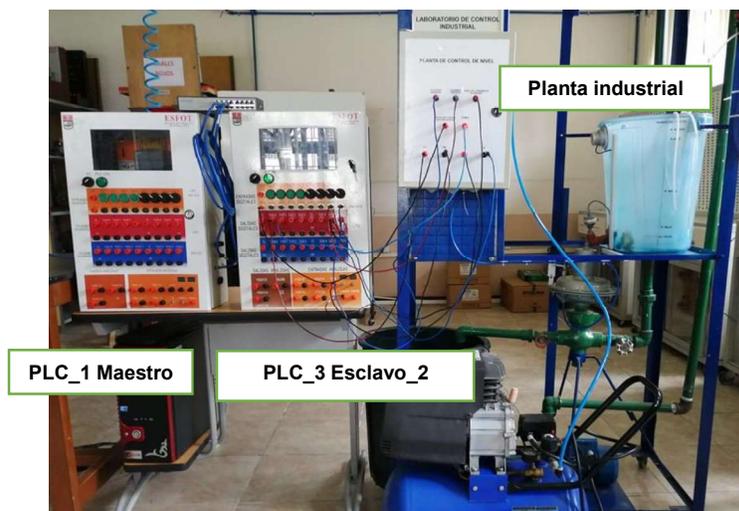


Figura 22. Maestro-Esclavo_2 con planta de nivel por presión hidrostática.
Elaboración Propia

De igual manera como en el PLC Esclavo_1, el PLC Esclavo_2 controla una planta industrial mediante bloques de programación PUT y GET, estos con las siguientes características.

En la Tabla 13 se describe la función de cada variable del bloque PUT para el Esclavo_2 y en la Tabla 17 se muestra la manera de completar los campos solicitados por el bloque de comunicación.

Tabla 16.

Descripción de las variables del bloque PUT del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.

Datos	Descripción
M1000.0 Clock_10 Hz	Es la velocidad de transferencia de preferencia 10 Hz (Marca de ciclo).
W#16#102	Especifica la conexión al interlocutor asociado.
P#Q950.0 BOOL 1	Variable interna Q950.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_2 que se ejecutará.
P#Q100.0 BOOL 1	Variable interna Q100.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_2 que se ejecutará.
P#Q750.0 BOOL 1	Variable interna Q750.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_2 que se ejecutará.
P#Q900.0 BOOL 1	Variable interna Q900.0 del algoritmo de control del PLC Esclavo_2 que se ejecutará.

I0.0 "Vaciar presión"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable Q950.0 del PLC Esclavo_2.
I0.1 "Medio presión"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable Q100.0 del PLC Esclavo_2.
I0.2 "Llenar presión"	Entrada física del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable Q750.0 del PLC Esclavo_2.
M200.0 "Emergencia"	Entrada remota del PLC Maestro cuyo cambio de estado se envía a la variable Q900.0 del PLC Esclavo_2.

Elaboración Propia

Tabla 17.

Parámetros de entrada para el bloque PUT del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.

Bloque	Parámetros de entrada	Datos
PUT %DB1	REQ:	M1000.0 Clock_10 Hz
	ID:	W#16#102
	ADDR_1:	P#Q950.0 BOOL 1
	ADDR_2:	P#Q100.0 BOOL 1
	ADDR_3:	P#Q750.0 BOOL 1
	ADDR_4:	P#Q900.0 BOOL 1
	SD_1	I0.0 "Vaciar presión"
	SD_2	I0.1 "Medio presión"
	SD_3	I0.2 "Llenar presión"
SD_4	M200.0 "Emergencia"	

Elaboración Propia

Valores utilizados en cada parámetro del bloque GET para el Esclavo_2 son los siguientes:

En la Tabla 18 se describe la función de cada variable del bloque GET del Esclavo_2 y en la Tabla 19 se muestra la manera de completar los campos solicitados por el bloque de comunicación.

Tabla 18.

Descripción de los datos del bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_2.

Datos	Descripción
M1000.0 Clock_10 Hz	Es la velocidad de transferencia de preferencia 10 Hz (Marca de ciclo).
W#16#102	Especifica la conexión al interlocutor asociado.
P#Q0.5 BOOL 1	Variable interna Q0.5 del algoritmo de control del PLC Maestro que se ejecutará.
Q0.1 "LUZ 2"	Entrada remota del PLC Esclavo_2 cuyo cambio de estado se envía a la variable Q0.5 del PLC Maestro.

Elaboración Propia

Tabla 19.
Valores reales para el bloque GET PLC Maestro y PLC Esclavo_2.

Bloque	Parámetros de entrada	Datos
GET %DB1	REQ:	M1000.0 Clock_10 Hz
	ID:	W#16#102
	ADDR_1:	P#Q0.5 BOOL 1
	SD_1	Q0.1 "LUZ 2"

Elaboración Propia

En la Figura 23 se observa los bloques necesarios para la programación entre el PLC Maestro y el PLC Esclavo_2, se utiliza un bloque PUT para activar variables en el PLC Esclavo_2 comandado desde el PLC Maestro. Adicional se utiliza el bloque GET para activar una bobina en el PLC Maestro (Q 0.1) la cual representa el encendido de una luz indicadora.

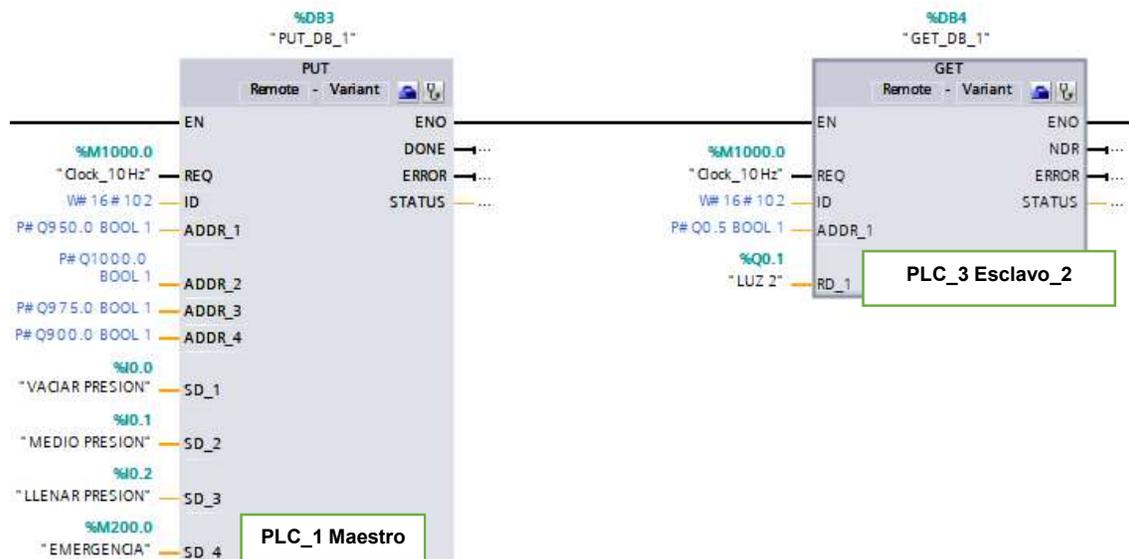
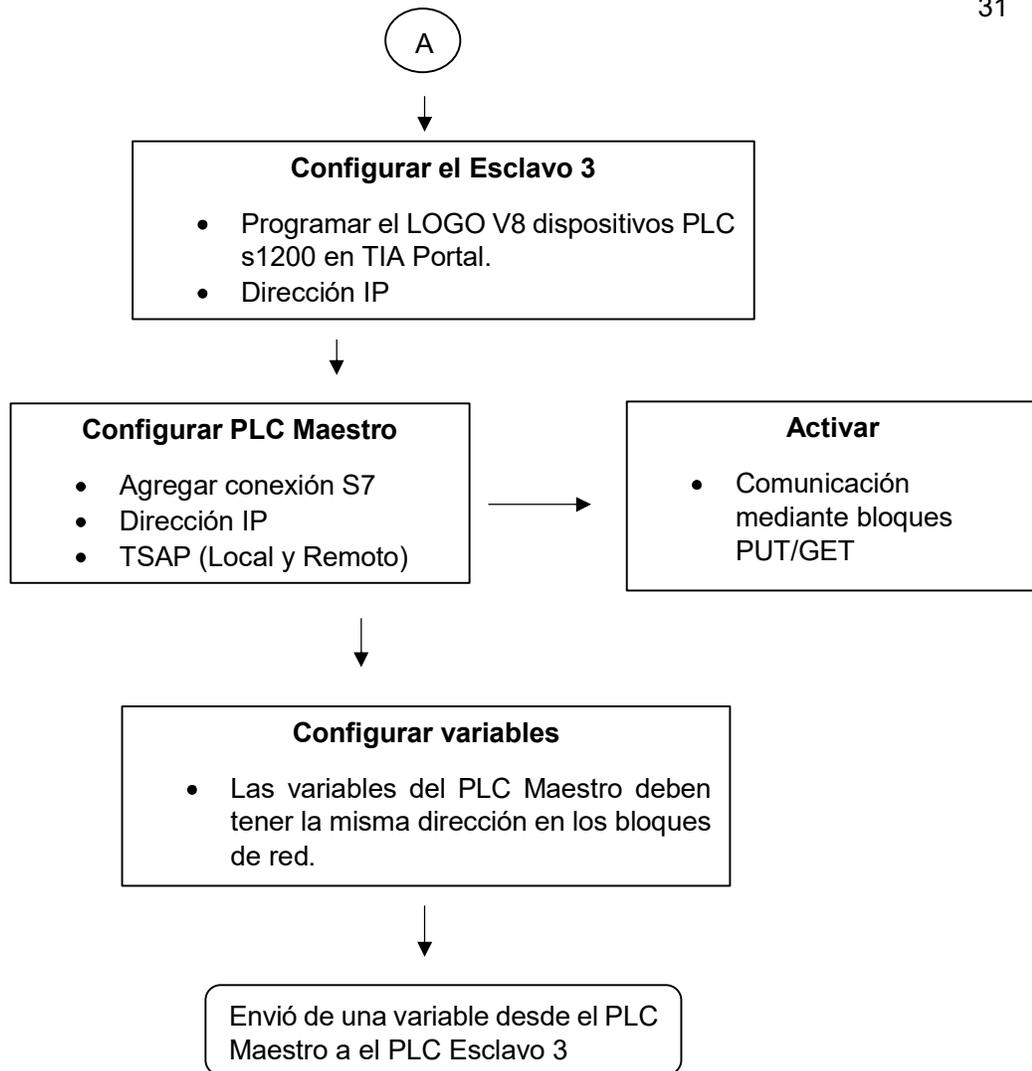


Figura 23. Bloque PUT/GET del PLC Maestro y PLC Esclavo_2.
Elaboración Propia

g) Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_3

La representación de la conexión del PLC Maestro con el PLC Esclavo_3 se detalla gráfica en el siguiente diagrama:





En esta comunicación se utiliza un PLC, un LOGO V8 y una unidad central de presión, se realiza de igual manera la topología Maestro-Esclavo donde el PLC Maestro se encarga de gobernar el algoritmo de control cargado en el LOGO V8 y que dicho algoritmo pertenece a la activación del compresor, además la unidad central de presión puede ser controlada tanto desde las entradas físicas del PLC Maestro como del LOGO.

(La descripción completa paso a paso de la configuración de los bloques PUT-GET se detalla en el Anexo A).

En la Figura 24 se observa la unidad central de presión comandada tanto por el PLC Esclavo_3 como por el PLC Maestro mediante la comunicación Ethernet.



Figura 24. Maestro-Esclavo_2 con unidad de presión.
Elaboración Propia.

Por último, al dispositivo LOGO Siemens se le denomina PLC Esclavo_3 por detalles mencionados con anterioridad, se toma en consideración la no existencia de librerías tanto del LOGO en el software TIA Portal como del PLC en el software LOGO Soft Comfort, por tal motivo se utiliza los bloques de salidas y entradas de red que proporciona el software LOGO Soft Comfort y permite el enlace de comunicación con el PLC Maestro.

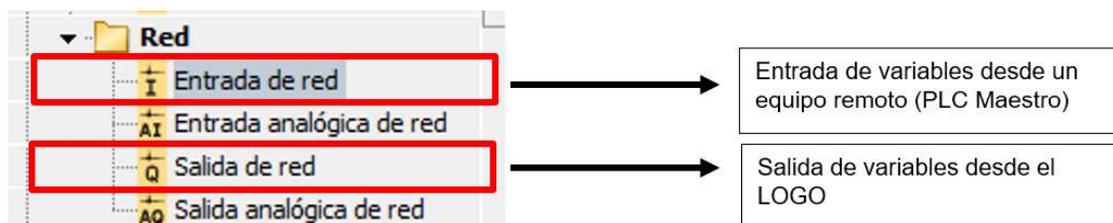


Figura 25. Entrada y salida de red.
Elaboración Propia

Al presionar las entradas digitales del PLC Maestro I0.0 y I0.7, activa y desactiva el contactor que acciona a la unidad de presión, por el hecho que las entradas del PLC Maestro se comunican directamente con las entradas del LOGO por la configuración Maestro-Esclavo. (La descripción completa paso a paso de la configuración de los bloques de red se detalla en el Anexo A).

En la Tabla 20 se describen las variables de comunicación entre el PLC-LOGO, las entradas físicas del PLC Maestro y las marcas de red o marcas remotas del LOGO V8.

Tabla 20.
Descripción de las variables

Variables	Descripción
I0.0	Entrada física del PLC Maestro que envía el cambio de estado a la marca M1 del LOGO

I0.7	Entrada física del PLC Maestro que envía el cambio de estado a la marca M1 del LOGO
M1 Marcas de red	Permite encender la salida Q1 del LOGO
M2 Marcas de red	Permite apagar la salida Q1 del LOGO

Elaboración Propia

En la Tabla 21 se muestra el enlace de comunicación entre las entradas del PLC Maestro con las marcas de red del LOGO V8.

Tabla 21.
Bus de datos.

Entradas PLC Maestro	Marcas LOGO
I0.0	M1 Marcas de red
I0.7	M2 Marcas de red

Elaboración Propia

En la Figura 26 se observa el algoritmo de control del LOGO con bloques de red con su respectiva dirección IP y valor TSAP.

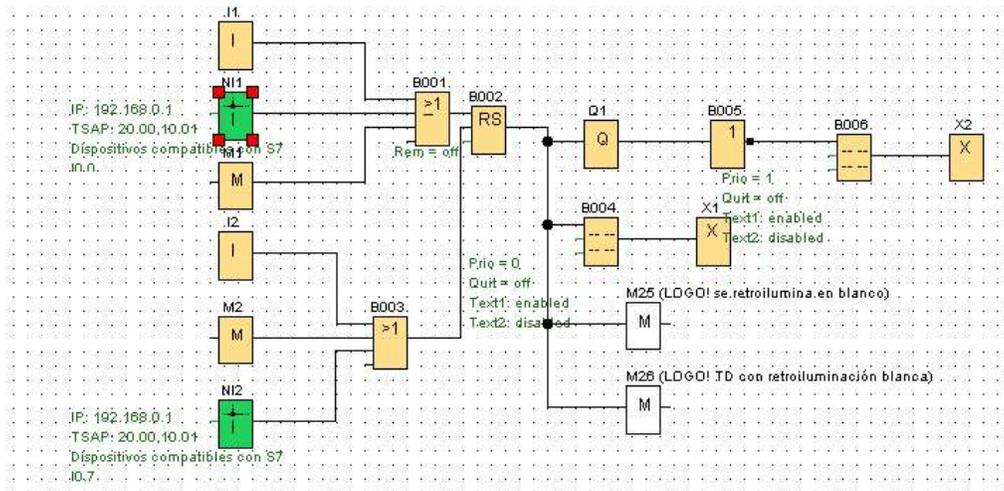
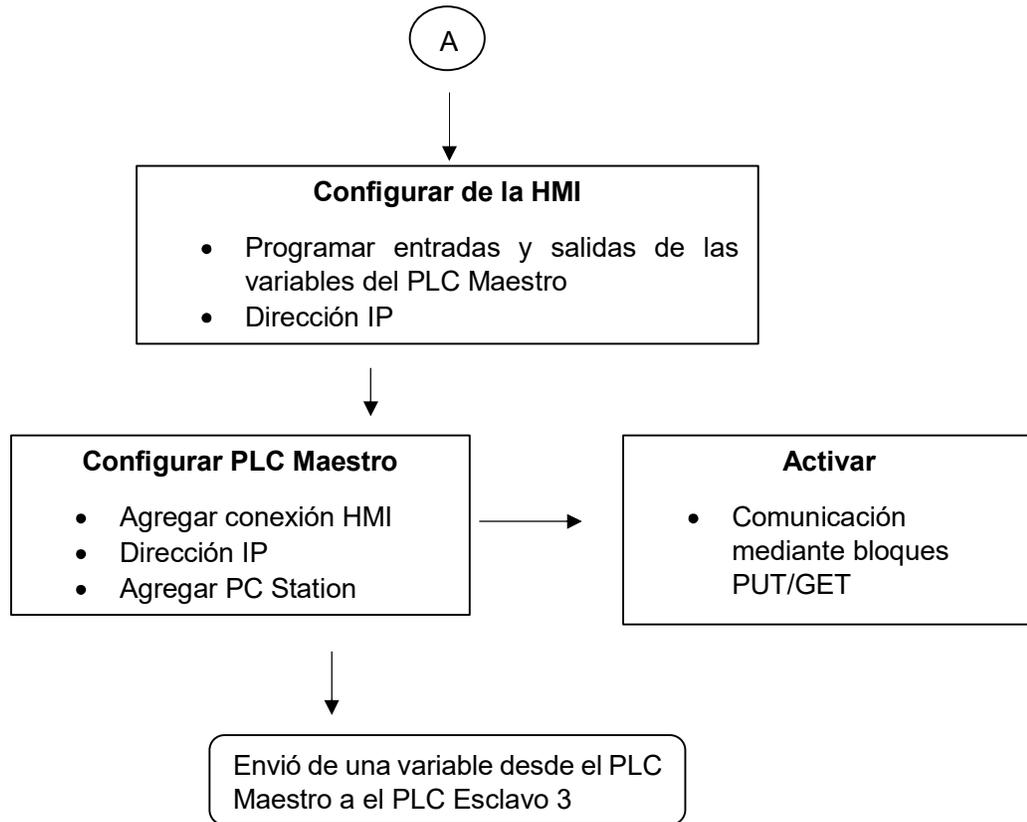


Figura 26. Programación en el Software LOGO Soft Comfort.
Elaboración Propia

3.3 Implementación de un sistema de comunicación entre PLC's y HMI's

La representación de la conexión del PLC Maestro con el PLC Esclavo_1 se detalla grafica en el siguiente diagrama:





En esta comunicación cada PLC se conectará con una Interfaz Humano Maquina (HMI) donde se visualizará y se comandará cada proceso industrial.

El desarrollo de la programación se realiza en dos programas, uno en el software TIA Portal para el PLC y el otro en el software DOPSoft para el HMI.

(El procedimiento detallado de la programación de cada software y de la comunicación entre ambos dispositivos se describe en el Anexo A).

Los dispositivos que tienen una interfaz donde muestra cada proceso industrial se detallan en la Tabla 22.

Tabla 22.

Dispositivos industriales con interfaces gráficas.

Dispositivos y Plantas industriales	Denominación	Controla	Interfaz Humano Maquina
PLC_1 (192.168.0.1)	Maestro	Esclavo_1, Esclavo_2, Esclavo_3	HMI (Runtime computador)
PLC_2 (192.168.0.2)	Esclavo_1	Planta de nivel por sensor ultrasónico	HMI_1
PLC_3 (192.168.0.2)	Esclavo_2	Planta de nivel por presión hidrostática	HMI_2

Elaboración Propia

A continuación, se muestran los componentes industriales para esta comunicación:

En la Figura 27 se observa la topología Maestro-Esclavo de los dispositivos industriales controlados por una Interfaz Humano Maquina.

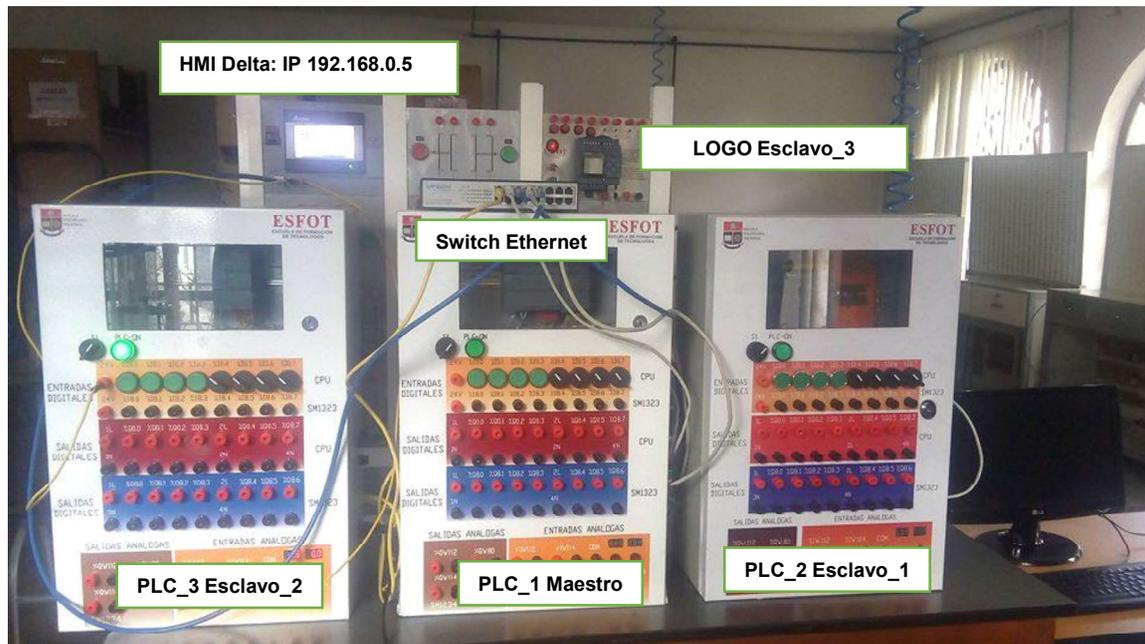


Figura 27. Componentes para la comunicación entre PLC's con HMI's.
Elaboración Propia

En la Figura 28 se observa la conexión física entre un PLC y un HMI, se utiliza un Switch Ethernet como intermediario para la comunicación.

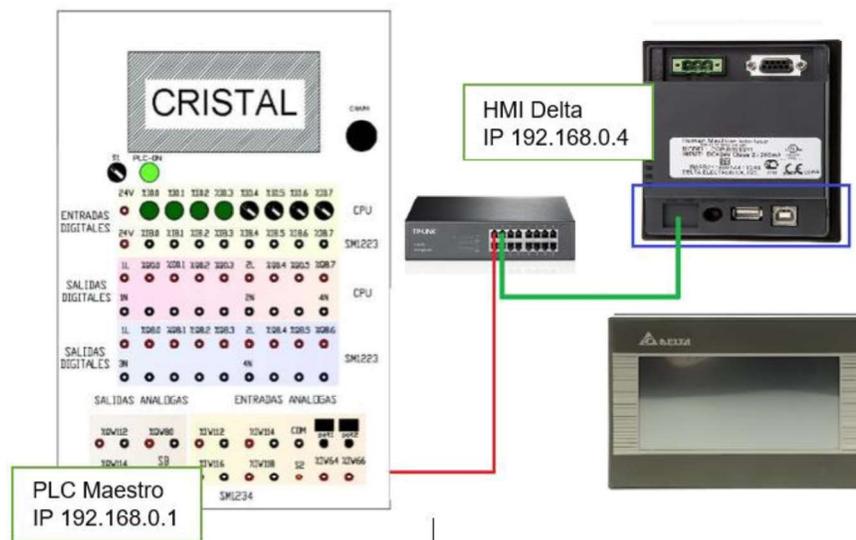


Figura 28. Conexión PLC y HMI.
Elaboración Propia

En la Figura 29 se muestran las placas terminadas con las respectivas interfaces gráficas que permitirán visualizar y ejecutar un proceso industrial desde sus pantallas.



Figura 29. Interfaces gráficas.
Elaboración Propia

a) Ajustes en el software TIA Portal y DOPSoft para la comunicación PLC-HMI

Para la conexión con las pantallas HMI se agrega en el software TIA Portal, en la sección de “Vista de redes” dos nuevas estaciones, se elige el simulador de “SIMATIC HMI” en “sistemas PC”, es factible y además compatible agregar una comunicación SIMATIC de diferentes marcas de dispositivos, como es el caso de este proyecto, donde se enlaza un PLC S7 1200 con un HMI de la marca DELTA, en la Figura 30 se observa el enlace de comunicación entre estos dos dispositivos.

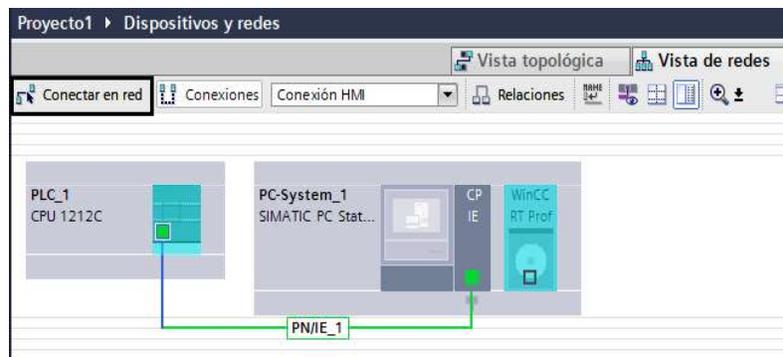


Figura 30. Comunicación PLC Maestro con HMI principal
Elaboración Propia

Dentro del software DOPSoft que es el software de programación del HMI, se crea una plantilla llamada “Principal” que se observa en la Figura 31, en la que se presenta el título del proyecto, los nombres de los integrantes, el Logo de la Escuela Politécnica Nacional, etc. Además, se incluye un botón llamado MENÚ, el mismo que dirige a la siguiente plantilla donde se encuentra cada proceso industrial que se desee controlar.



Figura 31. Portada de la interfaz.
Elaboración Propia

En la plantilla “Menú” de la Figura 32 se observa las diferentes opciones de procesos que el operador puede elegir para controlar, ya sea la planta de nivel con sensor ultrasónico, la planta de nivel por presión hidrostática o encender la unidad central de presión.



Figura 32. Menú.
Elaboración Propia

b) Plantilla de la planta de nivel por un sensor ultrasónico

En la Figura 33 se muestra la plantilla implementada para la planta de nivel por sensor ultrasónico, donde se observa varias herramientas de visualización y de maniobra que serán usados en el funcionamiento del HMI junto con el proceso.

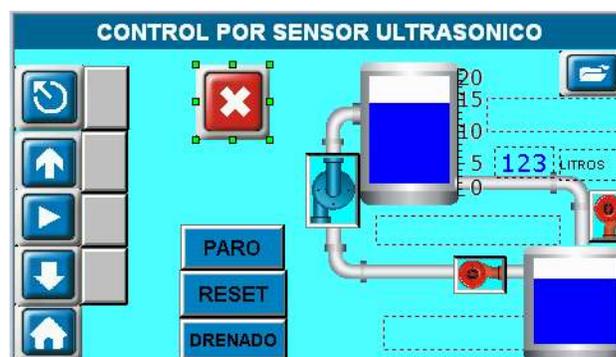
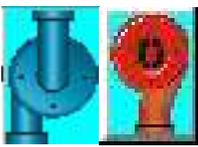
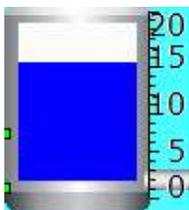


Figura 33. Plantilla HMI para la planta de nivel por sensor ultrasónico.
Elaboración Propia

En la Tabla 23 se describe cada una de las herramientas de visualización y de maniobra que actúan sobre la planta de nivel con sensor ultrasónico.

Tabla 23.

Elementos de la plantilla de la planta de nivel por sensor ultrasónico.

Botón	Aplicación
	Energizará el tablero de control que posee la planta industrial.
	Estos pulsadores permiten llenar el tanque de control hasta el nivel seleccionado.
	Este botón permite preparar el proceso para un cambio de nivel.
	Este botón permite el drenado del líquido del tanque de control hacia el de reserva
	Este botón detendrá el proceso sin importar el nivel donde se encuentre el líquido.
	Este botón permite inhabilitar todo el proceso.
	Son luces indicadoras que muestran la activación de cada componente.
	Es un indicador de nivel que representa la cantidad de líquido en el tanque de control.

Elaboración Propia

c) Plantilla de la planta de nivel por presión hidrostática

En la Figura 34 se muestra la plantilla implementada para la planta de nivel por presión hidrostática, donde se observa varias herramientas de visualización y de maniobra que serán usados en el funcionamiento del HMI junto con el proceso.

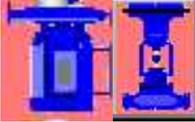


Figura 34. Plantilla HMI para la planta de nivel por presión hidrostática.
Elaboración Propia

En la Tabla 24 se describe cada una de las herramientas de visualización y de maniobra que actúan sobre la planta de nivel por presión hidrostática.

Tabla 24.

Elementos de la plantilla de la planta de nivel por presión hidrostática.

Elemento	Descripción
	Este botón permite energizar el tablero de control que posee la planta industrial.
 	Estos pulsadores permiten llenar el tanque de control a un nivel seleccionado, además funcionan cuando la planta se encuentra en modo automático.
	
 	Estos pulsadores permiten vaciar y llenar el tanque de control cuando se encuentre en modo manual.
	Son indicadores que muestran la activación de cada componente como bomba y electroválvula
	Es un indicador de nivel que representa la cantidad de líquido en el tanque de control.

Elaboración Propia

d) Plantilla de la unidad central de presión

Para el funcionamiento de la planta de nivel por presión hidrostática se utiliza una unidad central de presión, el mismo que actúa cuando se requiere descargar el líquido del tanque de control hacia el de reserva.

En la Figura 35 Figura 33 se muestra la plantilla implementada para la unidad central de presión, donde se observa varias herramientas de visualización y de maniobra que serán usados en el funcionamiento del HMI junto con el proceso.



Figura 35. Plantilla HMI para la unidad central de presión.
Elaboración Propia.

En la Tabla 25 se describe cada una de las herramientas de visualización y de maniobra que actúan sobre la unidad central de presión.

Tabla 25.

Elementos de la plantilla de la unidad central de presión.

Elemento	Descripción
	Este botón activa y desactiva la unidad de presión.
	Es un texto de aviso del estado de la unidad de presión
	Permite regresar al menú

Elaboración Propia

3.4 Implementación de un sistema de comunicación entre un PLC y LOGO con Display LOGO TDE

a) Comunicación entre LOGO con Display LOGO TDE

En esta comunicación el LOGO V8 se conectará con un Display LOGO TDE, los dos dispositivos se encargarán de controlar la unidad central de presión como se detalla en la Tabla 26.

En la Figura 36 se observa el modo de conexión mediante vía ethernet del LOGO V8 y el Display LOGO TDE, la configuración y enlace de comunicación de estos dos dispositivos se realiza en el software LOGO Soft Comfort.

(El procedimiento detallado de la programación para la comunicación de ambos dispositivos se describe en el Anexo A).

Tabla 26.

Dispositivo industrial con interfaz gráfica.

Dispositivos industriales	Denominación	Controla	Interfaz gráfica
LOGO V8 (192.168.0.4)	Esclavo_3	Unidad central de presión	Display LOGO TDE

Elaboración Propia

El Display LOGO TDE muestra el contenido de pantalla del LOGO V8 y con teclas de función F1, F2, F3 y F4 permiten la activación de las entradas del LOGO, por otra parte, esta pantalla trabaja con una fuente de alimentación externa de 12 (V_{DC}) o 24 (V_{AC/DC}).

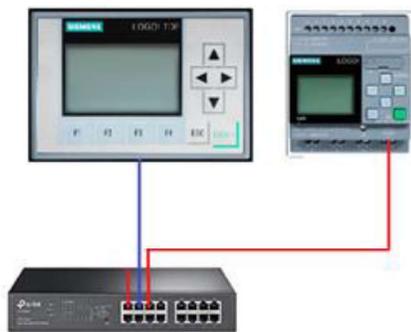


Figura 36. LOGO y Display LOGO TDE
Elaboración Propia

Para la comunicación de estos dispositivos se crea una red como se observa en la Figura 38, la dirección IP se establece dentro del software o en los ajustes del Display LOGO TDE como se observa en la Figura 37.

El Display LOGO TDE cuenta con dos puertos Ethernet, eso con el fin de permitir la comunicación con un LOGO y al mismo tiempo permitir la programación desde el software.



Figura 37. Selección de dispositivos.
Elaboración Propia

Se asigna al LOGO la dirección 192.168.0.4 y al Display LOGO TDE otra dirección 192.168.0.8 como se muestra en la Figura 38.

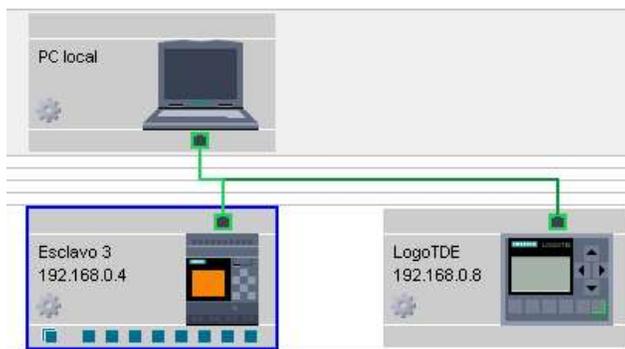


Figura 38. Red de LOGO y Display LOGO TDE.
Elaboración Propia

b) Comunicación entre PLC y LOGO con Display LOGO TDE

Para la comunicación entre el PLC y LOGO es de la misma forma como se explicó en la sección Conexión PLC Maestro con PLC Esclavo_3.

En la Figura 39 se observa la comunicación entre el PLC Maestro y el LOGO Esclavo conectado además con un Display LOGO TDE, los mismos dispositivos que permiten controlar de manera física y remota un proceso industrial.

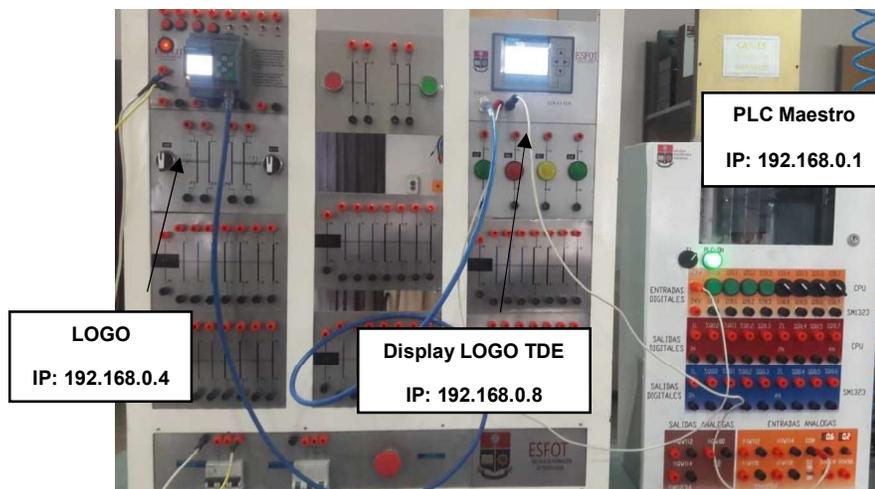


Figura 39. Display LOGO TDE con PLC y LOGO
Elaboración Propia

A continuación, se detalla cada una de las variables utilizadas en el PLC Maestro con LOGO Esclavo_3.

Tabla 27.

Variables de la comunicación entre LOGO's y un PLC.

Dispositivos	Dirección	Aplicación
PLC Maestro	10.7	Al activar esta entrada será enviada hacia el LOGO y así activará la salida Q1.
	10.0	Al activar esta entrada será enviada hacia el LOGO y así desactivará la salida Q1 como se muestra en la Figura 40.
LOGO Esclavo_3	I1	Al presionar se activará la salida Q1 del LOGO Esclavo.
	I2	Al presionar se desactivará la salida Q1 del LOGO Esclavo.
	I3	Al presionar se activará una marca, mediante una salida de red M500.0 del PLC Maestro, esto representará un Paro general de todos los procesos.
Display LOGO TDE	I1	Al presionar se activará la salida Q1 del LOGO Esclavo.
	I2	Al presionar se desactivará la salida Q1 del LOGO Esclavo.
	I3	Al presionar se activará una marca, mediante una salida de red M500.0 del PLC Maestro, esto representará un Paro general de todos los procesos.

Elaboración Propia

En la Figura 40 se presenta un algoritmo de control básico con bloques de red enlazados remotamente con el PLC Maestro y con el Display LOGO DTE para encender y apagar salidas de LOGO V8.

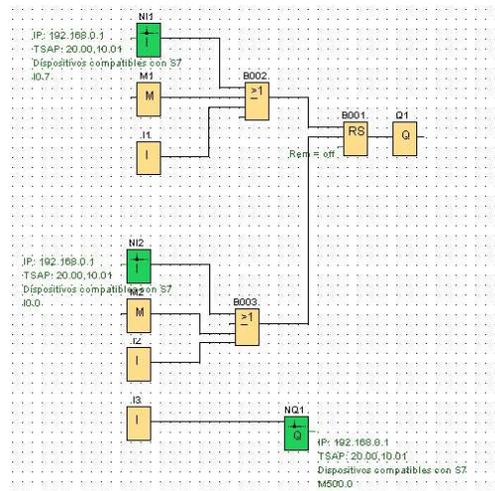


Figura 40. Algoritmo de control de la comunicación PLC-LOGO con Display LOGO TDE.
Elaboración Propia

3.5 Implementación de un sistema SCADA

En la Figura 41 se observa todos los componentes industriales comunicados mediante vía ethernet formando un SCADA en el Laboratorio de Tecnología Industrial.



Figura 41. Dispositivos industriales formando un SCADA.
Fuente: Propia

Los componentes y dispositivos industriales para el SCADA se detallan en la Tabla 28.

Tabla 28.
Elementos del sistema SCADA

No	Componente	Descripción
1	Maestro	PLC_1
2	Esclavo_2	PLC_3
3	Esclavo_1	PLC_2
4	Esclavo_3	LOGO V8
5	Display LOGO TDE	Interfaz gráfica
6	HMI_1 Delta	Interfaz gráfica
7	HMI_2 Delta	Interfaz gráfica
8	Planta de nivel por sensor ultrasónico	Planta industrial
9	Planta de nivel por presión hidrostática.	Planta industrial
10	Unidad central de presión	Planta industrial

Elaboración Propia.

El diseño e implementación de un SCADA se lo desarrolla en base a varios dispositivos industriales, los mismos que son programados para adaptarse al funcionamiento de las plantas industriales tal y como se mostró con anterioridad, se utiliza las dos plantas de control de nivel y una unidad central de presión, cada una controlada por un PLC Esclavo, monitoreada y supervisada por una Interfaz gráfica, además sobre todo este sistema se encuentra un PLC Maestro el cual es el encargado de controlar cada uno de los PLC's Esclavos mediante la comunicación vía Ethernet. El sistema SCADA cuenta con los siguientes elementos descritos en la Tabla 29.

Tabla 29.
Función de cada Esclavo en el sistema SCADA.

SCADA				
Dispositivo principal		Gobierna	Contiene	Comanda
Maestro (PLC_1)	→	Esclavo_1 (PLC_2)	HMI_1	Planta de nivel por sensor ultrasónico.
	→	Esclavo_2 (PLC_3)	HMI_2	Planta de nivel por presión hidrostática.
	→	Esclavo_3 (LOGO V8)	Display LOGO TDE	Unidad central de presión.

Elaboración Propia

En la Figura 42 se observa la conexión entre el PLC Maestro hacia el LOGO V8 y el Display LOGO TDE mediante la comunicación vía ethernet.



Figura 42. PLC Maestro gobernando LOGO V8 con Display LOGO TDE.
Elaboración Propia

En la Figura 43 se observa la planta de nivel por presión hidrostática con su respectiva unidad central de presión, los mismos que serán controlados por un PLC Esclavo y un LOGO V8 para su funcionamiento.



Figura 43. Planta de control por presión con unidad central de presión.
Elaboración Propia

En la Figura 44 se observa la planta de nivel por sensor ultrasónico que será controlada por un PLC Esclavo y además accionada por un PLC Maestro.



Figura 44. Planta de control de nivel PLC Esclavo_1.
Elaboración Propia

La programación del SCADA se lo realiza en el software TIA Portal de Siemens, donde se genera un árbol de redes como se observa en la Figura 45, además las redes de comunicación de todos los dispositivos industriales e interfaces gráficas se observa en la Figura 46.

Cada algoritmo de control es implementado con la topología Maestro-Eslavo, donde el PLC principal controla y supervisa las acciones de los PLC's secundarios.

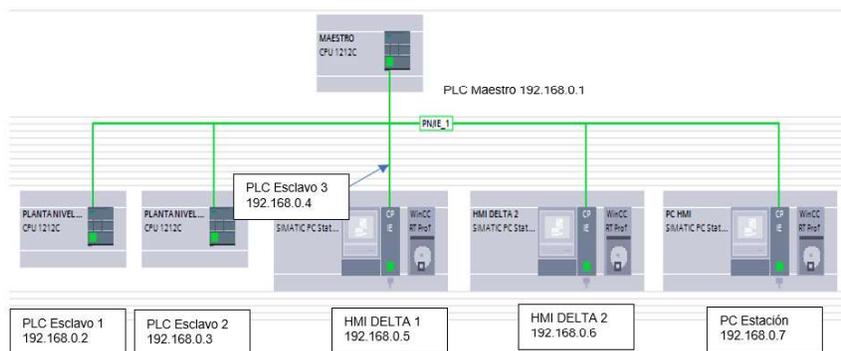
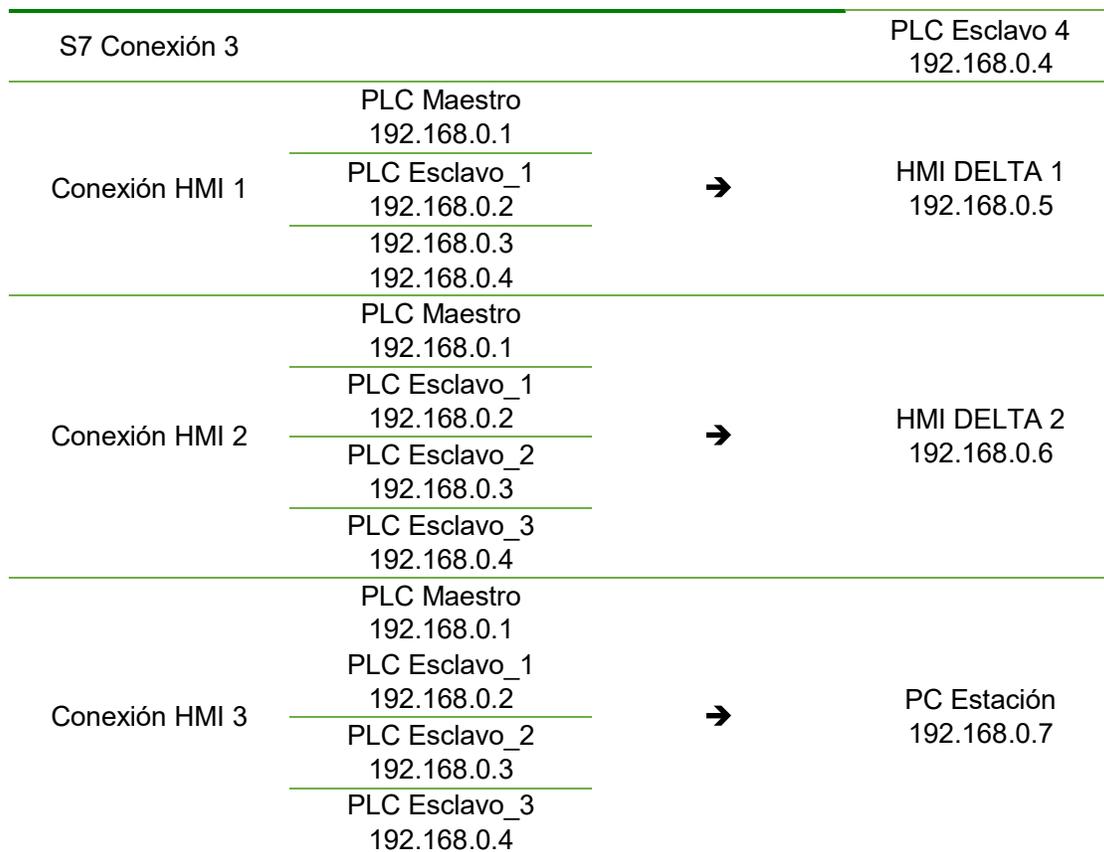


Figura 45. Vista de redes en TIA Portal.
Elaboración Propia

Para la implementación de un sistema SCADA se realizó dos tipos de conexiones, la conexión S7 y conexión HMI que se muestra en la Tabla 30.

Tabla 30.
Conexiones S7 y HMI

Conexión	Origen	Dirección de comunicación	Destino
S7 Conexión 1	PLC Maestro 192.168.0.1	→	PLC Esclavo_1 192.168.0.2
S7 Conexión 2			PLC Esclavo_2 192.168.0.3



Elaboración Propia

En la Figura 46 se muestra todas las conexiones realizadas con todos los dispositivos industriales en una sola red y con la topología Maestro-Esclavo.

Vista general de la red	Conexiones	Relaciones	Comunicación E/S	VPN	TeleControl	
Nombre de conexión local	Punto final local	ID local (...)	ID del i...	Interlocutor	Tipo de conexión	
S7_Conexión_3	MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	102	100	PLANTA NIVEL POR PRESION [...]	Conexión S7	
S7_Conexión_2	MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	101	100	PLANTA NIVEL ULTRASOONIC...	Conexión S7	
S7_Conexión_1	MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	100		logo	Conexión S7	
S7_Conexión_3	PLANTA NIVEL POR PRESION [...]	100	102	MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	Conexión S7	
S7_Conexión_2	PLANTA NIVEL ULTRASOONIC...	100	101	MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	Conexión S7	
HMI_Conexión_1	PC HMI \ HMI_RT_1	1		MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	Conexión HMI	
HMI_Conexión_6	HMI DELTA 1 \ HMI_RT_2	3		PLANTA NIVEL ULTRASOONIC...	Conexión HMI	
HMI_Conexión_5	HMI DELTA 1 \ HMI_RT_2	2		PLANTA NIVEL POR PRESION [...]	Conexión HMI	
HMI_Conexión_4	HMI DELTA 1 \ HMI_RT_2	1		MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	Conexión HMI	
HMI_Conexión_2	PC HMI \ HMI_RT_1	2		PLANTA NIVEL ULTRASOONIC...	Conexión HMI	
HMI_Conexión_3	PC HMI \ HMI_RT_1	3		PLANTA NIVEL POR PRESION [...]	Conexión HMI	
HMI_Conexión_7	HMI DELTA 2 \ HMI_RT_3	1		MAESTRO [CPU 1212C AC/DC/...	Conexión HMI	
HMI_Conexión_8	HMI DELTA 2 \ HMI_RT_3	2		PLANTA NIVEL POR PRESION [...]	Conexión HMI	
HMI_Conexión_9	HMI DELTA 2 \ HMI_RT_3	3		PLANTA NIVEL ULTRASOONIC...	Conexión HMI	

Figura 46. Conexiones creadas en TIA PORTAL
Elaboración Propia

El presente proyecto contiene varios dispositivos industriales enlazados entre sí por comunicación Ethernet, además contiene los tres niveles de la pirámide de automatización que son el nivel de campo, de control y de supervisión, dando como resultado el SCADA que se observa en la Figura 47.

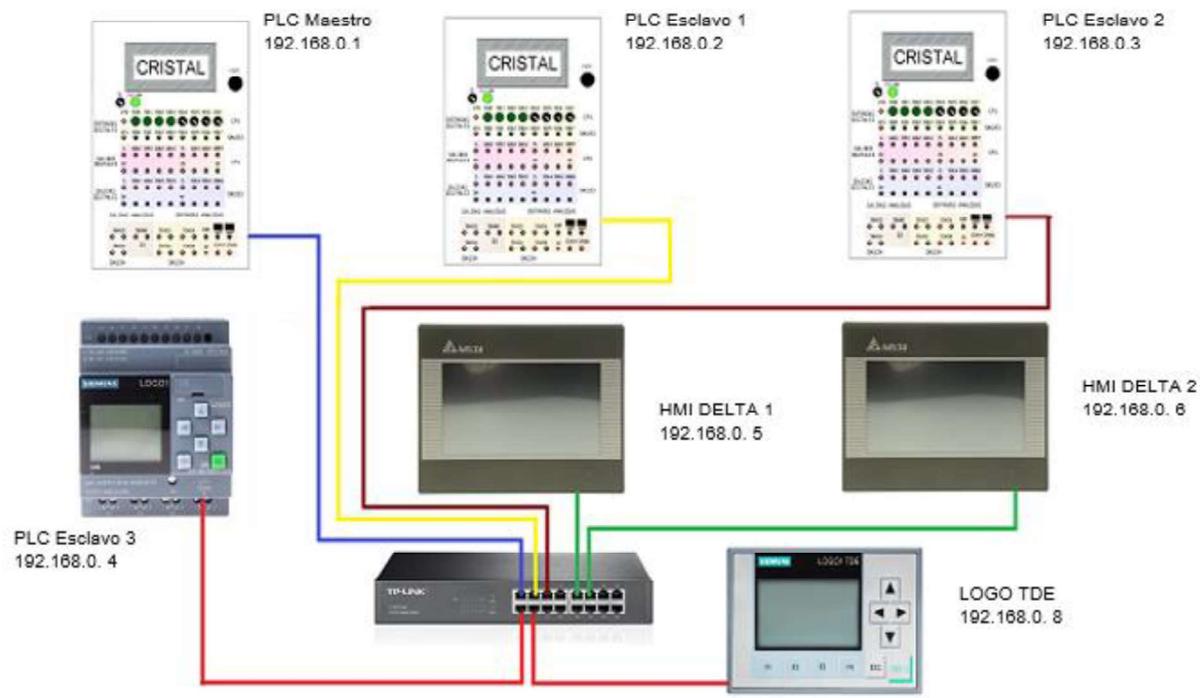


Figura 47. Dispositivos industriales conectados al sistema SCADA.
Elaboración Propia

3.6 Pruebas y Análisis de resultados

a) Prueba 1. Comprobación del envío de información desde la PC hacia los Dispositivos Industriales.

Es necesario conocer los requisitos que debe tener el computador antes del envío de información.

- Se asigna al computador una dirección IP única, la misma que no se deberá repetir en ningún otro dispositivo.
- Se comprueba la instalación de todos los software requeridos para la programación, estos deben ser: TIA Portal V15, LOGO Soft Comfort y DOPSoft.
- Se asigna otra dirección IP a cada dispositivo industrial.
- Se comprueba el envío de información desde el computador hacia el dispositivo industrial.
- Finalmente se comprueba el enlace de comunicación mediante el modo online que proporciona cada software de programación.

En la Tabla 31 se describen las pruebas de envío de información de un computador hacia los dispositivos industriales fueron correctas, se puede determinar que el envío de información mediante el cable de red Ethernet permite la transmisión de información de un punto a otro, siempre que se mantenga una dirección IP diferente.

Tabla 31.

Pruebas de envío de información desde el computador hacia los Dispositivos industriales.

Verificación de los ordenadores del Laboratorio		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
Asignación de una propia dirección IP en cada equipo y dispositivo.	✓	
Software de programación de cada dispositivo industrial (PLC, LOGO, HMI) instalados en el computador.	✓	
Transferencia de información (algoritmos de programación) del ordenador a cada dispositivo industrial.	✓	
Pruebas en modo online tanto en el software TIA Portal como LOGO Soft vía Ethernet hacia dispositivos industriales físicos.	✓	

Elaboración Propia.

b) Prueba 2. Verificación del estado del Switch Ethernet proporcionado por el Laboratorio de Tecnología Industrial.

En la Figura 48 se observa el Switch Ethernet proporcionado por el Laboratorio de Tecnología Industrial estaba en desuso por un tiempo considerable entonces se verificó el estado y funcionamiento mediante los siguientes pasos:

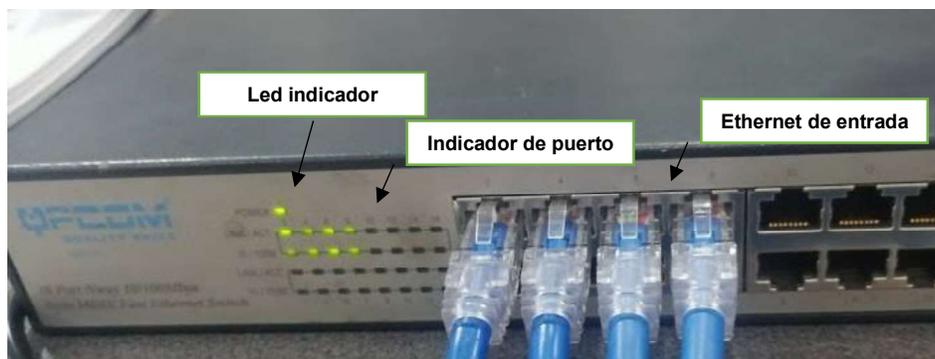


Figura 48. Pruebas en switch ethernet
Elaboración Propia

- Se conectó el Switch Ethernet a 127 (V_{AC}) se verificó el encendido de un led indicador.
- El Switch Ethernet se lo ubicó intermedio del cable de red, entre el computador y el dispositivo industrial.
- Se verificó la activación de cada puerto mediante el encendido de cada led del Switch Ethernet.
- Se conectó varios dispositivos con direcciones IP diferentes, se envía información a cada uno de ellos y se verificó cada puerto de red del Switch Ethernet.

- Se utiliza el símbolo del sistema (cmd.) para verificación de enlace de comunicación

El símbolo del sistema de Windows (cmd.) permite ingresar comandos como son “ping” donde se muestra en una ventana el envío de varios paquetes de datos a las direcciones IP correspondientes, muestra la velocidad en (ms) y los posibles fallos encontrados, si todo está correcto permanece como una conexión estable.

Al ingresar un nuevo comando como “ip config” del mismo modo del paso anterior se mostrará un resumen de los aspectos más importantes de las configuraciones de red del equipo tales como: la identidad exacta de la red y a donde está conectada, aparece tanto el IP como la máscara de subred, la puerta de enlace y DNS usadas, si en la comprobación se muestra la ausencia de direcciones de red significa que algo no funciona adecuadamente.

En la Tabla 32 se observan las pruebas realizadas al Switch Ethernet proporcionado por el Laboratorio de Tecnología Industrial obteniendo un resultado óptimo en su funcionamiento, se concreta que todos los puertos de red envían y reciben información, además con la realización de pruebas en el símbolo del sistema (cmd) se conoce la direcciones IP conectadas al dispositivo.

Tabla 32.

Verificación de estado y funcionamiento del switch ethernet.

Comprobación Switch Ethernet		
Estado	Correcto	Incorrecto
Verificación de encendido del Switch Ethernet mediante led.	✓	
Activación de cada puerto de red del Switch Ethernet mediante led de aviso.	✓	
Comando de hacer “ping” en Windows (cmd).	✓	
Comando de “ip config” en Windows (cmd).	✓	
Verificación de los 16 puertos de red del Switch Ethernet.	✓	
Envío de información a dispositivos con distintas IP's conectadas en cada puerto de red del Switch Ethernet.	✓	

Elaboración Propia.

c) Prueba 3. Verificación de placas-soporte de las pantallas

En la Figura 49 se observa una de las placas construidas para el soporte de las interfaces gráficas que constan de borneras y un puerto de red serán sometidas a pruebas de continuidad y envío y recepción de información.



Figura 49. Pruebas en placas-soporte
Elaboración Propia

Se requiere determinar que en los bornes exista 24 (V_{DC}) hasta las entradas de alimentación de las interfaces gráficas, además la transmisión de información desde el puerto de red, de las pantallas hasta el puerto de red de las placas.

En la Tabla 33 las pruebas realizadas a cada placa-soporte no se encontró ningún error, además no existe perdidas de voltaje y tampoco de comunicación.

Tabla 33.

Pruebas en las placas-soporte de las interfaces gráficas

Placas de soporte de las pantallas		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
Borneras con polaridad positiva y negativa.	✓	
Borneras de red en cada placa.	✓	
Continuidad desde las borneras hasta la entrada de alimentación de las pantallas.	✓	
Existencia de 24 (V_{DC})	✓	

Elaboración Propia.

d) Prueba 4. Comunicación entre PLC's Siemens S7 1200.

Se conecta dos PLC's S7 1200 mediante cable de red al Switch Ethernet como se observa en la Figura 50, desde el Software TIA Portal se realizan todas las configuraciones para enlazar los dos PLC's a una red de comunicación y mediante bloques PUT-GET se envía información desde las entradas del PLC_1 hacia las salidas del PLC_2.

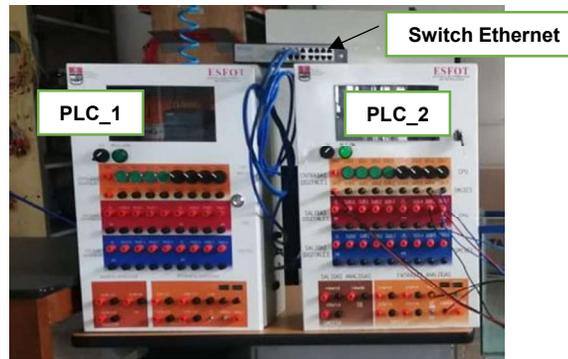


Figura 50. Pruebas entre PLC's S7 1200
Elaboración Propia

Se comunica los PLC's para crear la topología Maestro-Esclavo, el PLC Maestro determina acciones que el PLC Esclavo ejecutará, ya que el PLC Esclavo está encargado de controlar una planta industrial.

En la Tabla 34 se muestra el cumplimiento de todas las condiciones para crear la topología Maestro-Esclavo y a la vez se implementa una red de comunicación que consta de un PLC Maestro con varios PLC's Esclavos, para añadir más PLC's Esclavos se deben seguir las mismas condiciones detalladas en la tabla.

Tabla 34.

Requerimientos necesarios para comunicación entre PLC's.

Requisitos necesarios para la comunicación entre PLC's		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
Software TIA Portal en su última versión.	✓	
Direcciones IP diferentes en cada PLC.	✓	
Switch Ethernet intermediario entre los dos PLC's.	✓	
Presencia de entradas y salidas tanto digitales como analógicas (PLC S7 1200).	✓	
Bloques de comunicación PUT-GET (software TIA Portal).	✓	
Activación de las protecciones PUT-GET para interlocutor remoto (software TIA Portal).	✓	
Presencia de clock 10Hz (software TIA Portal).	✓	
Diseño de un reloj de 10Hz por timers (software TIA Portal).	✓	

Envío de un algoritmo de control desde el computador hacia el PLC por medio del Switch Ethernet como intermediario. ✓

Envío de información desde el PLC_1 hacia las salidas de PLC. ✓

Elaboración Propia.

e) Prueba 5. Comunicación entre PLC S7 1200 Siemens con LOGO V8 Siemens.

Se conecta dos dispositivos industriales, un PLC S7 1200 y un LOGO V8 mediante cable de red al Switch Ethernet como se observa en la Figura 51, desde el Software TIA Portal se realizan todas las configuraciones para crear una subred de comunicación hacia el LOGO V8 y en el software LOGO Soft Comfort se utilizan entradas y salidas de red para que la información se encuentre y se transmita bidireccional, finalmente se envía información desde las entradas del PLC hacia las salidas del LOGO V8.



Figura 51. Pruebas entre PLC y LOGO
Elaboración Propia

Se requiere la comunicación entre el PLC-LOGO para la implementación de una topología Maestro-Esclavo, en donde el PLC es el Maestro y el LOGO V8 el Esclavo, con el fin controlar todo el proceso industrial cargado en el LOGO V8 desde las entradas físicas o remotas del PLC.

En la Tabla 35 se muestra el cumplimiento de todos los requerimientos para comunicar un PLC denominado Maestro con un LOGO denominado Esclavo, con el fin de controlar desde las entradas físicas y remotas del PLC las salidas del LOGO, debido a que el LOGO se encuentra manejando un proceso industrial.

Tabla 35.

Requerimientos necesarios para la comunicación PLC-LOGO Siemens.

Requisitos necesarios para la comunicación entre PLC-LOGO		
Prueba	Correcto	Incorrecto
LOGO y PLC con diferente direcciones IP.	✓	

Switch Ethernet intermediario entre el LOGO y el PLC.	✓
Software LOGO Soft Comfort V8.	✓
Software TIA Portal en su última versión.	✓
Creación de la subred de comunicación para el LOGO (software TIA Portal).	✓
Bloques de comunicación PUT-GET (software TIA Portal).	✓
Activación de las protecciones PUT-GET para interlocutor remoto (software TIA Portal).	✓
Activación de clock 10Hz (software TIA Portal)	✓
Creación de entradas y salidas de red (software LOGO Soft Comfort).	✓
Envío de información desde el PLC hacia las salidas de LOGO.	✓

Elaboración Propia.

f) Prueba 6. Comunicación PLCS7 1200 Siemens con HMI DELTA

Se conecta dos dispositivos industriales, un PLC S7 1200 y un HMI DELTA mediante cable de red al Switch Ethernet como se observa en la Figura 52, desde el Software TIA Portal se realizan todas las configuraciones para enlazar un PLC con un HMI en una red de comunicación HMI, de igual manera se configura el software DOPSoft para permitir la transmisión de información desde el HMI al PLC.

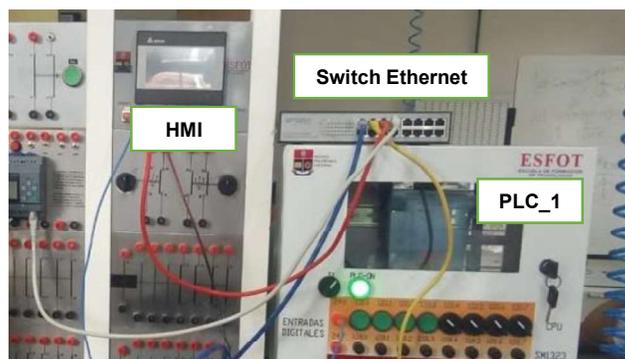


Figura 52. Pruebas entre PLC y HMI
Elaboración Propia

Se requiere la comunicación entre el PLC-HMI por el hecho que el PLC comanda un proceso industrial, entonces el proceso industrial es supervisado y controla desde un HMI y

de manera física en el PLC, los dos dispositivos pueden encontrarse alejados a una distancia considerable siempre que se encuentren conectados a un mismo punto de red Ethernet.

En la Tabla 36 se muestra el cumplimiento de todos los requerimientos para comunicar un PLC Siemens con un HMI de la marca DELTA, se comprueba que la marca Siemens es compatible con la marca DELTA mediante la transferencia de información desde el HMI hacia el PLC o viceversa.

Tabla 36.

Comunicación PLC S7 1200 Siemens con HMI DELTA

Preparación del HMI para la comunicación vía Ethernet		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
PLC y HMI con diferente direcciones IP.	✓	
Switch Ethernet intermedio entre el PLC y el HMI.	✓	
Software DOPSoft de programación para el HMI.	✓	
Software TIA Portal en su última versión.	✓	
Creación de una red de comunicación para HMI (software TIA Portal).	✓	
Configuración del Software DOPSoft para la recibir información de la dirección IP del PLC enlazado.	✓	
Comunicación del PLC siemens con HMI DELTA mediante un algoritmo de control.	✓	
Accionamiento de las salidas del PLC mediante la interacción en la interfaz del HMI.	✓	
Representación y lectura del proceso industrial en tiempo real mostrada en una imagen en la interfaz HMI.	✓	

Elaboración Propia.

g) Prueba 7. Comunicación del LOGO V8 Siemens con un Display LOGO TDE Siemens

Se conecta dos dispositivos industriales, un LOGO V8 y un Display LOGO TDE mediante cable de red al Switch Ethernet, desde el Software LOGO Soft Comfort se realizan todas las configuraciones para establecer una dirección IP y a la creación de un algoritmo de control para ser cargado en el LOGO V8, el mismo que es controlado por el Display LOGO TDE con tan solo escribir la dirección IP previamente establecida en el LOGO V8.

Se requiere la conectar el LOGO V8 y el Display LOGO TDE en la misma red de comunicación para conocer el funcionamiento de estos dos dispositivos sobre un proceso

industrial, la característica principal del Display LOGO TDE es reflejar el mismo entorno de la pantalla del LOGO V8 y ejecutar las mismas acciones desde otro punto de trabajo.

En la Tabla 37 se muestra el cumplimiento de todos los requerimientos para comunicar un Display LOGO TDE con un LOGO V8 donde se determina que desde el Display LOGO TDE comanda LOGO's V8 mediante la escritura de la dirección IP determinados a cada dispositivo.

Tabla 37.

Comunicación entre un Display LOGO TDE con un LOGO V8 Siemens.

Comprobación del LOGO TDE		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
Display LOGO TDE y LOGO V8 con diferente direcciones IP.	✓	
Switch Ethernet intermedio entre el Display LOGO TDE y LOGO V8.	✓	
Software LOGO Soft Confort V8.	✓	
Carga de un algoritmo de control al LOGO V8.	✓	
Selección de una dirección IP en el Display LOGO TDE para controlar un LOGO V8.	✓	
Ejecución de acciones tanto en el Display LOGO TDE como en el LOGO V8.	✓	
Comunicación entre un Display LOGO TDE y dos LOGO's V8 por escritura de direcciones IP.	✓	
Prueba de funcionamiento utilizando dos LOGO's V8 comandado por el Display LOGO TDE.	✓	

Elaboración Propia.

h) Prueba 8. Comprobar el funcionamiento de toda la red como un SCADA.

Se conecta todos los dispositivos industriales mencionados con anterioridad a una sola red de comunicación, la red consta de un PLC Maestro con la respectiva HMI, PLC's y LOGO's denominados Esclavos con la respectiva interfaz gráfica HMI y Display LOGO TDE, estos dispositivos industriales se encargan de controlar y supervisar plantas industriales conectados a ellos.

Se requiere controlar varios procesos industriales conectados a una misma red de comunicación Ethernet y comandados desde varios puntos de trabajo, con la ayuda de varios dispositivos industriales, dando como resultado una simulación de un SCADA.

En la Tabla 38 se muestra el cumplimiento de todos los requerimientos para la implementación de un SCADA, para el funcionamiento correcto de todo el sistema los dispositivos deben mantener una dirección IP única y deben encontrarse conectados a la misma red de comunicación Ethernet.

Tabla 38.

Pruebas en el sistema SCADA.

Comprobación de toda la red SCADA		
Pruebas	Correcto	Incorrecto
Direcciones IP distintas en cada dispositivo industrial.	✓	
Conexión de todos los dispositivos industriales a la misma red de comunicación Ethernet.	✓	
Envío de algoritmos de control a cada dispositivo industrial.	✓	
Pruebas de envío de información desde PLC Maestro al resto de PLC´s Esclavos.	✓	
Pruebas de envío de información desde PLC Maestro al LOGO V8 denominado como Esclavo.	✓	
Carga de imágenes en las interfaces gráficas.	✓	
Accionamiento por las entradas físicas del PLC Maestro hacia las salidas de los PLC´s Esclavos.	✓	
Accionamiento por las entradas físicas del PLC Maestro hacia las salidas del LOGO V8 denominado Esclavo.	✓	
Monitoreo del proceso industrial mediante las pantallas HMI.	✓	
Ejecución del proceso industrial mediante la pantalla táctil del HMI.	✓	
Accionamiento del botón de emergencia desde todos los dispositivos.	✓	

Elaboración Propia.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se implementó un sistema SCADA con comunicación “Industrial Ethernet” en el laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos de la EPN en un lapso 3 meses, implementando una comunicación industrial a través de la tecnología Ethernet enlazando varios dispositivos a una sola red con la ayuda de un Switch Ethernet, los dispositivos que conforman el SCADA son: tres PLC's, un LOGO, dos HMI's y un Display LOGO DTE. Los PLC's controlan y supervisan dos plantas industriales de nivel, la una con sensor ultrasónico y la otra con presión hidrostática, por su parte, el LOGO controla la unidad central de presión, la cual forma parte del funcionamiento de una de las plantas.
- Se determinó que “Industrial Ethernet” no presenta limitaciones al momento de establecer una red de comunicación entre equipos Siemens, ya que estos dispositivos utilizan normalmente una comunicación Profinet.
- Se alimentó las interfaces gráficas con $24 V_{DC}$, que se obtiene de los módulos PLC's, lo que permite aprovechar los recursos del Laboratorio de Tecnología Industrial de la EPN, sin tener la necesidad de adquirir o construir fuentes externas.
- Se diseñó e implementó un sistema de comunicación entre PLC's s7 1200 y un LOGO V8 de la marca Siemens, donde por medio de bloques de comunicación PUT y GET se enlazó en red los PLC's, por otra parte, los bloques de red permiten enlazar el LOGO al PLC, para establecer el envío y recepción de datos de forma adecuada y eficiente.
- Se implementó un sistema de comunicación entre PLC's de la marca Siemens con HMI's de la marca DELTA donde se determinó que Siemens es compatible con diversas marcas comerciales de HMI's, lo que permite mayor adaptación al momento de implementar una red industrial.
- Se determinó que se puede realizar una red industrial entre un PLC y un LOGO de la marca Siemens, a pesar de que no existan librerías de comunicación entre ellos, lo que permite expandir el número de dispositivos en red dentro del laboratorio de Tecnología Industrial.
- Con el diseño de un sistema SCADA se ha iniciado una base para implementar y mejorar una red de comunicaciones dentro del laboratorio de Tecnología Industrial basado en “Industrial Ethernet”, el cual se aprecia ser adaptable a expansiones futuras.

- Al desarrollar un SCADA permite a los estudiantes de las carreras de electromecánica y telecomunicaciones adquirir y fortalecer conocimientos de una red industrial basada en “Industrial Ethernet”.
- Al desarrollar cada una de las pruebas de funcionamiento se determinó que la comunicación entre todos los dispositivos se desarrolla de forma adecuada, ya que no presentó errores de comunicación ni limitaciones al momento del envío y recepción de datos.

4.2 Recomendaciones

- Realizar un HMI amigable para el operador, donde la información del proceso sea clara y la navegación de la interfaz sea sencilla.
- Se recomiendan usar los paneles “touchscreen” que por sus características y estructura son ideales para plantas industriales.
- Es necesario realizar una expansión de puntos de red dentro del laboratorio de Tecnología Industrial debido a que se ve la necesidad de conectar más de dos dispositivos de control en una mesa de trabajo.
- Activar las marcas de ciclo, las cuales proveen de trenes de pulsos, lo que evita utilizar temporizadores, al momento de configurar el estado REQ, de los bloques PUT y GET.
- Habilitar la opción de comunicación PUT/GET para el intercambio de información entre PLC's, esto se explica en los manuales que se adjunta en anexos.
- Verificar las direcciones IP al momento de comunicar la pantalla HMI y el PLC, ya que son de diferente marca comercial, a su vez se debe activar la casilla “Permitir comunicación PUT/GET del interlocutor remoto”
- Utilizar un máximo de 3 conexiones de comunicación HMI y 8 conexiones para comunicación S7, esto al momento de crear la red Maestro -Esclavo.
- Usar bloques de red con el mismo tipo y variable de datos para la comunicación PLC-LOGO como se explica en los manuales.
- Utilizar de forma correcta las pantallas HMI y evitar usar puntas metálicas o limpiar las pantallas con una esponja que puedan rayar la superficie.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Martínez, «Redes,» de *Comunicaciones Industriales*, Barcelona, 2016, p. 255.
- [2] A. Rodríguez, *Sistema SCADA*, Mexico: Alfaomega, 2018.
- [3] B. Jiménez, *CIRCUITOS DE LOGICA PROGRAMABLE*, Cataluña: UNIVERSIDAD DE MURCIA, 2016.
- [4] G. Lledó, *Diseño, Implementación y Experimentación de Escenarios de Manipulación Inteligentes para Aplicaciones de Ensamblado y Desensamblado Automático*, Medina: Ministerio de Educación y Ciencia. Investigador Responsable: Fernando Torres, 2016.
- [5] H. Torres, «Comunicación entre dos CPU's,» Departamento de Electricidad-Electrónica del I.E.S. Himilce, Linares, 2016.
- [6] V. Guerrero, *Comunicaciones industriales*, marcombo, 2017.
- [7] T. &. Informática, «Tecnología & Informática, 2018,» 2018. [En línea].
- [8] B. Wright, *Practical SCADA for Industry*, IDC Techonologies, 2015.
- [9] C. Teran, «Teoria,» 19 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.gustato.com/eprotocolos.html>.
- [10] E. Lopez, «Los sistemas SCADA en la industrial,» 2015, p. 185.
- [11] F. Gaspar, «Autracen,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.autracen.com/sistemas-scada/>.
- [12] B. Luisa, «Niveles de automatizacion,» 8 Mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.smctraining.com/webpage/indexpage/311/>. [Último acceso: 5 9 2018].
- [13] L. Julian, *Control automatico tiempo continuo y tiempo discreto*, Barcelona- España: Reveté, 2015.
- [14] C. Olivia, *Redes de comunicacion industrial*, Madrid, 2016.
- [15] S. Tello, *Sistema Automatas Industriales*, Buenos Aires, 2017.
- [16] V. Guerrero, *Autómatas programables SIEMENS Grafcet y Guía Gemma con TIA Portal*, Marcombo, 2017.
- [17] L. Pesiña, *Programacion de automatias siemens*, Mexico: Marcombo, 2018.

6. ANEXOS

ANEXO A: Manual de comunicación de los equipos.

ANEXO B: Certificado de funcionamiento del proyecto.

ANEXO C: Manual de mantenimiento de los equipos