



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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO  
PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO  
RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL  
LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE  
PROCESOS.**

**AUTORES: ERAZO BASSANTES, YARITZA PAULINA**

**NAVARRETE VILLAFUERTE, RÓMULO MAURICIO**

**DIRECTOR: ING. PRUNA PANCHI, EDWIN PATRICIO**

**LATACUNGA**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E  
INSTRUMENTACIÓN**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.”*** fue realizado por la señorita ***Erazo Bassantes, Yaritza Paulina*** y el señor ***Navarrete Villafuerte, Rómulo Mauricio***, el mismo que ha sido revisado en su totalidad y analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustenten públicamente.

**Latacunga, 1 de julio del 2019**

---

**Ing. Edwin Pruna Panchi**  
C.C.:0502651003



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E**  
**INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, ***Erazo Bassantes, Yaritza Paulina y Navarrete Villafuerte, Rómulo Mauricio*** declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “***Diseño e implementación de un Sistema Didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio relacionadas a Comunicaciones Industriales, en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos***” es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Latacunga, 1 de julio del 2019**

---

**Yaritza Paulina Erazo Bassantes**

C.C.: 050380227-4

---

**Rómulo Mauricio Navarrete Villafuerte**

C.C.: 180427098-9



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E**  
**INSTRUMENTACIÓN**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Erazo Bassantes, Yaritza Paulina y Navarrete Villafuerte, Rómulo Navarrete** autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación “**Diseño e implementación de un Sistema Didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio relacionadas a Comunicaciones Industriales, en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 1 de julio del 2019**

---

**Yaritza Paulina Erazo Bassantes**  
C.C.: 050380227-4

---

**Rómulo Mauricio Navarrete Villafuerte**  
C.C.: 180427098-9



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

#### DEDICATORIA

*Nunca me he rendido por el soporte y amor que me han brindado, he llegado a este momento con lágrimas y sonrisas, con apoyo y sin apoyo, con comprensión e incomprensión, he llegado aquí y no es el final, pienso seguir caminando, venciendo obstáculos y buscando ser feliz, esta meta lograda quiero dedicarles a mis padres por que han soñado tanto verme en este momento que hoy se hace realidad, lo hago con la misma dedicación con la que han cuidado de mi todos los días de mi vida y más aún en los instantes difíciles.*

*Este trabajo te ofrezco mi Julito esperando que sea una luz para que tú también puedas alcanzar tus metas estudiantiles, búscame y me encontraras, llámame y ahí estaré.*

*Mi dedicatoria está dirigida para todas aquellas personas que me apoyaron anímica y económicamente por que creyeron en mí y tenían la certeza de que lo iba a lograr, dedico a quien me dio su palabra de aliento, su buen consejo y hasta sus palabras firmes pero llenas de amor.*

*En todo este tiempo he tratado de ser feliz, unas veces lo he logrado y otras veces siento que he fracasado y ustedes me han levantado, como no reconocer con esta meta lograda a quienes me han dado en silencio su apoyo con una oración y una acción, por eso hoy quiero recompensarles públicamente como lo hará Dios a ustedes querida familia Erazo Laverde y Bassantes Espinel; distinguidos maestros de mi Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga; estimado Ing. Edwin Pruna; compañeros amigos.*

*No solamente les dedico esta meta, sino también ofrezco mi vida a Dios y a mi Virgencita Dolorosita para el bienestar de ustedes.*

*Yaritza Paulina*



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E**  
**INSTRUMENTACIÓN**

**DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado al incansable apoyo de mis padres y hermanos, sé que ha sido un largo camino de altos y bajos, de grandes oportunidades, de momentos en que todo ha colgado de un hilo, pero gracias a ellos seguimos aquí para demostrar el profesionalismo que he aprendido en el caminar por esta alma mater.*

*A los verdaderos docentes de esta universidad que demuestran sus conocimientos en las aulas y su pasión por la docencia.*

*A cada una de esas personas que por A o B motivo de la vida se han cruzado en el camino (para bien o para mal), han hecho de mi lo que hoy soy.....*

*Rómulo Mauricio Navarrete Villafuente*



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

#### AGRADECIMIENTO

*Muchas veces he pensado en tener la razón, elegí ser amable, Dios me ha enseñado que el propósito de la vida es ser feliz y entre esta felicidad que es eterna quiero comprender cuál es mi función en esta vida para poder dar más allá de lo que he recibido.*

*Me siento agradecida con Dios por haberme enviado a este mundo a cumplir su plan, me siento agradecida con mis padres por haberme recibido en este mundo y en esta etapa del olvido que tenemos desde niños me han enseñado nuevamente la presencia de Dios, gracias Mamita Paulina Bassantes Espinel por sembrar en mi los valores de honestidad, respeto, pureza y ternura; más allá de las primeras letras guardaste en silencio mis fracasos y mis triunfos, tu corazón se llenó de todas estas cosas y hoy me tienes aquí a punto de lograr una nueva meta.*

*Gracias papito Julio César Erazo Laverde por poner la luz en mi caminar con la presencia de Jesús, por guiarme, cuidarme, darme tu amor incondicional, por nunca dejarme caer, por llorar y sonreír conmigo, te siento cercano y este agradecimiento lo llevare por siempre.*



*Hermanito querido Julito te agradezco por ser mi compañía, mi inspiración, mi aliento, te agradezco por esos grandes detalles como darme tus ahorritos para estudiar, eres el mejor regalo que mis padres me pudieron dar, te amo infinitamente.*

*Gracias a mis dos angelitos guardianes que me han cuidado, Papito Leónidas y Abuelito César, sus oraciones a mi favor han llegado a Dios y las he sentido quizás en el momento en que estaba a punto de darme por vencida.*

*Gracias a mis abuelitas que con su carácter y fortaleza me han motivado para lograr mis metas personales y profesionales, a mi Mami Gordita y Abuelita Rosita*

*Agradezco a todos mis tíos, a mis primos por su cariño y apoyo, pues nunca dejare de reconocer los grandes y pequeños aportes para lograr lo que hoy tengo.*

*Gracias a todos mis maestros de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga y a mi tutor Ing. Edwin Pruna por el trabajo realizado y por la meta cumplida, a mis amigos que sin ellos mi felicidad no sería completa.*

*Gracias señor por darme la vida este tiempo, esta familia y esta profesión espero hacer de ella un estandarte de trabajo y responsabilidad.*

*Yaritza Paulina*



## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

#### AGRADECIMIENTO

*Agradezco las oportunidades y conocimientos brindados por esta noble institución, a todas esas personas que han puesto su granito de arena para que hoy se llegue a tan anhelado objetivo.*

*A mi familia, especialmente a mis padres que han dado los mejores años de sus vidas para verme realizado como profesional, espero ser motivo de una alegría en su caminar y ser su apoyo cuando lo necesiten.*

*A mis mentores, quienes han forjado en mi este pensamiento crítico, tanto filosófico como académico*

*A mis amigos que a pesar de la distancia han sabido estar presentes en las buenas y las malas.*

*A las personas que han permitido llegar a ellos con mis enseñanzas, y a quienes me han dado la oportunidad de hacerlo.*

*A mi tutor por la confianza brindada durante estos largos meses de trabajo incansable en las instalaciones del laboratorio.*

*Y porque no agradecer a las personas que han hecho este camino difícil, demostrándome que cada vez que uno cae debe levantarse más fuerte para seguir y que no hay excusas para rendirse.*

*Rómulo Mauricio Navarrete Villafuente*

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## CARÁTULA

CERTIFICACIÓN ..... i

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD ..... ii

AUTORIZACIÓN ..... iii

DEDICATORIA ..... iv

DEDICATORIA ..... vi

AGRADECIMIENTO ..... vii

AGRADECIMIENTO ..... ix

ÍNDICE DE CONTENIDOS ..... xi

ÍNDICE DE FIGURAS ..... xix

ÍNDICE DE TABLAS ..... xxvi

RESUMEN ..... xxviii

ABSTRACT ..... xxix

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema ..... 1

1.2. Antecedentes ..... 2

1.3. Justificación e importancia ..... 3

1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos .....	4
1.5. Variables de la Investigación .....	5
1.5.1. Variable Independiente.....	5
1.5.2. Variable Dependiente .....	5
1.6. Hipótesis.....	5

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1. Antecedentes Investigativos .....	6
2.2. Fundamentación teórica .....	6
2.2.1. Redes Industriales .....	6
2.2.2. La pirámide de la automatización (CIM).....	9
2.2.3. Red Ethernet .....	10
a) Introducción .....	10
b) Topologías.....	12
c) Medios de Transmisión.....	13
d) Elementos de Interconexión .....	13
2.2.4. Red Profibus DP .....	14

a)	Introducción .....	14
2.2.5.	Red Modbus .....	16
a)	Introducción .....	16
b)	Modos de Transmisión .....	18
2.2.6.	Red AS-I.....	20
a)	Introducción .....	20
b)	Componentes del Sistema.....	22
2.2.7.	Procesos Batch o por lotes .....	24
a)	Funcionamiento de producción Batch.....	25
b)	Consideraciones producción Batch.....	25
c)	Ventajas de la Producción Batch .....	26
d)	Desventajas de la Producción Batch .....	26
2.2.8.	Sistemas SCADA .....	27
a)	Elementos .....	27
2.2.9.	Autómata S7-1200 Siemens .....	30
a)	Expansión de la CPU.....	30
b)	Comunicaciones del controlador S7-1200 .....	31
c)	Módulos de Comunicación.....	32
c.1)	Módulo AS-I CM 1243-2 para S7-1200.....	32

c.2)	Módulo Profibus.....	33
c.3)	Módulo Modbus CM 1241 RS 422/485 .....	36
2.2.10.	Software TIA Portal.....	37
2.2.11.	WinCC .....	39
a)	Introducción.....	39
2.2.12.	HMI – Human Machine Interface.....	40
2.2.13.	Simulaciones 3D .....	43
2.2.14.	Advantech 4750 .....	44

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

3.1.	Descripción del sistema.....	46
3.1.1.	Red con manejo de datos digitales .....	49
3.1.2.	Red con procesos simulados.....	50
3.2.	Conexión física y configuración de topología.....	51
3.3.	Simulación de procesos secuenciales .....	53
3.3.1.	Crear un nuevo Proyecto en Factory I/O.....	54
3.3.2.	Diseño de procesos en 3D.....	54
a)	Estación de Trabajo 1: Centro de Mecanizado. ....	55
b)	Estación de Trabajo 2: Pick & Place .....	57

c)	Estación de Trabajo 3: Selector de Paquetes con Brazo Giratorio.....	60
d)	Estación de Trabajo 4: Selector de paquetes con Pusher.....	62
3.3.3.	Configuración de Driver en Factory I/O.....	64
3.3.4.	Asignación de señales al driver .....	66
3.4.	Configuración general de dispositivos .....	69
3.4.1.	Configuración de Computadores .....	69
3.4.2.	Configuración de PLC's .....	70
a)	Crear un nuevo Proyecto .....	70
b)	Agregar un nuevo dispositivos .....	72
c)	Autodetección de dispositivo .....	73
d)	Configuración de la interfaz de Ethernet .....	74
e)	Activación de marcas de ciclo y sistemas .....	75
f)	Creación de imagen de Entradas y Salidas .....	75
g)	Cargar en dispositivos .....	78
3.4.3.	Configuración de Touch Panels .....	80
3.5.	Configuraciones de red.....	82
3.5.1.	Configuración en vista de redes .....	82
3.5.2.	Red AS-Interface .....	83
a)	Configuración de esclavos AS-I.....	85



b)	Configuración de maestros AS-I .....	87
3.5.3.	Red Profibus.....	91
a)	Configuración de esclavos 1 ProfiBus .....	95
b)	Configuración de esclavos 2 ProfiBus .....	98
c)	Configuración de maestro ProfiBus .....	101
3.5.4.	Red Modbus .....	103
a)	Configuración de esclavos 1 ModBus.....	111
b)	Configuración de esclavos 2 ModBus.....	113
c)	Configuración de maestro ModBus.....	116
3.5.5.	Red Profinet .....	117
a)	Configuración de esclavos 1 ProfiNet.....	122
b)	Configuración de esclavos 2 ProfiNet.....	122
c)	Configuración de maestro ProfiNet .....	123
3.5.6.	Diagnóstico de Red .....	124
3.5.7.	Configuración HMI's .....	128
a)	Configuración HMI's Locales .....	128
b)	Configuración HMI's Remoto .....	131

## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

4.1.	Estado de la Red Ethernet Industrial .....	134
4.1.1.	Análisis Red Software.....	134
4.2.	Estado de la Red Profibus .....	137
4.2.1.	Análisis de Software .....	137
4.2.2.	Análisis de Hardware.....	140
a)	MAESTRO PROFIBUS CM 1243-5 .....	140
b)	ESCLAVO PROFIBUS CM 1242-5 .....	141
4.3.	Estado de la Red Modbus.....	143
4.3.1.	Análisis Red Software.....	143
4.3.2.	Análisis Red Hardware .....	146
a)	MAESTRO Y ESCLAVO MODBUS CM 1241 .....	146
4.4.	Estado de la Red AS-Interface .....	147
4.4.1.	Análisis de Software .....	147
4.4.2.	Análisis de Hardware.....	150
a)	MAESTRO AS-I CM 1243-2 .....	150
b)	ESCLAVO AS-I 3RK1400-1CQ00-0AA3.....	151
4.5.	Comprobación de la Hipótesis .....	152
4.6.	Alcances.....	156
4.7.	Limitaciones.....	157

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones..... 158

5.2. Recomendaciones..... 159

**REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA..... 160**

**ANEXOS..... 164**

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Control Centralizado .....	7
<b>Figura 2.</b> Control Distribuido .....	8
<b>Figura 3.</b> Pirámide CIM.....	9
<b>Figura 4.</b> Elementos Ethernet y el sistema de capas ISO. ....	14
<b>Figura 5.</b> Entorno Profibus DP .....	15
<b>Figura 6.</b> Tipos de Esclavos AS-I.....	22
<b>Figura 7.</b> Fuente de alimentación AS-I (Schneider Electric).....	24
<b>Figura 8.</b> Procesos Batch .....	25
<b>Figura 9.</b> Componentes de un sistema SCADA. ....	28
<b>Figura 10.</b> Conexiones de un RTU. ....	29
<b>Figura 11.</b> Autómata programable Siemens S7-1200. ....	30
<b>Figura 12.</b> Expansión de la CPU Marca Siemens. ....	31
<b>Figura 13.</b> Módulo AS-I CM 1243-2. ....	32
<b>Figura 14.</b> Modulo CM 1243-5. ....	34
<b>Figura 15.</b> Modulo CM 1242-5. ....	36
<b>Figura 16.</b> Módulo Modbus CM 1241 RS 422/485 .....	37
<b>Figura 17.</b> Interfaz del software TIA Portal.....	38
<b>Figura 18.</b> Volumen de prestación de servicios de WinCC .....	39
<b>Figura 19.</b> Sinóptico de una bobinadora desarrollado con WinCC.....	41
<b>Figura 20.</b> Software Factory IO.....	43
<b>Figura 21.</b> Proceso desarrollado en Factory IO. ....	44

<b>Figura 22.</b> Tarjeta Advantech 4750.....	45
<b>Figura 23.</b> Sistema Implementado .....	48
<b>Figura 24.</b> Movimiento de datos digitales en la red.....	50
<b>Figura 25.</b> Diagrama de equipos en la pirámide de automatización .....	52
<b>Figura 26.</b> Diagrama de diseño y configuración de un nuevo proceso.....	53
<b>Figura 27.</b> Menú izquierdo de la ventana inicial de Factory I/O.....	54
<b>Figura 28.</b> Ventana de nuevo proyecto.....	55
<b>Figura 29.</b> Estación de trabajo 1: Centro de Mecanizado .....	56
<b>Figura 30.</b> Estación de Trabajo 2: Pick & Place .....	58
<b>Figura 31.</b> Estación de trabajo 3: Selector de Paquetes con Brazo Giratorio .....	60
<b>Figura 32.</b> Selector de Paquetes con Pusher. ....	62
<b>Figura 33.</b> Menú Archivo de Factory I/O. ....	64
<b>Figura 34.</b> a) Configuración de driver directamente a PLC, b) Configuración de driver como simulador de sensores a través de DAQ .....	64
<b>Figura 35.</b> Selección de driver .....	65
<b>Figura 36.</b> a) Configuración de driver Siemens S7-1200/1500 b) configuración de driver Advantech USB 4704 &4750 .....	65
<b>Figura 37.</b> Asignación de señales al driver. a) PLC Siemens s7 1200. b) Advantech 4750. ....	67
<b>Figura 38.</b> Proceso para configurar una IP estática en un computador.....	69
<b>Figura 39.</b> Proceso de configuración de dispositivos .....	70
<b>Figura 40.</b> Creación de un nuevo proyecto .....	71

<b>Figura 41.</b> Cambio a vista de proyecto .....	71
<b>Figura 42.</b> Vista de proyecto y ventana para agregar dispositivo .....	72
<b>Figura 43.</b> Vista de dispositivos .....	73
<b>Figura 44.</b> Detección de dispositivo .....	74
<b>Figura 45.</b> Configuración de IP en PLC .....	74
<b>Figura 46.</b> Activación de marcas de ciclo y sistema.....	75
<b>Figura 47.</b> Tabla de Variables.....	76
<b>Figura 48.</b> Agregar una nueva Función.....	77
<b>Figura 49.</b> Ladder para la asignación de entradas y salidas a una memoria del PLC ...	77
<b>Figura 50.</b> Asignación de función a plantillas maestras y llamado a Ladder .....	78
<b>Figura 51.</b> Menú auxiliar de dispositivo.....	79
<b>Figura 52.</b> Ventana de Vista preliminar Carga .....	79
<b>Figura 53.</b> Ventana de Resultado de la operación de carga .....	80
<b>Figura 54.</b> Agregar Un Touch panel.....	81
<b>Figura 55.</b> Configuración de conexión de HMI con PLC usando asistente.....	81
<b>Figura 56.</b> Vista de redes.....	82
<b>Figura 57.</b> Catálogo de Hardware.....	84
<b>Figura 58.</b> Conexión de dispositivos de campo.....	84
<b>Figura 59.</b> a) Procedimiento de configuración de dirección manual de esclavo. b) Conexión de direccionador AS-I a esclavos K60 .....	85
<b>Figura 60.</b> Propiedades de red AS-I .....	86
<b>Figura 61.</b> a) Configuración de direcciones de memoria. b) Variables IO del esclavo...	87

<b>Figura 62.</b> Configuración de maestro AS-I.....	88
<b>Figura 63</b> Programación de Movimiento de datos Digitales .....	89
<b>Figura 64.</b> Graficet correspondiente al selector de paquetes con brazo giratorio.....	90
<b>Figura 65.</b> Graficet correspondiente al selector de paquetes con pusher .....	91
<b>Figura 66.</b> Configuración de direcciones del Esclavo 1 ProfiBus .....	95
<b>Figura 67.</b> Configuración de Tabla de área de transferencia .....	96
<b>Figura 68.</b> Variables necesarias para comunicación ProfiBus en esclavo1.....	96
<b>Figura 69.</b> Programación de subfunciones de comunicación Esclavo 1. a) Programación de lectura de maestro. b) Programación escritura a maestro. ....	97
<b>Figura 70.</b> Configuración de direcciones del Esclavo 2 ProfiBus .....	98
<b>Figura 71.</b> Configuración de Tabla de área de transferencia esclavo 2 ProfiBus .....	99
<b>Figura 72.</b> Variables necesarias para comunicación ProfiBus en esclavo 2.....	99
<b>Figura 73.</b> Programación de subfunciones de comunicación Esclavo 2. a) Programación de lectura de maestro. b) Programación escritura a maestro. ....	100
<b>Figura 74.</b> Configuración de direcciones del Maestro ProfiBus.....	101
<b>Figura 75.</b> Variables necesarias para comunicación ProfiBus en Maestro.....	102
<b>Figura 76.</b> Programación de subfunciones de escritura. a) Escritura a esclavo 1 ProfiBus. b) Escritura a esclavo 2 ProfiBus.....	102
<b>Figura 77.</b> Programación de subfunciones de lectura. a) Lectura a esclavo 1 ProfiBus. b) Lectura a esclavo 2 ProfiBus.....	103

<b>Figura 78.</b> Configuración de hardware módulos CM1241 .....	104
<b>Figura 79.</b> Bloques de instrucción ModBus.....	105
<b>Figura 80.</b> Bloque MB_COMM_LOAD .....	106
<b>Figura 81.</b> a) Bloque MB_MASTER. b) Bloque MB_SLAVE .....	107
<b>Figura 82.</b> Protocolo ModBus Esclavo 1 .....	111
<b>Figura 83.</b> a) Escritura a Maestro ModBus. b) Lectura de Maestro ModBus .....	112
<b>Figura 84.</b> Grafcet correspondiente al proceso de mecanizado .....	113
<b>Figura 85.</b> Protocolo ModBus Esclavo 2.....	114
<b>Figura 86.</b> a) Escritura a Maestro ModBus. b) Lectura de Maestro ModBus .....	115
<b>Figura 87.</b> Grafcet correspondiente al proceso Pick&Place .....	115
<b>Figura 88.</b> Diagrama de flujo de programación Maestro ModBus .....	116
<b>Figura 89.</b> a) <i>Subfunción de manejo de datos esclavo 1.</i> b) <i>Subfunción de manejo de datos esclavo 1.</i> .....	117
<b>Figura 90.</b> Activación de dispositivo como Profinet IO .....	118
<b>Figura 91.</b> Áreas de transferencia comunicación Profibus .....	121
<b>Figura 92.</b> a) Escritura de esclavo 1 a maestro ProfiNet. b) lectura del esclavo 1 a maestro ProfiNet.....	122
<b>Figura 93.</b> a) Escritura de esclavo 2 a maestro ProfiNet. b) lectura del esclavo 2 a maestro ProfiNet.....	123
<b>Figura 94.</b> Programación de subfunciones de escritura a) Escritura a esclavo 1 ProfiNet b) Escritura a esclavo 2 ProfiNet.....	123



<b>Figura 95.</b> Programación de subfunciones de lectura a) Lectura a esclavo 1 ProfiNet	
b) Lectura a esclavo 2 ProfiNet.....	124
<b>Figura 96.</b> Instrucción avanzada GET_DIAG.....	125
<b>Figura 97.</b> Estructura de diagnóstico DIS .....	126
<b>Figura 98.</b> Diagrama de flujo de imágenes en HMI.....	129
<b>Figura 99.</b> Interfaces de administrador en HMI local.....	129
<b>Figura 100.</b> Administrador de usuarios .....	130
<b>Figura 101.</b> Imágenes de diagnóstico .....	130
<b>Figura 102.</b> Añadir un System PC al proyecto .....	131
<b>Figura 103.</b> Diagrama de flujo de imágenes en HMI remoto.....	132
<b>Figura 104.</b> Imágenes de diagnostico.....	133
<b>Figura 105.</b> Diagnóstico de error por red - Ethernet Industrial .....	135
<b>Figura 106.</b> Error Esclavo 1 Ethernet Industrial .....	135
<b>Figura 107.</b> Falla por ausencia de Bus Ethernet.....	136
<b>Figura 108.</b> Falla Esclavo 1 Ethernet.....	136
<b>Figura 109.</b> Diagnóstico de error por red - Profibus .....	137
<b>Figura 110.</b> Falla por ausencia de Bus .....	138
<b>Figura 111.</b> Error en Esclavo Profibus 1 .....	138
<b>Figura 112.</b> Falla en Maestro Profibus.....	139
<b>Figura 113.</b> Presencia de falla en Maestro Profibus .....	139
<b>Figura 114.</b> Errores en HMI a) Error de Esclavo. b) Error de Bus .....	143
<b>Figura 115.</b> Diagnóstico de error por red - Error ModBus .....	144

<b>Figura 116.</b> Falla en Maestro Modbus .....	144
<b>Figura 117.</b> Error en Esclavo ModBus 1 .....	145
<b>Figura 118.</b> Error en Esclavo ModBus 2 .....	145
<b>Figura 119.</b> Red sin presencia de falla.....	148
<b>Figura 120.</b> a) Presencia de falla en un esclavo por error de direccionamiento. b) Presencia de falla en esclavos por falta de Bus AS-I.....	148
<b>Figura 121.</b> Diagnóstico de error por red - Error AS-I .....	149
<b>Figura 122.</b> Diagnóstico de error general.....	149
<b>Figura 123.</b> Resultados de la pregunta 1 .....	153
<b>Figura 124.</b> Resultados de la pregunta 2.....	153
<b>Figura 125.</b> Resultados de la pregunta 3.....	154
<b>Figura 126.</b> Resultados de la pregunta 4.....	154
<b>Figura 127.</b> Resultados de la pregunta 5.....	155
<b>Figura 128.</b> Resultados de la pregunta 6.....	155
<b>Figura 129.</b> Resultados de la pregunta 7.....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Niveles Pirámide CIM.....	9
<b>Tabla 2</b> Tipos de Topologías.....	12
<b>Tabla 3</b> Estados operativos Profibus-DP.....	15
<b>Tabla 4.</b> Funciones Modbus.....	19
<b>Tabla 5.</b> Características Maestro AS-I .....	22
<b>Tabla 6.</b> Características Esclavo AS-I.....	22
<b>Tabla 7.</b> Características Cable AS-I.....	23
<b>Tabla 8.</b> Características Fuente AS-I .....	23
<b>Tabla 9.</b> Características Repetidores AS-I .....	24
<b>Tabla 10.</b> Características Advantech 4750.....	45
<b>Tabla 11.</b> Equipos empleados en el sistema.....	46
<b>Tabla 12.</b> Asignación de parámetros de red dispositivos .....	49
<b>Tabla 13</b> <i>Conexión de módulos y HMI a CPU</i> .....	51
<b>Tabla 14</b> Elementos del Proceso de Mecanizado. ....	56
<b>Tabla 15</b> <i>Elementos del Proceso Pick &amp; Place</i> .....	58
<b>Tabla 16</b> <i>Elementos del Proceso Selector de Paquetes con Brazo Giratorio</i> .....	61
<b>Tabla 17</b> <i>Elementos del Proceso Selector de Paquetes con Pusher</i> .....	63
<b>Tabla 18</b> Configuración de Driver en Factory I/O .....	66
<b>Tabla 19</b> <i>Asignación de señales al driver</i> .....	67
<b>Tabla 20</b> <i>Direcciones de esclavos AS-I</i> .....	85
<b>Tabla 21</b> <i>Parámetros y ubicación de Maestros AS-I</i> .....	88

<b>Tabla 22</b> <i>Sinóptico de variables para comunicación ProfiBus – Esclavo 1</i> .....	92
<b>Tabla 23.</b> Sinóptico de variables para comunicación ProfiBus – Esclavo 2 .....	93
<b>Tabla 24</b> <i>Parámetros y ubicación de elementos red ProfiBus</i> .....	94
<b>Tabla 25</b> <i>Parámetros y ubicación de elementos red ModBus</i> .....	104
<b>Tabla 26</b> <i>Parámetros del bloque MB_COMM_LOAD</i> .....	106
<b>Tabla 27</b> <i>Parámetros de configuración de los bloques MB_MASTER</i> .....	107
<b>Tabla 28</b> <i>Configuración de registros como áreas de transferencia a través de direccionamiento indirecto</i> .....	108
<b>Tabla 29</b> <i>Sinóptico de variables para comunicación ModBus – Esclavo 1</i> .....	109
<b>Tabla 30.</b> Sinóptico de variables para comunicación ModBus – Esclavo 2 .....	110
<b>Tabla 31</b> <i>Sinóptico de variables para comunicación ProfiNet – Esclavo 1</i> .....	119
<b>Tabla 32.</b> Sinóptico de variables para comunicación ProfiNet – Esclavo 2.....	120
<b>Tabla 33.</b> Parámetros de configuración de bloque GET_DIAG .....	125
<b>Tabla 34</b> <i>Resultados de diagnóstico en OwnState</i> .....	126
<b>Tabla 35</b> <i>Parámetros para diagnóstico de red</i> .....	127
<b>Tabla 36.</b> Análisis de indicadores modulo maestro CM 1243-5 PROFIBUS.....	141
<b>Tabla 37.</b> Análisis de indicadores módulo esclavo CM 1242-5 PROFIBUS.....	142
<b>Tabla 38.</b> Análisis de indicadores módulo maestro CM 1241 MODBUS. ....	146
<b>Tabla 39.</b> Análisis de indicadores módulo esclavo CM 1241 MODBUS .....	147
<b>Tabla 40.</b> Análisis de indicadores módulo maestro CM 1243-2 AS-I.....	151
<b>Tabla 41.</b> Análisis de indicadores módulo esclavo AS-I .....	152

## RESUMEN

Este proyecto consiste en la implementación de un sistema didáctico que permite desarrollar prácticas de laboratorio de los protocolos de comunicación industrial AS-Interface, Modbus, Profibus, y Ethernet utilizando PLC's Siemens S7-1200, módulos de comunicación y paneles HMI. El sistema integra el nivel más bajo de la pirámide de automatización con el protocolo AS-Interface utilizando los módulos de comunicación CM1243-2 y los esclavos AS-I donde se recibe la información de los sensores y activan los actuadores. Para el nivel de célula de la pirámide, se utilizan los protocolos de comunicación Modbus con los módulos CM1241 y Profibus D/P con los módulos CM1243-5 y CM1242-5. Para nivel de planta se utiliza el protocolo Ethernet Industrial, permitiendo así al estudiante interactuar y obtener un amplio conocimiento práctico de la mayoría de protocolos de comunicación industriales. La simulación de los procesos se desarrolla con un simulador 3D, con la ayuda de tarjetas DAQ, y permite la simulación de las señales necesarias en los mencionados procesos. Esta herramienta permite al estudiante tener una mejor interacción con los ambientes industriales y a su vez familiarizarse con la automatización de procesos industriales secuenciales mediante la programación de PLC's y diseño de HMI's. Finalmente, el modulo didáctico contará con un sistema SCADA, donde el estudiante interactuará con los procesos simulados.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **REDES INDUSTRIALES**
- **PROCESOS BATCH**

## **ABSTRACT**

This project consists in the implementation of a didactic system that allows to develop laboratory practices of industrial communication protocols AS-Interface, Modbus, Profibus, and Ethernet using Siemens S7-1200 PLCs, communication modules and HMI panels. The system integrates the lowest level of the automation pyramid with the AS-Interface protocol using the communication modules CM1243-2 and the AS-I slaves where the information of the sensors is received and the actuators are activated. For the cell level of the pyramid, the Modbus communication protocols are used with the CM1241 and Profibus D / P modules with the CM1243-5 and CM1242-5 modules. For the plant level, the Industrial Ethernet protocol is used, allowing the student to interact and obtain a broad practical knowledge of most industrial communication protocols. The simulation of the processes is developed with a 3D simulator, with the help of DAQ cards, and allows the simulation of the necessary signals in the aforementioned processes. This tool allows the student to have a better interaction with industrial environments and at the same time become familiar with the automation of sequential industrial processes through the programming of PLC's and HMI's design. Finally, the didactic module will have a SCADA system, where the student will interact with all the elements of the system.

### **KEYWORDS:**

- **INDUSTRIAL NETWORKS**
- **BATCH PROCESSES**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad los módulos para el desarrollo prácticas de comunicaciones industriales de procesos batch representan un alto costo económico, por lo que es difícil que el estudiante pueda conocer el funcionamiento de este tipo de procesos de manera práctica, limitando su formación académica.

No existen módulos didácticos para el entrenamiento o desarrollo de prácticas en automatización industrial de procesos secuenciales o procesos batch en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos, que permita interactuar al estudiante con los diferentes protocolos de comunicaciones industriales conformadas en un mismo módulo, desconociendo como dicho sistema es capaz de relacionarse a nivel de supervisión, control y campo en una pirámide de automatización.

La falta de un módulo didáctico para el desarrollo de prácticas provoca que los estudiantes no conozcan el alcance de las comunicaciones a nivel industrial, por lo que será complicado su inserción en la industria. Al presentarse un número considerable de estudiantes al momento de desarrollar prácticas de procesos batch, se reduce el grado de aprendizaje y limita la manipulación equipos de conforman dichos procesos al momento de ejecutar las prácticas de laboratorio.

## 1.2. Antecedentes

En el campo industrial, hoy en día, la automatización juega un papel importante en nuestra vida diaria, las aplicaciones industriales pueden beneficiarse enormemente de las nuevas técnicas de automatización con el fin de optimizar recursos y aumentar la calidad en la producción. (Bahgat, 2017)

En el proceso de automatización intervienen una gran cantidad de sensores y actuadores, la información generada por dichos elementos debe ser administrada de una manera adecuada por lo cual se implementa normas internacionales con el objetivo de facilitar la interacción de las etapas existentes dentro de la industria. (Yamada, Takano, Takayanagi, & Ito, 2010)

Las industrias se ven obligadas a ofrecer productos de alta calidad basados en las demandas de los consumidores para mantener o ampliar su cuota de mercado. Los cortos períodos de fabricación y la limitación para producir a bajo costo requieren que las empresas empleen sistemas de producción flexibles, para aportar flexibilidad a la integración de nuevos dispositivos y facilitar la administración de la información se utilizan protocolos de comunicación estándares como es el caso de AS-I, MODBUS, PROFIBUS, PROFINET. (Ávila & Armendariz, 2014)

En el ámbito educacional existe una necesidad real de desarrollar un sistema de educación interactivo y eficaz para los estudiantes y los profesionales del sector industrial para estudiar convenientemente el conocimiento de seguridad y para adquirir fácilmente



experiencia práctica. En general, los avances de los medios digitales han comenzado a desempeñar mayores papeles ya que un sistema 3D provee un ambiente de entrenamiento integral, lo cual conllevaría nuevas oportunidades en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

### **1.3. Justificación e importancia**

La implementación de un sistema de desarrollo de Redes Industriales, mediante módulos de comunicación y entornos de simulación de estaciones o plantas es capaz de conformar una pirámide de automatización CIM utilizando los diferentes protocolos de comunicación, los mismo que permiten al docente y estudiante disponer de una herramienta que complemente la teoría en base a prácticas dentro del laboratorio, además que incrementa espacios de formación para que los alumnos puedan desarrollar prácticas de forma autónoma y con un nivel de desarrollo completo a nivel de Redes Industriales.

El presente proyecto permitirá a los estudiantes desarrollar competencias necesarias con conocimientos sólidos para configurar distintos tipos de redes de comunicación como: Ethernet, Profibus/Modbus y AS-I, con el fin de dar solución a los problemas de conectividad que conforma un proceso de producción, además proporcionará estaciones o plantas de trabajo virtuales a través de un software de simulación 3D y se utilizará sistemas o estaciones reales de trabajo, por otro lado, se presenta una estación remota HMI con el fin de integrar las áreas de automatización presentes en el sistema de desarrollo de Redes Industriales.

De tal manera que se ha considerado necesaria la implementación de un sistema de comunicaciones para el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos, con el fin de brindar un entorno completo de conformación de redes de comunicación, en el cual se trabaje con intercambio de datos como en la industria y que aporte al estudiante con un conocimiento de los procesos industriales no solo teórico sino también práctico.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Diseñar e implementar un sistema didáctico para el desarrollo de prácticas de laboratorio relacionadas a comunicaciones industriales, en el Laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Investigar sobre la implementación de los protocolos de comunicación Ethernet Industrial, MODBUS/PROFIBUS y AS-I para crear un sistema didáctico de Redes Industriales, así como también sobre la creación de sistemas simulados de automatización.
- Diseñar e implementar un sistema de comunicaciones industriales utilizando pasarelas para acoplar las diferentes arquitecturas de Redes Industriales disponibles.
- Diseñar estaciones de trabajo virtuales utilizando un software de simulación 3D, en donde permita simular y obtener datos de los procesos industriales.

- Realizar pruebas funcionales del sistema didáctico, evaluar su desempeño y analizar los resultados obtenidos.

## **1.5. Variables de la Investigación**

### **1.5.1. Variable Independiente**

Sistema didáctico para el desarrollo de Comunicaciones Industriales.

### **1.5.2. Variable Dependiente**

Aprendizaje de los estudiantes de ingeniería sobre los diferentes protocolos de Comunicación Industrial.

## **1.6. Hipótesis**

El sistema didáctico de comunicaciones industriales permitirá el desarrollo de prácticas a los estudiantes de la carrera de ingeniería, así como el aprendizaje en comunicaciones industriales de distintos protocolos de comunicación que conformaran una pirámide de automatización.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes Investigativos**

En la actualidad en el ámbito educativo, los módulos didácticos en el campo referente a comunicaciones industriales han tomado un rol importante para el aprendizaje de redes industriales, específicamente la interconexión de redes industriales conformando la pirámide de automatización.

Entre algunas investigaciones que se han tomado como referencia a procesos industriales, se tienen el desarrollo de procesos industriales que involucran el manejo de protocolos de comunicación de redes, donde se describe la utilidad de las redes en el ámbito industrial, y su interconexión permite crear sistemas de comunicación amplios con diversas aplicaciones.

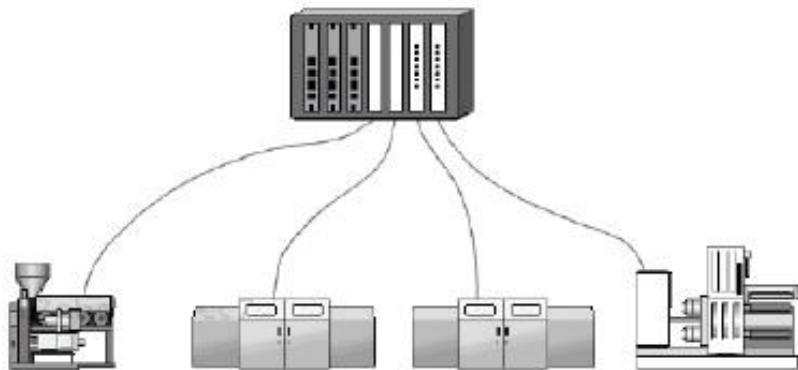
#### **2.2. Fundamentación teórica**

##### **2.2.1. Redes Industriales**

Una máquina aislada necesita adquirir información de su entorno para poder trabajar correctamente mediante dispositivos como finales de carrera, detectores, sistemas de medida, etc.

Hasta los años 60, el control industrial se venía ejecutando mediante lógica cableada a base de relés electromecánicos. En aquel entonces, el desarrollo de la electrónica ha permitido la implantación de los dispositivos con microprocesadores, también llamados Autómatas Programables o Controladores Lógicos Programables. Esta transformación permitió a los diseñadores e integradores de sistemas alcanzar unos niveles de flexibilidad y productividad impensables hasta la fecha.

En la primera etapa, todas las señales de control de un sistema se trasladaban mediante cables entre la máquina y el armario donde se localizaban los componentes de mando.

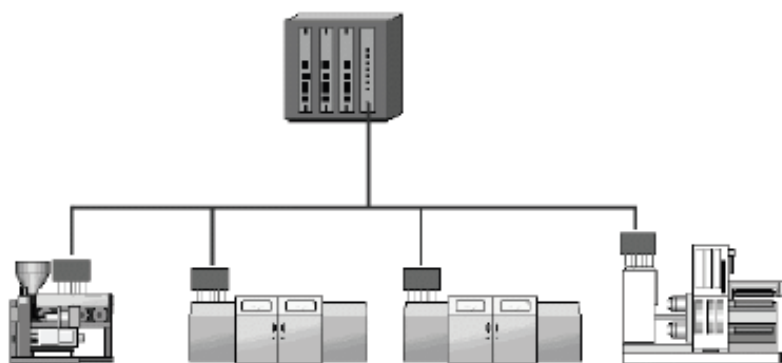


**Figura 1.** Control Centralizado  
Fuente: (Penin, 2007)

El sistema denominado Control Centralizado, tiene como objetivo direccionar mensajes y órdenes hacia un punto focal único. La necesidad de facilitar las instalaciones y reducir los costes de mantenimiento, dio motivo para que los sistemas de producción

complejos se dividan en subsistemas más sencillos, dedicados a tareas definidas y controlados por si mismos permitiendo el ingreso de los autómatas programables.

La capacidad de conectar los autómatas entre sí, permitió prescindir casi todo el cableado de control entre máquinas, teniendo solamente una línea de comunicación. Otra ventaja es la posibilidad de programación a distancia, supervisión remota, diagnósticos de todos los elementos enlazados, modularidad, acceso a la Información de forma instantánea. Estas características hacen que el sistema sea fiable y tenga un menor costo, debido a que los elementos de control no necesitan ser tan complejos.

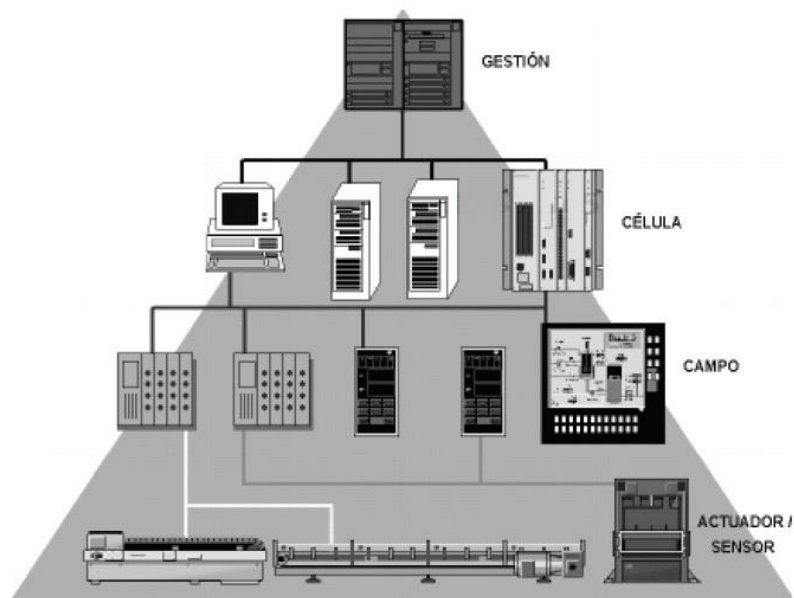


**Figura 2.** Control Distribuido  
Fuente: (Penin, 2007)

El Control Distribuido, constituye un sistema complejo que se dividen en subsistemas autónomos con autocontrol e integración a través de un sistema de comunicación común. Adicionalmente, estos sistemas permiten plantear y evaluar estrategias de manera integral, dentro de los cuales se combinan elementos tales como datos de procesos productivos, recursos humanos, tecnologías, logística, entre otros, creando un nuevo tipo de estructura de producción denominado sistema CIM (Computer Integrated Manufacturing). (Penin, 2007)

### 2.2.2. La pirámide de la automatización (CIM)

La denominada pirámide de la automatización, CIM (Computer Integrated Manufacturing), se resume de manera gráfica la estructuración de los sistemas de comunicación en un entorno productivo en la Figura 3. *Pirámide CIM*.



**Figura 3.** Pirámide CIM.

Fuente: (Penin, 2007)

La pirámide de la automatización se divide en niveles que clasifican el tipo de tráfico e información que se intercambia entre cada uno. (Penin, 2007)

**Tabla 1**

*Niveles Pirámide CIM*

Niveles	Características
Gestión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maneja tareas de tipo corporativo implicando gran cantidad de información.</li> <li>• Accede a todos los puntos de la red y puede existir cientos de estaciones de trabajo.</li> </ul>

CONTINÚA 

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Almacena datos y transmite nuevas consignas de producción.</li> <li>• Maneja equipos como: ordenadores personales, mini computadores y grandes equipos informáticos, que acceden al exterior mediante redes de área amplia (WAN).</li> </ul>
Célula	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procesa tareas de automatización.</li> <li>• Transfiere información considerable, incrementando el tamaño de los paquetes de información y el tiempo de tránsito necesario para la transmisión.</li> <li>• Maneja equipos como: autómatas de control programables, ordenadores personales y equipos de visualización.</li> </ul>
Campo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enlaza las instalaciones y los equipos de control.</li> <li>• Comunica a los equipos de control de maquinaria y los equipos del nivel de célula.</li> <li>• Brinda seguridad intrínseca para los elementos utilizados en zonas peligrosas.</li> <li>• Maneja módulos de entradas y salidas, medidores, sistemas de control, elementos de control final o pantallas de operación.</li> </ul>
Actuador/ Sensor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el último nivel dentro de la jerarquía de los sistemas automatizados, donde se trabaja con poca información.</li> <li>• Manejan elementos como: pulsadores, selectores, sensores, luces pilotos, etc.</li> <li>• Se transmite baja cantidad de información a alta velocidad.</li> <li>• Instalación sencilla y bajo coste, utiliza el mismo medio para alimentar a los elementos de campo y transmitir información.</li> <li>• Comunicación robusta e inmune a interferencias, trabaja con un protocolo de transmisión con respuesta en tiempo real.</li> </ul>

### 2.2.3. Red Ethernet

#### a) Introducción

Ethernet es un bus de automatización con un extenso recorrido en el ámbito ofimático. La principal característica de este sistema es la universalidad, debido a que se encuentran elementos de interconexión para este bus con facilidad, y cualquier ordenador tiene provisto de un punto de conexión a red local Ethernet.



La tecnología Ethernet, ofrece al usuario la capacidad de ajustar el rendimiento de forma precisa de acuerdo a sus exigencias. La velocidad de transmisión de datos se puede seleccionar en base a las necesidades, debido a que la compatibilidad sin lagunas permite la introducción escalonada de la esa tecnología (Vicente Guerrero, 2009).

La tecnología Ethernet posee características importantes que pueden aportar en las siguientes ventajas:

- Puesta en marcha rápida debido a un sistema de conexionado considerablemente simple.
- Alta disponibilidad. Las instalaciones existentes se pueden extender sin efectos negativos.
- Rendimiento de comunicación prácticamente ilimitado; se puede escalar el rendimiento aplicando tecnología de conmutación y altas velocidades de transferencia de datos.
- Interconexión de las áreas más diversas.
- Comunicación a escala corporativa debido a la capacidad de acoplamiento por WAN (Red de Área Amplia como RDSI o Internet).
- Seguridad para las inversiones debido a perfeccionamientos compatibles.
- Reserva de ancho de banda en LAN inalámbrica industrial (IWLAN).

## b) Topologías

La tecnología Ethernet manobra con todas las tipologías de conexionado de sistemas de comunicación, surgiendo las estructuras donde se pueden visualizar conexiones en bus, árbol, estrella y anillo (Penin, 2007).

En razón de esto aparecen sistemas de conexionado que permiten:

- Aumentar la distancia entre dispositivos.
- Aumentar el número de dispositivos a vincularse.
- Aislar y maniobrar los flujos de información.
- Segmentar los grupos de conexiones.
- Adoptar políticas de seguridad.

**Tabla 2**  
*Tipos de Topologías*

Tipos	Características
Bus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topología base de una red Ethernet.</li> <li>• Los equipos se vinculan mediante derivaciones al bus de comunicación principal.</li> <li>• Se utiliza un cable coaxial con derivaciones y resistencias de terminación en los extremos.</li> <li>• La señal transita en las dos direcciones a partir del equipo emisor del mensaje.</li> </ul>
Estrella	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topología más empleada debido a su bajo coste e instalación sencilla.</li> <li>• Se enlaza a partir de un dispositivo central denominado Hub o Switch cuya función es distribuir la información a todos los dispositivos conectados.</li> <li>• Una conexión en cascada de varios dispositivos centrales, permite incrementar su alcance.</li> </ul>

CONTINÚA 

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El fallo de un nodo no implica una afectación al resto de dispositivos, pero el fallo en un concentrador elimina a todos los equipos que tenga conectados.</li> </ul>
Árbol	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posee características de las topologías de bus y estrella.</li> <li>• La idea básica es el enlace de grupos de estaciones, conectados en estrella, a un bus de comunicación principal o Backbone.</li> </ul>
Anillo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La topología de anillo presenta una implementación compleja.</li> <li>• Cableado mínimo, instalación sencilla del bus de comunicación.</li> <li>• Los equipos requieren únicamente de una tarjeta de red y un medio de conexión correspondiente a un cable coaxial.</li> <li>• El fallo en una estación de trabajo se puede aislar con facilidad.</li> <li>• Se utiliza la fibra óptica, lo cual hace a la topología anillo inmune a interferencias electromagnéticas de todo tipo.</li> </ul>

### c) Medios de Transmisión

La topología Ethernet presenta tres tipos de soporte habituales:

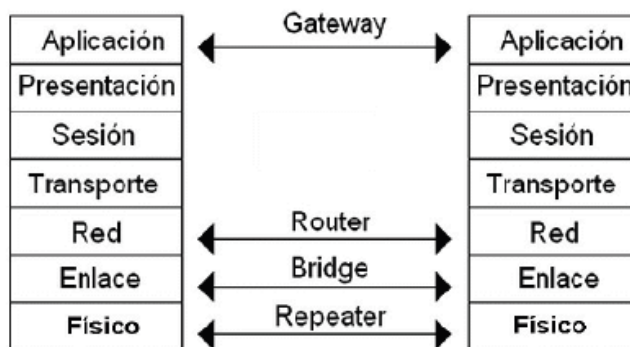
- Cable coaxial.
- Cable de par trenzado.
- Fibra óptica.

### d) Elementos de Interconexión

El crecimiento de un sistema debido a requerimientos físicos o lógicos, implica la organización de estas conexiones con arquitecturas adecuadas a cada caso. A medida que empieza el crecimiento del número de equipos, es necesaria la organización de manera para que el sistema mantenga su operatividad.

La red creciente se va fraccionando en segmentos o subredes manteniendo su rendimiento para lo cual es necesario mantener vinculados estos segmentos mediante

elementos adecuados con la capacidad de gestionar el tráfico de información entre subredes.



**Figura 4.** Elementos Ethernet y el sistema de capas ISO.

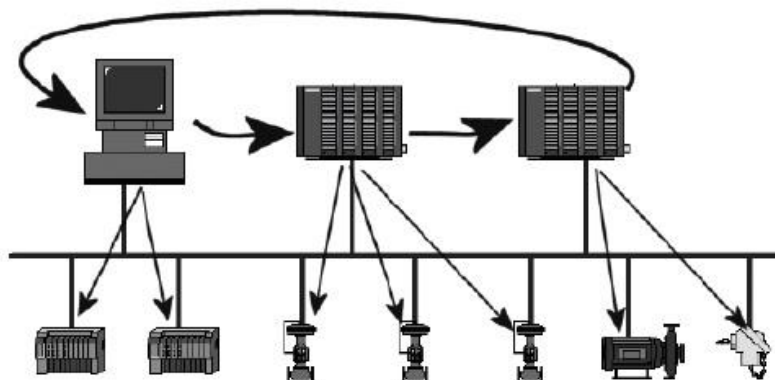
Fuente: (Penin, 2007)

## 2.2.4. Red Profibus DP

### a) Introducción

PROFIBUS-DP se dispuso en la parte 3 de la Norma DIN E 19245, y se integró en la Norma Europea de Bus de campo EN 50170, ajustado a los requerimientos de los elementos de automatización de intercambio de datos de manera rápida y eficiente.

El perfil de comunicaciones DP está diseñado principalmente para el intercambio de datos al nivel de campo. El intercambio de datos es esencialmente cíclico y existe la posibilidad de manejar un intercambio de datos acíclico. En Profibus-DP el equipo maestro realiza tareas de lectura y escritura cíclicamente con la información en los esclavos (Penin, 2007).



**Figura 5.** Entorno Profibus DP

Fuente: (Penin, 2007)

En sistemas de comunicación multi-maestro, varias estaciones maestras con sus respectivos esclavos están enlazados al bus de comunicación. Cada maestro podrá acceder al estado de entradas y salidas de todos los esclavos, pero tendrá únicamente la capacidad de modificar el estado de las salidas de sus esclavos.

El intercambio de datos entre la estación maestro y esclavos se realiza de forma automática. Cuando se configura el bus, el usuario determina que Esclavos corresponden a cada Maestro. También se definen los Esclavos que quedarán excluidos de la transmisión cíclica.

En Profibus-DP se especifican tres posibles estados operativos para una estación:

**Tabla 3**

*Estados operativos Profibus-DP.*

Estados	
Operate	Funcionamiento normal. Trasmisión cíclica de datos de entrada y salida.
Clear	Se leen las entradas y las salidas. Fija un estado seguro.
Stop	Utilizado para diagnóstico y configuración. No realiza un intercambio de datos de usuario.

Las funciones permitidas son:

- Transferencia cíclica de datos entre Maestro DP y Esclavos DP.
- Activación o desactivación dinámica de estaciones esclavos individuales.
- Control de la configuración de las estaciones esclavos.
- Funciones de diagnóstico.
- Sincronización de entradas y salidas.
  - **Sync:** Salidas en estado sincronizado.
  - **Freeze:** Entradas en estado sincronizado.
- Posibilidad de re-direccionado de estaciones esclavos a través del bus de comunicación.
- Hasta 244 bytes de entrada y salida por estación esclavo.

## 2.2.5. Red Modbus

### a) Introducción

Es un protocolo desarrollado en 1979 por Modicon, empleado con la finalidad de establecer comunicaciones Maestro-Eslavo y Cliente-Servidor entre dispositivos inteligentes con dispositivos de campo, transmitir señales en estado digital, análogas y registros entre ellos.

Es un protocolo adecuado para la monitorización de tipo remoto vía radio de elementos de campo como RTU, entre otros, tales como los empleados en plantas de tratamiento de aguas, gas o instalaciones petrolíferas. En la actualidad se está implementando en

sectores diferentes a su idea original, tales como la domótica o el control de procesos industriales.

Este protocolo establece una estructura de mensaje que los controladores tienen la capacidad de reconocer y utilizar sin la necesidad de conocer el tipo de red que éstos utilizarán para comunicarse. Durante las comunicaciones que se llevan a cabo en una red Modbus, el mismo determina la manera que cada controlador reconocerá las direcciones, si un mensaje está dirigido a él, determinando la acción a llevar a cabo y extrayendo los datos del mensaje. De la misma manera se define el protocolo de comunicación y acciones de respuesta ante los mensajes.

El protocolo Modbus utiliza RS-232C, definiendo las características físicas de la conexión. Cuando el controlador origina el mensaje, lo hace como Maestro, y se mantiene a la espera de una respuesta de tipo Esclavo. Además, cuando el controlador recibe una petición de otra estación, se encarga de reconstruir la respuesta como si fuera una estación Esclavo.

La estación Maestro tiene la capacidad de realizar comunicaciones punto a punto con un solo esclavo, o utilizar mensajes de tipo general. El protocolo de comunicación establece el formato del mensaje de la estación Maestro, que contiene la dirección, el código de la acción, datos adicionales y un campo de verificación de errores de transmisión.

La respuesta de la estación esclavo se constituye de la misma manera; los campos de confirmación de la acción requerida, datos adicionales y control del estado de errores. En el caso de error en la recepción o imposibilidad de ejecutar la acción propuesta por parte del esclavo, devolviendo un mensaje de error específico. (Penin, 2007).

## **b) Modos de Transmisión**

Los controladores pueden configurarse para dos tipos de comunicación como son: Modbus ASCII y Modbus RTU la cual se detalla a continuación.

### **RTU**

- Cada 8 bit (byte) del mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bit. La ventaja con respecto a ASCII es que la densidad de caracteres es más elevada, aumentando la tasa de transmisión y manteniendo la velocidad.
- La codificación es binaria de 8 bit. hexadecimal (0 ... 9. A ... F).
- Dos caracteres hexadecimales por cada byte de mensaje.
- En cada byte:
  - 1 start bit.
  - 8 bit de datos.
  - 1 bit de paridad.
  - 1 stop bit con paridad.
  - Campo de verificación de error.
  - Verificación de Redundancia Cíclica (CRC).



En RTU, los mensajes comienzan tras un silencio de, por lo menos, 3.5 caracteres. A continuación, viene la dirección del dispositivo. El proceso es el mismo; los elementos de red monitorizan ésta a la espera de un silencio, decodificando a continuación el dato de dirección. Un intervalo similar marcará el fin del mensaje. De este modo se observa que un mensaje debe transmitirse de manera continua para no generar errores de transmisión.

Estos dos modos de trabajo pertenecen únicamente a las redes de tipo Modbus. Definen el contenido de los campos del mensaje serie y la forma de empaquetar los datos. El modo escogido (incluyendo velocidad, paridad, etc.) deberá ser el mismo para todos los componentes de la red Modbus. (Penin, 2007)

**Tabla 4.**  
*Funciones Modbus*

MODE	Función Modbus	Longitud datos	Operación y datos	Dirección de Modbus
0	01	1 a 2000 1 a 1992	Lee bits de salida: 1 a (1992 o 2000) bits por petición	1 a 9999
0	02	1 a 2000 1 a 1992	Lee bits de entrada: 1 a (1992 o 2000) bits por petición	10001 a 19999
0	03	1 a 125 1 a 124	Lee registros de retención: 1 a (124 o 125) palabras por petición	40001 a 49999 400001 a 465535
0	04	1 a 125 1 a 124	Lee palabras de entrada: 1 a (124 o 125) palabras por petición	30001 a 39999
1	05	1	Escribe un bit de salida: 1 bit por petición	1 a 9999
1	06	1	Escribe un registro de retención: 1 palabra por petición	40001 a 49999 400001 a 465535
1	15	2 a 1968 2 a 1960	Escribe varios bits de salida: 2 a (1960 o 1968) bits por petición	1 a 9999
1	16	2 a 123 2 a 122	Escribe varios registros de retención: 2 a (122 o 123) palabras por petición	40001 a 49999 400001 a 465535
2	15	1 a 1968 2 a 1960	Escribe uno o más bits de salida: 1 a (1960 o 1968) bits por petición	1 a 9999
2	16	1 a 123 1 a 122	Escribe uno o más registros de retención: 1 a (122 o 123) palabras por petición.	40001 a 49999 400001 a 465535
11	11	0	Palabra indica ocupado 0 (no ocupado) y OxFFFF (ocupado).	

CONTINUÁ 

			Operadores no usados MB_MASTER, DATA_ADDR y DATA_LEN.	
80	08	1	Comprueba estado del esclavo con el dato 0x0000.	

## 2.2.6. Red AS-I

### a) Introducción

AS-Interface es un estándar internacional que se integra en 1994 y que tiene como propósito el uniformizar el nivel de campo de control y monitorización de señales individuales. El sistema está regulado por los estándares: EN 50295. IEC 62026/2. IEC 947.

AS-Interface es un sistema de conexionado diseñado para transferir alimentación y datos mediante un cable bifilar a distancias de hasta 100 metros. Es un sistema adecuado para aplicar en los niveles más bajos de automatización de planta, donde existe una gran cantidad de elementos de tipo binario como finales de carrera, sensores, electroválvulas, entre otros.

Los componentes del bus AS-I se basan en un circuito integrado específico que reúne en una sola pastilla todos los elementos electrónicos necesarios para las comunicaciones y el control de entradas y salidas del esclavo AS-I.

Este circuito integrado se ocupa principalmente de intercambiar con el Maestro de bus la información referente a las entradas y salidas del esclavo y notificar datos sobre el estado operativo de cada entrada o salida. Dispone de cuatro líneas de intercambio con

el exterior, configurables, además, como entrada, salida, o las dos cosas (en este bus se dice que los esclavos tienen datos simétricos, tantas salidas como entradas) (Penin, 2007).

AS-Interface presenta varias características fundamentales, como son:

- AS-I es idóneo para la conexión de actuadores y sensores binarios. A través del cable AS-I tienen lugar tanto el intercambio de datos entre sensores/ actuadores (esclavos AS-I) y el maestro AS-I como la alimentación eléctrica de los sensores y los actuadores.
- Cableado sencillo y económico; montaje fácil con técnica de perforación de aislamiento; gran flexibilidad gracias al cableado tipo árbol.
- La reacción del maestro AS-I es de máximo 5 ms para el intercambio de datos cíclico con hasta 31 estaciones conectadas.
- Las estaciones (esclavos AS-I) conectadas al cable AS-I pueden ser sensores/ actuadores con conexión AS-I integrada o módulos AS-I, a cada uno de los cuales se pueden conectar hasta ocho sensores/actuadores binarios convencionales.
- Con módulos AS-I estándar pueden funcionar hasta 124 actuadores y 124 sensores conectados al cable AS-I.
- Maestros AS-I de SIMATIC NET extendidos soportan una posibilidad de acceso especialmente sencilla a sensores/actuadores analógicos o a módulos que trabajen según el perfil de esclavo AS Interface 7.3/7.4 (Vicente Guerrero, 2009).

## b) Componentes del Sistema

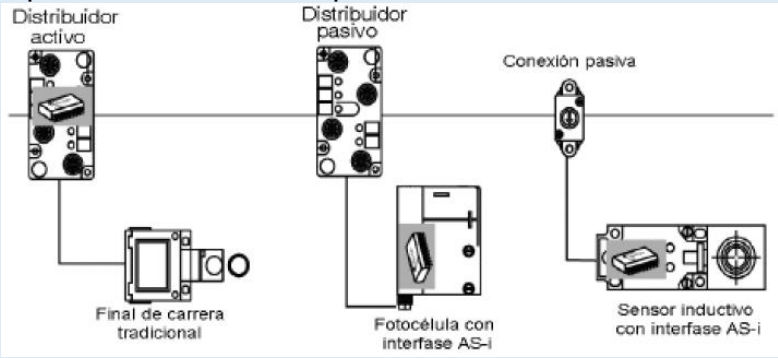
**Tabla 5.**

*Características Maestro AS-I*

MAESTRO AS-I	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mono-Maestro (PC, PLC o módulo remoto).</li> <li>• Se ocupa de la transmisión con uno o más esclavos utilizando la técnica de muestreo.</li> <li>• Se encarga de configurar y monitorizar el bus de forma automática.</li> <li>• Prestaciones: M0 (Lectura y escritura de entradas-salidas), M2 (Perfil M0 y modificación de parámetros de Esclavos.) y M1 (Perfil M2 más diagnóstico de red y monitorización de configuración real.). <b>(Penin, 2007)</b></li> </ul>	
<p><b>Maestro Estándar:</b> Es capaz de direccionar 31 esclavos de tipo estándar.</p>	<p><b>Maestro Extendido:</b> Direcciona hasta 62 esclavos extendidos, aunque permite también la conexión de esclavos estándar.</p>

**Tabla 6.**

*Características Esclavo AS-I*

ESCLAVO AS-I	
<p>Cualquier elemento tipo digital se puede enlazar a un bus de comunicación AS-I mediante un módulo de adaptación que incorpore el chip AS-I. Según dónde esté localizado el chip AS-I, se tiene tres tipos de Esclavo actuador/sensor (<i>Figura 6</i>).</p>	
 <p style="text-align: center;"><b>Figura 6. Tipos de Esclavos AS-I</b> Fuente: <b>(Penin, 2007)</b></p>	
<p><b>Módulos Activos:</b> Consta de un chip ASIC. Posibilita la conexión entre sensores y actuadores convencionales.</p>	<p><b>Módulos Pasivos:</b> Electrónica no integrada. Conecta sensores/actuadores con chip ASIC.</p>

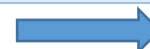
**Tabla 7.***Características Cable AS-I*

CABLE AS-I		
El sistema AS-I se ha creado para facilitar la transmisión de alimentación y datos con los elementos conectados al bus mediante un cable bifilar plano, robusto y flexible, sin trenzar ni apantallar, de 2x1.5mm <sup>2</sup> .		
<p><b>Cable Amarillo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión perforación de aislamiento.</li> <li>• Protección IP65/67</li> <li>• Codificación mecánica para evitar conexiones inadecuadas.</li> <li>• Autocicatrizante</li> </ul>	<p><b>Cable Negro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proporcionar una alimentación auxiliar de 24 VDC a los esclavos AS-I.</li> </ul>	<p><b>Cable Rojo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Presenta la misma utilidad que el cable negro, la variante es que proporciona una alimentación auxiliar de 220 VAC.</li> </ul>
<p><b>Cable Amarillo Resistente.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a materiales hostiles, engrasantes, gasolina, etc.</li> <li>• No posee la cualidad de autocicatrización al ser de un material diferente al cable amarillo estándar.</li> </ul>	<p><b>Cable Redondo.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Similar al cable amarillo, sin contar con su perfil característico.</li> </ul>	<p><b>Cable Redondo Apantallado.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Igual al cable redondo, además que brinda inmunidad al ruido debido a que los hilos están envueltos por una malla especial.</li> </ul>

**Tabla 8.***Características Fuente AS-I*

ALIMENTACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La salida de alimentación sin conexión a tierra, trabaja con la norma IEC 742-1.</li> <li>• Proporciona una tensión de 30VDC y hasta 8A, aislada de los datos.</li> <li>• Es posible suministrar una alimentación adicional de 24VDC en caso de presentarse un mayor consumo, a través del cable AS-I de color negro.</li> </ul>

CONTINÚA





**Figura 7.** Fuente de alimentación AS-I (Schneider Electric).  
Fuente: (Penin, 2007)

### Tabla 9.

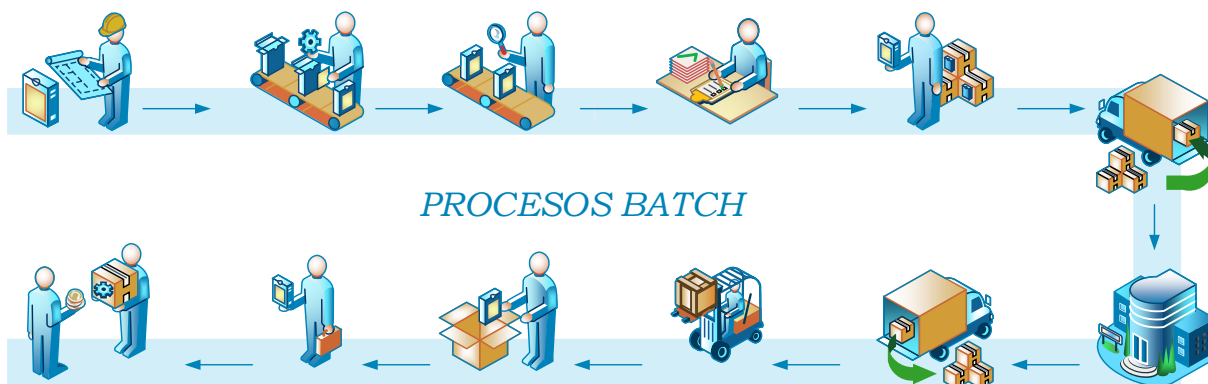
#### Características Repetidores AS-I

##### REPETIDOR Y EXTENSOR

- Componente que trabaja como un amplificador de señal y requiere de una fuente de alimentación en cada extremo.
- Permiten conectar esclavos en cada lado del mismo.
- El Repetidor permite prolongar de la longitud por una distancia mayor a 100m.
- La longitud máxima a alcanzar de un Extensor y Repetidor pueden ser de 300 m.
- Además, es posible operar hasta 186 actuadores y 248 sensores con un maestro extendido.

### 2.2.7. Procesos Batch o por lotes

Los procesos batch son sistemas que permiten tener un sencillo entendimiento de su funcionamiento e implementación. Es considera un sistema lento pues al trabajar con tareas secuenciales puede retrasarse una etapa y el sistema completo tendrá que esperar (Aparicio, 2019).



**Figura 8.** Procesos Batch

### a) Funcionamiento de producción Batch

El sistema de producción batch es considerado como un método de producción push o impulso, es decir que la etapa siguiente obtendrá el producto cuando la etapa anterior haya terminado satisfactoriamente su función. El sistema se base en un impulso continuo desde atrás, sin importar el estado de las etapas anteriores. Además, es un sistema considera poco flexible pues no permite la elaboración de varios modelos de productos al mismo tiempo.

Estos sistemas son sencillos de manejar por los operarios pues no requieren de una especialización rigurosa, debido a que únicamente conocerán el proceso donde se trabaja.

### b) Consideraciones producción Batch

La producción batch:

- Es un sistema de producción que ayuda a disminuir el costo por hora de cada una de las etapas del proceso.
- Es un sistema aplicable cuando la demanda no es constante, ni muy extensa.
- Maneja un tamaño óptimo de lotes de producción para aprovechar la materia prima y además satisfacer la demanda del cliente, disminuyendo el inventario.
- El tamaño de lote debe ser minúsculo, buscando un equilibrio entre el aprovechamiento de la máquina y el exceso de inventario. Al trabajar con un lote grande incrementan pérdidas de tiempo y transporte innecesario de inventario.

### **c) Ventajas de la Producción Batch**

- Los operarios manejan de manera eficiente el proceso.
- La inversión de producción se denomina baja.
- La producción de diferentes productos es posible reduciendo costos de inicio.
- La configuración y el mantenimiento de maquinaria es mínima.

### **d) Desventajas de la Producción Batch**

La planeación y organización de estos sistemas deberán ser coordinados correctamente, a fin de eliminar en su mayoría la presencia de tiempo muerto o inactividad del proceso.



### **2.2.8. Sistemas SCADA**

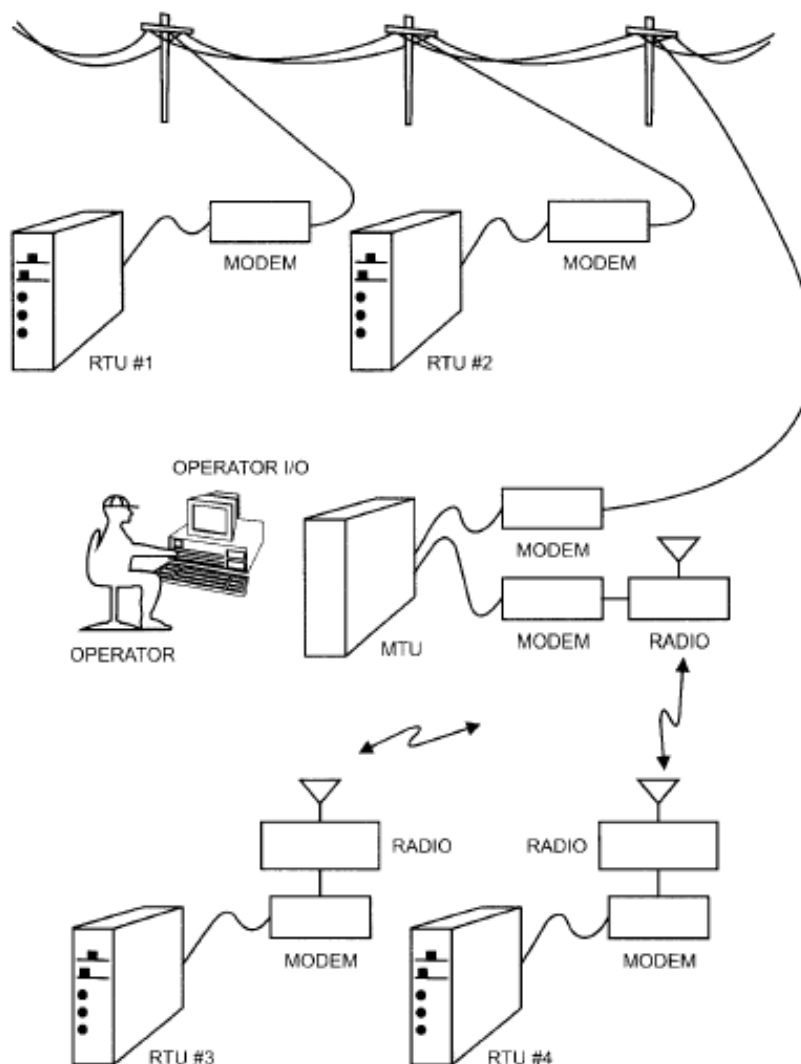
SCADA es un acrónimo que se forma a partir de las primeras letras del término "control de supervisión y adquisición de datos". Aparte del hecho de que el término raíz no se refiere al factor de distancia, que es común a la mayoría de los sistemas SCADA, el acrónimo SCADA es bueno (Boyer, 2004).

Un sistema SCADA permite a un operador en una ubicación central de un proceso ampliamente distribuido, como un campo de petróleo o gas, un sistema de tubería, un sistema de riego o un complejo generador hidroeléctrico, para realizar cambios de punto de ajuste en controladores de procesos distantes, para abrir o cerrar válvulas o interruptores, para monitorear alarmas, y para recopilar información de medición.

#### **a) Elementos**

La Figura 9 muestra los componentes principales de un sistema SCADA. En el centro está el operador, que accede al sistema por medio de un dispositivo de interfaz del operador, que a veces se llama "una consola del operador". Para sistemas simples, puede ser suficiente tener un conjunto de ventanas anunciadoras que imiten la condición del proceso remoto. A menudo, se incluirá una señal sonora para las alarmas.

La MTU en los sistemas SCADA de módem siempre se basa en una computadora, que tienen la capacidad de monitorear y controlar el campo incluso cuando el operador no está presente.

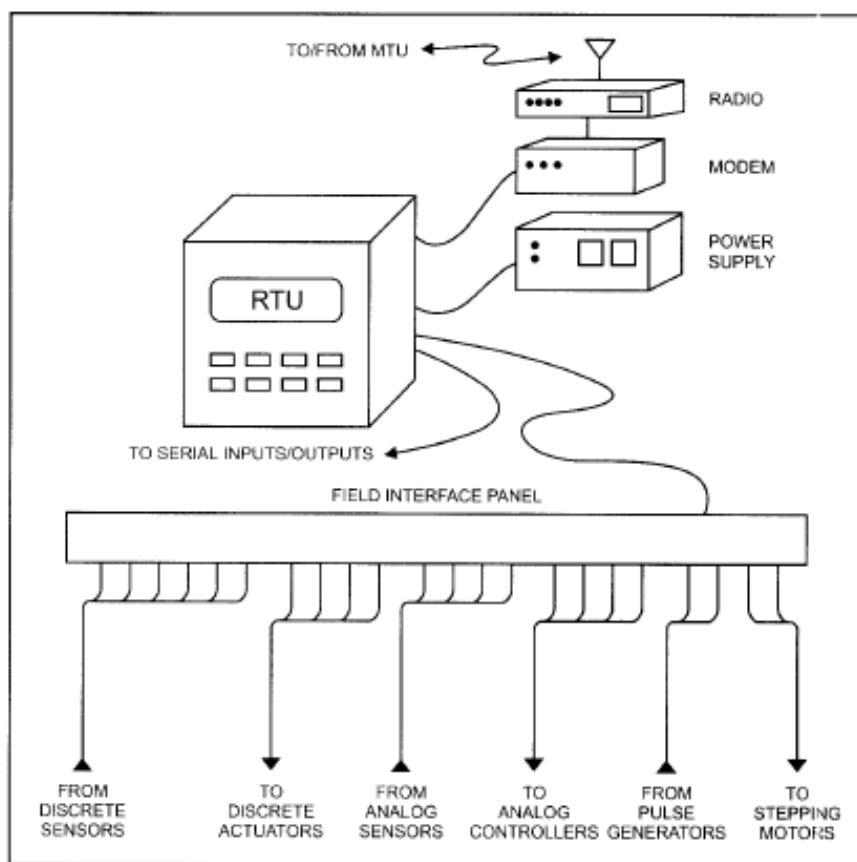


**Figura 9.** Componentes de un sistema SCADA.

Fuente: (Boyer, 2004)

La Figura 10 muestra a un RTU y sus diversas conexiones. Las RTU se comunican con la MTU mediante una señal modulada en el cable o la radio. Cada RTU debe tener la capacidad de comprender que un mensaje ha sido dirigido a él, para decodificar el mensaje, para actuar sobre el mensaje, para responder si es necesario, y para cerrarse

para esperar un mensaje nuevo. Debido a esta complejidad, la mayoría de las RTU se basan en tecnología informática.



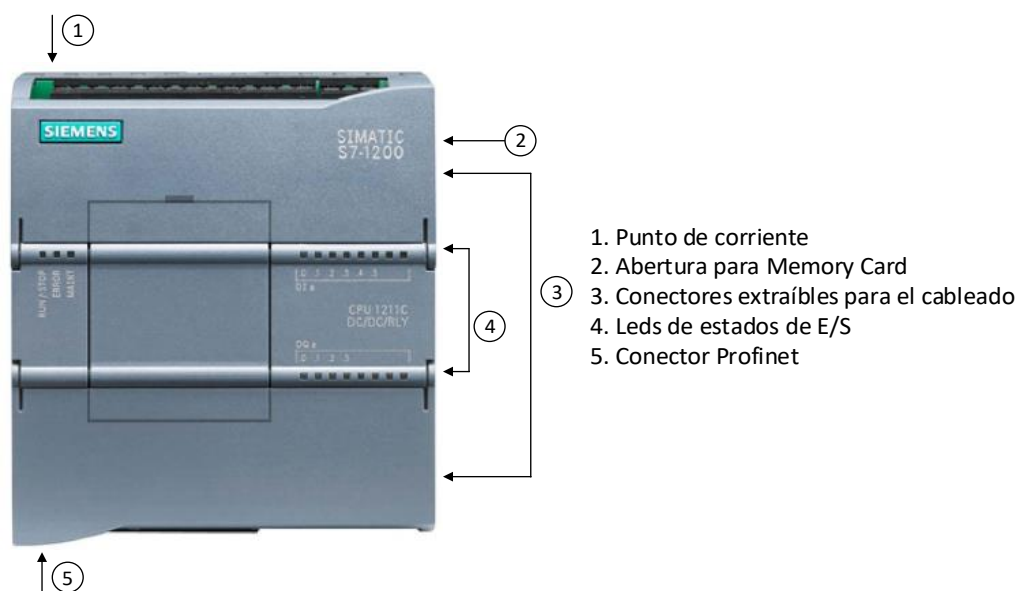
**Figura 10.** Conexiones de un RTU.

Fuente: (Boyer, 2004)

Las conexiones entre la RTU y los dispositivos de campo se realizan con mayor frecuencia con conductores eléctricos, es decir, con cables. Por lo general, la RTU suministra la energía eléctrica para los sensores y los actuadores de baja potencia. Dependiendo del proceso, los requisitos de confiabilidad pueden requerir el uso de una fuente de alimentación ininterrumpida (UPS) para garantizar que las fallas de la red eléctrica no resulten en problemas de seguridad o en el proceso.

### 2.2.9. Autómata S7-1200 Siemens

El controlador S7-1200 modular compacto brinda la potencia y flexibilidad apropiada para controlar una variedad de dispositivos para realizar trabajos de automatización. Debido a su poderoso conjunto de instrucciones, diseño compacto y configuración flexible es considerado como una solución idónea para el desarrollo de procesos de automatización (AG, Industry Online Support, 2014).

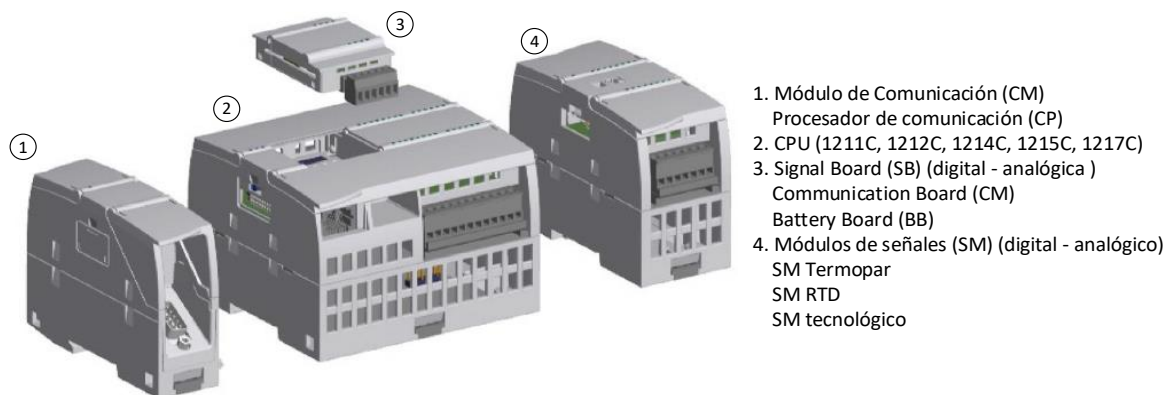


**Figura 11.** Autómata programable Siemens S7-1200.

Fuente: (AG, Industry Online Support, 2014)

#### a) Expansión de la CPU

La CPU del autómata S7-1200 proporciona diversos módulos y placas de conexión para adicionar sus capacidades con protocolos de comunicación e incremento de E/S.



1. Módulo de Comunicación (CM)  
Procesador de comunicación (CP)
2. CPU (1211C, 1212C, 1214C, 1215C, 1217C)
3. Signal Board (SB) (digital - analógica )  
Communication Board (CM)  
Battery Board (BB)
4. Módulos de señales (SM) (digital - analógico)  
SM Termopar  
SM RTD  
SM tecnológico

**Figura 12.** Expansión de la CPU Marca Siemens.

Fuente: (AG, Industry Online Support, 2014)

## b) Comunicaciones del controlador S7-1200

Los controladores S7-1200 disponen de una variedad de protocolos de comunicación para satisfacer las necesidades de red (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019).

- PROFINET
- PROFIBUS
- Punto a Punto
- Universal Serial Interface (USS)
- Modbus RTU o TCP/IP
- Comunicación Telecontrol
- AS- Interface

### c) Módulos de Comunicación

#### c.1) Módulo AS-I CM 1243-2 para S7-1200



**Figura 13.** Módulo AS-I CM 1243-2.

**Fuente:** (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019)

El maestro AS-Interface para el PLC S71200 es el módulo de comunicaciones CM 1243-2 y sus características son las mencionadas a continuación (AG, Information and Download Center, 2015):

- Se puede conectar hasta 62 esclavos AS-Interface
- Maneja valores analógicos
- Todas las funciones AS-Interface del maestro están disponibles según la versión del módulo maestro
- Mediante indicadores visuales se presenta el estado y funcionalidad de la red

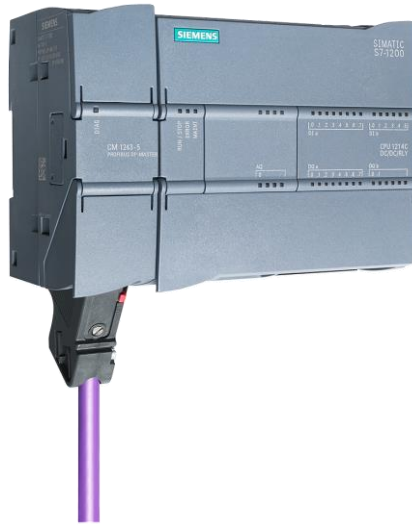
- Indicadores de fallos de tensión, errores de configuración y fallos de periferia mediante indicadores ubicados en la parte posterior de la tapa frontal
- Estructura de S7-1200 adecuada para entornos industriales
- Trabaja conjuntamente con fuente AS-I de 24V o una fuente de alimentación 24V estándar.
- El software TIA Portal permitirá configurar y diagnosticar.
- El módulo CM 1243-2 se coloca al lado izquierdo del PLC S7-1200 a través de contactos laterales.

### c.2) Módulo Profibus

El PLC S7-1200 es capaz de conectarse a un bus de campo PROFIBUS con la intervención de los módulos siguientes:

- **CM 1243-5:** Función de maestro DP

El maestro Profibus es capaz de comunicarse con otras CPU, con HMI y especialmente con esclavos PROFIBUS DP (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019).



**Figura 14.** Modulo CM 1243-5.

**Fuente:** (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019)

El número de módulos de comunicación que puede soportar el PLC S7-1200 es de tres como máximo a pesar de que el firmware determina el número máximo o mínimo de CMs. La velocidad de transferencia a la que trabaja el protocolo PROFIBUS es de 9,6 kbits/s a 12 Mbits/s.

### **Características Interfaz DP del CM 1243-5**

- ✓ El número de esclavos DP depende de la versión de STEP 7, firmware CPU de la estación maestra y firmware del CM 1243-5:
  - Firmware V1.2 del CM 1243-5 es máximo 32 esclavos DP
  - Firmware V1.0/ V1.1 del CM 1243-5 es máximo 16 esclavos DP
- ✓ Se manejan máximo 256 slots.
- ✓ El área de datos que se maneja en el maestro DP es de 512 bytes de entrada y 512 bytes de salida cumpliendo un total de 1024 bytes de datos a manejar.



- ✓ El área de datos del esclavo DP se maneja con 244 bytes de entrada, 244 bytes de salida y 244 bytes de diagnóstico.

Los esclavos DP que el PLC S7-1200 soporta con el módulo CM 1243-5 son:

- ✓ Periferia descentralizada SIMATIC ET200
- ✓ S7-1200 con CM 1242-5
- ✓ S7-300/400 con interfaz PROFIBUS o CP 342-5
- ✓ CPUs S7-200 - EM 277
- ✓ Convertidor de frecuencia SINAMICS
- ✓ Accionamientos y actuadores de diversos fabricantes
- ✓ Estaciones PC SIMATIC con CP PROFIBUS
- ✓ Sensores de diferentes proveedores
  
- **CM 1242-5:** Función esclavo DP

El esclavo inteligente CM 1242-5 es considerado como un módulo de solución de bajo costo a realizar una variedad de aplicaciones. El área de datos que el esclavo DP maneja es de 240 bytes de entrada y 240 bytes de salida. Para la configuración del módulo se utiliza la herramienta STEP 7 a partir de la versión V11.0 (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019).



**Figura 15** Modulo CM 1242-5.

**Fuente:** (AG, SCE - Siemens Automation Cooperates with Education, 2019)

Los maestros DP que el PLC S7-1200 soporta con el módulo CM 1242-5 son:

- ✓ S7-1200, S7-300, S7-400
- ✓ Módulos maestros DP
- ✓ Estaciones PC SIMATIC
- ✓ SIMATIC NET IE/PB Link PN IO
- ✓ Equipos de automatización de diferentes proveedores

### **c.3) Módulo Modbus CM 1241 RS 422/485**

El modulo CM 1241 tiene facilidad con el manejo y movimiento de datos entre autómatas o equipos de marca Siemens y de diferentes proveedores a través de acoplamiento punto a punto.

El módulo de comunicación CM 1241 utiliza la interfaz RS422/485 en el controlador S7-1200, la conexión de comunicación es mediante un conector SUB D de 9 polos. La velocidad de transferencia de datos es de 300 a 19200 bits/s. El módulo de comunicación es configurado y programado con STEP 7 (AG, Siemens Industry Mall, 2019).



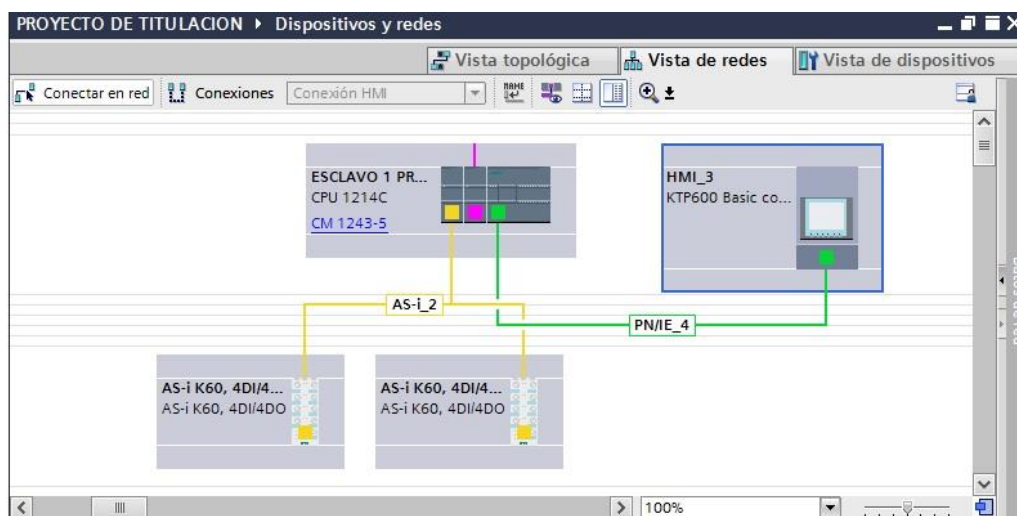
**Figura 16** Módulo Modbus CM 1241 RS 422/485  
Fuente: (AG, Siemens Industry Mall, 2019)

### 2.2.10. Software TIA Portal

TIA Portal es un software de ingeniería innovador que permite configurar los procesos de automatización de una forma eficiente e intuitiva, además la facilidad del uso de instrucciones y la nitidez para el manejo de datos, permite al programador trabajar en procesos de planificación y producción.

El software TIA Portal utiliza framework de ingeniería que es considera como un sistema que no presenta limitaciones entre softwares; pues permite la configuración,

programación y arranque de controladores lógicos programables, pantallas y sistemas de supervisión incorporados en TIA Portal (AG, Software SIMATIC, 2019).



**Figura 17.** Interfaz del software TIA Portal

Características del software TIA Portal (AG, TIA Portal, 2019).

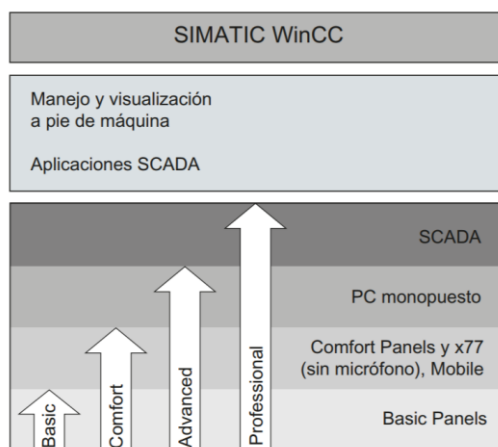
- Presenta un ambiente de desarrollo en donde es posible configurar, programar y operar autómatas PLC, HMI, SCADA y variadores de velocidad, además se disminuye la posibilidad de errores al enfocarse en un proyecto en concreto.
- La Interfaz del software TIA Portal es sencilla e intuitiva, ya sea para su aprendizaje y uso.
- Manejo de datos sencillo y accesible para el desarrollo de diversos sistemas de automatización.

- TIA Portal es un sistema encargado de brindar prestaciones referentes a mantenimiento, pues cuenta con herramientas de diagnóstico para todos los componentes.
- La estructura de su interfaz permite con facilidad el intercambio de datos o reutilización de objetos de automatización, minimizando el tiempo empleado en el desarrollo de algoritmos de programación.

### 2.2.11. WinCC

#### a) Introducción

El software WinCC, es una herramienta propia de Siemens para el desarrollo de interfaces gráficas (HMI) y sistemas SCADA, es un sistema incluido en el paquete TIA Portal, es optimizado para dispositivos de la familia S7, presenta varias versiones con las cuales se pueden configurar los dispositivos a pie de máquina y sistemas PC más avanzados.



**Figura 18.** Volumen de prestación de servicios de WinCC

Fuente: (SIEMENS, 2016)

La integración de los productos WinCC y Step 7 estandariza todas las funciones compartidas, también en su representación en pantalla.

Presenta varios beneficios para el usuario que van desde la operación intuitiva a través de la inteligencia integrada de los editores, con el uso de una base de datos compartida garantiza la máxima transparencia y la máxima consistencia de la información.

Permite la reutilización, ahorrando esfuerzos en ingeniería y aumenta simultáneamente la calidad de la solución.

WinCC usa un moderno sistema de gráficos compatible con la ingeniería de proyectos que permite el uso de componentes de imagen pre-configurados y estandarizados. Al crear imágenes es posible hacer sombras suaves e integrar archivos SVG.

En lugar de utilizar colores discretos, la paleta de colores trabaja con índices de color. Esto permite realizar diseños específicos de una manera muy simple.

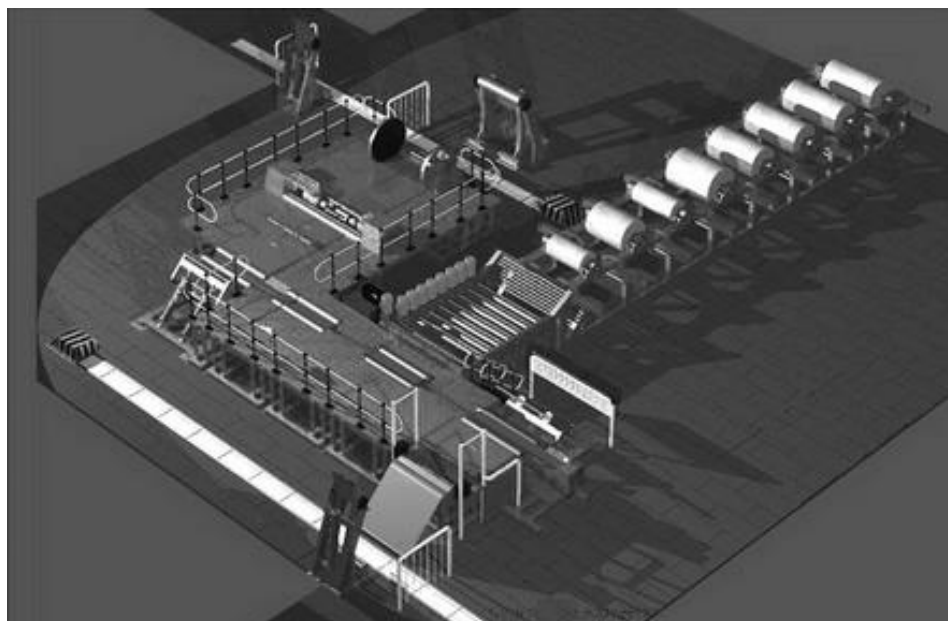
Utiliza un diseño modular que facilita la creación y la administración de HMI's específicas y llamarlas de acuerdo a la necesidad del usuario. (WinCC, s.f.)

#### **2.2.12. HMI – Human Machine Interface**

Los sistemas de control han ido siempre acompañados de unas interfaces de comunicación con el operador provistas de una tecnología más o menos compleja.

En sus inicios los sistemas que se utilizaban para controlar procesos eran tecnológicamente simples, pues debían controlar procesos simples y las necesidades de control eran mínimas, tal como podía ser abrir o cerrar una llave de paso.

Con el tiempo ha ido aumentando la complejidad de estos sistemas de forma exponencial, ya no basta con uno o dos indicadores, sino que son necesarios muchos más, colocados en unos paneles repletos de indicaciones, esquemas y dibujos hechos con más o menos gracia: los Paneles Sinópticos. Toda esta tecnología se había basado en la lógica cableada y ha ido evolucionando sobre la marcha, incorporando los últimos avances en visualización de datos, y han llegado a su máxima expresión, a día de hoy, con los ordenadores y las pantallas de visualización como estrella indiscutible de la función de diálogo entre el operador y el sistema.



**Figura 19.** Sinóptico de una bobinadora desarrollado con WinCC.

**Fuente:** (Penin, 2007)

La tarea de mantener informado al operador de lo que está aconteciendo en su instalación ha sido cada vez más difícil de plasmar físicamente, como se puede ver en la Figura 19. Ya no basta con un indicador, a veces es necesario colocar una imagen de conjunto para saber dónde estamos situados. Por ello, la interface HMI (Human Machine Interface, Interface Humano-Máquina) se ha centrado principalmente en la interacción entre el operario y el ordenador, punto de contacto entre la persona y la tecnología.

Los esfuerzos de los diseñadores se han centrado hasta ahora únicamente en el problema de mostrar toda la información disponible, sin tener en cuenta si esta información aparecía de manera coherente y comprensible para sus destinatarios o si era realmente útil como ayuda en la toma de decisiones

Un ejemplo bastante ilustrativo de su importancia fue el accidente de la central nuclear de Three Mile Island, Estados Unidos, en 1979. Parte de los incidentes que desencadenaron el suceso fueron debidos a insuficiencias en el diseño de la interface entre los operadores y los controles de la central

Toda esta historia de evolución ha ido orientada a hacer la tarea del operador más sencilla y cómoda, pero hay dos factores que no ha sido posible modificar con el tiempo: el aburrimiento y la fatiga.

Si consideramos que estas dos constantes siempre van a estar presentes, debemos tener en mente hacer lo posible para minimizar o retardar la aparición de las mismas.



### 2.2.13. Simulaciones 3D

La simulación es la representación o imitación de un proceso, en donde se muestra una serie de pasos correspondientes a las condiciones de un sistema en un tiempo determinado. La simulación puede crear procesos reales o imaginarios y estos pueden ser automatizados o interactivos. La finalidad de una simulación es distinguir las capacidades y comportamiento de un proceso sin necesidad de realizar una comparación con el proceso real (Castro, 2019).



**Figura 20.** Software Factory IO  
Fuente: (Games, 2006)

Una simulación 3D proporciona un entorno más real, permitiendo al usuario interactuar con los componentes del proceso, entender la secuencia del proceso y analizar el funcionamiento del sistema que se simulo.

#### **Ventajas de la simulación**

- Debido a la interactividad que presenta un entorno virtual permite un aprendizaje sencillo del proceso.

- El usuario experimenta un aprendizaje representativo, debido a las imágenes animadas, sonidos y textos presentes en el entorno.
- Ayuda a el entendimiento de lo teórico mediante la inmersión en la práctica.
- Permite desarrollar ambientes de trabajo a los cuales no se puede acceder debido al costo que representa la adquisición de dicho proceso.



**Figura 21.** Proceso desarrollado en Factory IO.  
Fuente: (Games, 2006)

#### **2.2.14. Advantech 4750**

El USB-4750 es un dispositivo que permite la adquisición de datos de manera eficiente y muy sencilla. En aplicaciones industriales el dispositivo USB-4750 se considera ideal y confiable, pues posee protecciones en el manejo de altos voltajes, además de ser económico para el desarrollo de aplicaciones domésticas. La configuración de software en el dispositivo es fácil y además dispone de temporizadores y una línea de interrupción. (Advantech Co., 1983)



**Figura 22.** Tarjeta Advantech 4750  
Fuente: (Games, 2006)

**Tabla 10.**  
Características Advantech 4750

CARACTERÍSTICAS	
Compatibilidad	USB 1.1 - 2.0 (plug & play)
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo Bus</li> <li>• No requiere alimentación externa</li> </ul>
Entradas-Salidas	16 DI aisladas y 16 canales de OD aislados
Aislamiento de alta tensión	2500 VDC en todos los canales
Alta corriente de hundimiento	100 mA en canales de salida aislados
Canales de entrada aislados	5 – 50 VDC
Rango de salida	5 - 40 VDC
Capacidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupciones</li> <li>• Temporizador</li> <li>• Contador</li> </ul>
Montaje	Riel DIN
Aplicación	Utilizado para cablear <ul style="list-style-type: none"> <li>• PLC</li> <li>• Microcontroladores</li> <li>• Hardware que requiera E/S digital opto-aislada</li> </ul>

Fuente: (Industrial, 2015)

## CAPÍTULO III

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Este capítulo detalla el diseño e implementación del sistema de entrenamiento en redes industriales, el sistema está compuesto por dos etapas, la primera consta de una interacción de datos digitales simulados en los controladores a través de pulsadores, y una segunda etapa donde los datos digitales son remplazados por variables obtenidas de simulación de procesos, la configuración de cada uno de los dispositivos que intervienen en esta infraestructura de red serán descrito a continuación, además también se enlista los equipos que son parte de la misma su configuración y puesta en marcha.

#### 3.1. Descripción del sistema

El sistema esté compuesto por los elementos enlistados en la Tabla 11 predominando los equipos de la marca siemens existentes en el laboratorio de Redes Industriales y Control de Procesos de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

**Tabla 11.**  
*Equipos empleados en el sistema*

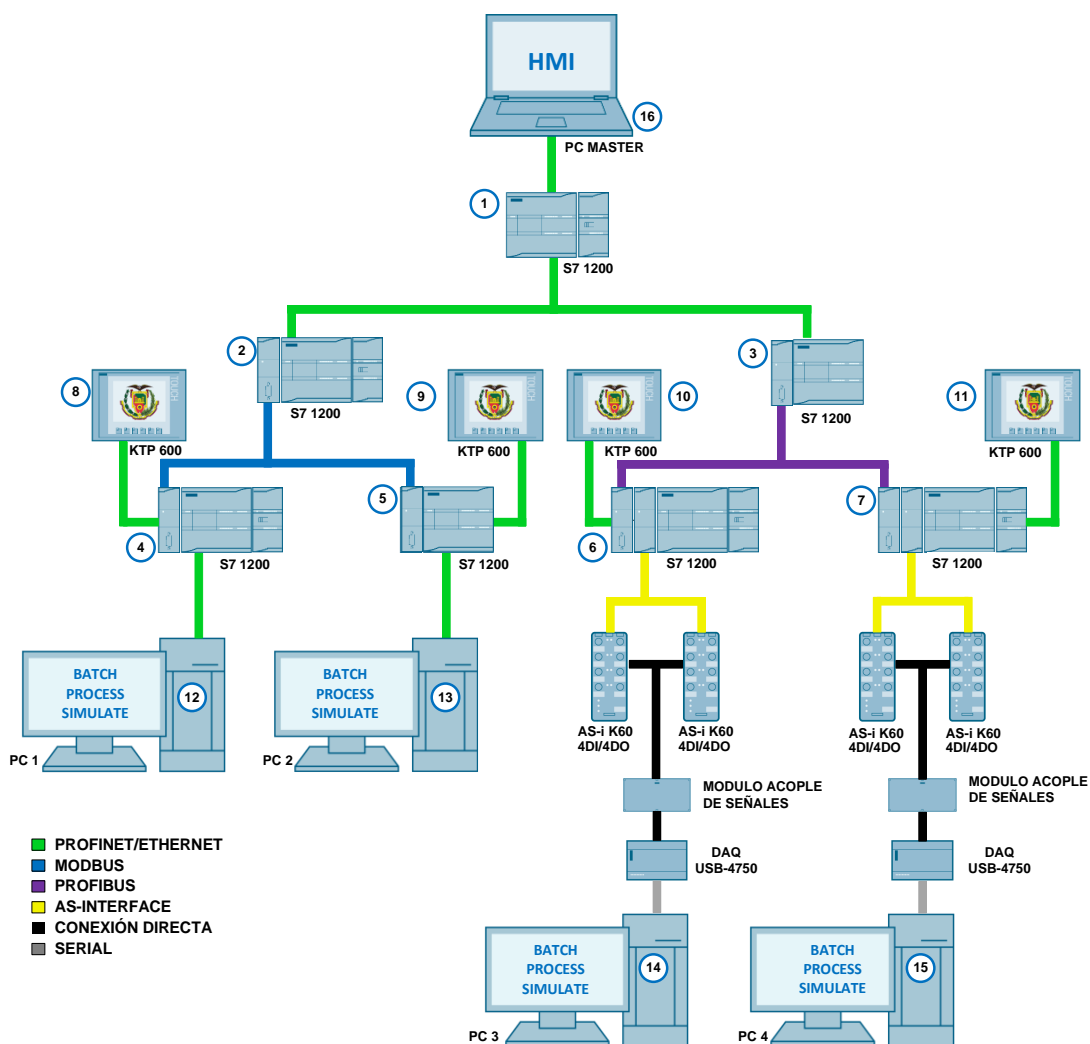
Equipo	Número de referencia
5 PLCs s7 1200 CPU 1214C AC/DC/Rly	214 1BG31 0XB0
2 PLCs s7 1200 CPU 1214C AC/DC/Rly	212 1BE40 0XB0
4 KTP 600 Basic Color	6AV6 647 0AD11 3AX0
3 módulos CM1241 RS 422/485	6ES7 241 1CH31 0XB0
2 módulos CM 1243-2 AS-I Master	3RK7 243 2AA30 0XB0

CONTINÚA 

2 fuentes AS-I	3RX9 501 OBA00
2 fuentes auxiliares de 24v SIEMENS	6EP1332 1SH43
1 fuentes auxiliares de 24v OMRON	S82K 03024
4 esclavos Digitales AS-I	3RK1400 1CQ00 0AA3
1 módulo ProfiBus DP-MASTER CM1243-5	243 5DX30 OXE0
2 módulo ProfiBus DP-SLAVE CM1242-5	242 5DX30 OXE0
2 DAQ ADVANTECH 32 CANALES	USB-4750
2 módulos de desacople de señales Relés 8 ch	YEMN-19
10 cables conector macho M12	- -
2 cables Bus AS-I amarillo	3RX9010 0AAA00
2 cables Bus AS-I negro	3RX9020 0AA20 24V
6 conectores ProfiBus	6ES7972 0BB50 0XA0
cable Profibus morado SCGP	6XV1 830 0EH10
6 conectores Profinet	6GK1901 1BB10 2AA0
3 cables Profinet verde	6XV 18402AH10
3 Switch Industrial Telemecanique	499 NES 25100
1 router D LINK	Dir 610
1 swich nexx	ASID T054U2
1 router Linksys	EA6900
1 swich 3COM	3C16794

Para configurar la red, al trabajar con equipos siemens se utilizó el software TIA Portal v14 lo cual nos permitirá configurar los PLCs y Touch Panels. Además, en la simulación de procesos se trabaja con un software propietario Factory I/O.

La composición de los dispositivos dentro de la red implementada se muestra en la Figura 23, las conexiones y la configuración de la red serán detalladas más adelante.



**Figura 23.** Sistema Implementado

Para poder realizar la configuración de una manera más didáctica, cada PLC está conectado a un punto de red ethernet, para poderlo configurar a través de una red wifi privada, se asigna a cada equipo de la red una dirección IP estática enlistadas en la Tabla

12. El procedimiento para configuración de IP se detallará en el segmento configuración de dispositivos.

**Tabla 12.**

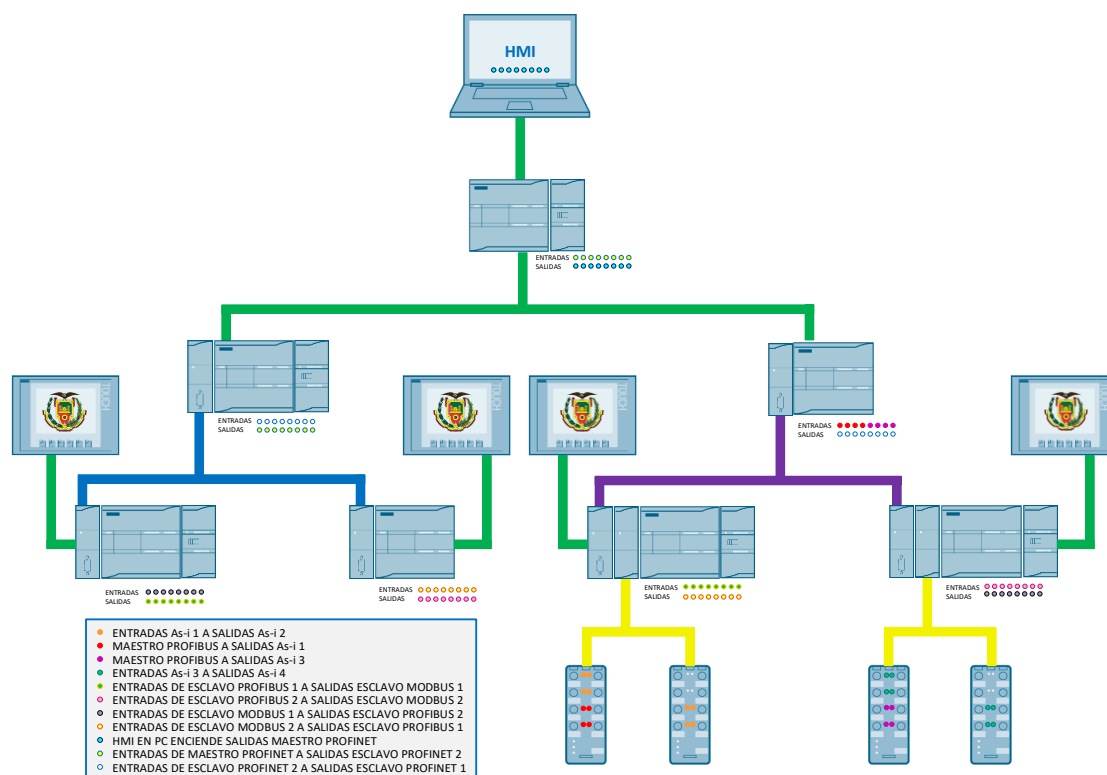
Asignación de parámetros de red dispositivos

	TIPO DE DISPOSITIVO	NOMBRE ASIGNADO AL DISPOSITIVO	DIRECCIÓN IP	MASCARA DE SUBRED
1	PLC	1.-MAESTRO PROFINET	192.168.0.2	
2	PLC	2.- PROFINET ESCLAVO 1 / MAESTRO MODBUS	192.168.0.3	255.255.255.0
4	PLC	2.1.- ESCLAVO 1 MODBUS	192.168.0.4	255.255.255.0
5	PLC	2.2.- ESCLAVO 2 MODBUS	192.168.0.5	255.255.255.0
3	PLC	3.- PROFINET ESCLAVO 2 / MAESTRO PROFIBUS	192.168.0.6	255.255.255.0
6	PLC	3.1.- PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1	192.168.0.7	255.255.255.0
7	PLC	3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2	192.168.0.8	255.255.255.0
8	Touch Panel	HMI MODBUS 1	192.168.0.14	255.255.255.0
9	Touch Panel	HMI MODBUS 2	192.168.0.15	255.255.255.0
10	Touch Panel	HMI AS-I 1	192.168.0.17	255.255.255.0
11	Touch Panel	HMI AS-I 2	192.168.0.18	255.255.255.0
12	PC	PC 1	192.168.0.24	255.255.255.0
13	PC	PC 2	192.168.0.25	255.255.255.0
14	PC	PC 3	192.168.0.27	255.255.255.0
15	PC	PC 4	192.168.0.28	255.255.255.0
16	PC	PC Master	192.168.0.100	255.255.255.0

### 3.1.1. Red con manejo de datos digitales

En la Figura 24 se muestra la interacción entre las entradas y salidas digitales de los distintos PLCs y módulos AS-I, generando un intercambio completo de datos a través de

todos los protocolos de comunicación implementados. Se utiliza un código de colores para identificar el movimiento de los datos.



**Figura 24.** Movimiento de datos digitales en la red

### 3.1.2. Red con procesos simulados

En esta etapa, se utiliza para la red datos obtenidos a través de una simulación de 4 procesos batch que son atados a la red en dos distintas maneras, las dos primeras con ethernet directamente al PLC que a su vez fungirán como esclavos de una red ModBus y mientras que los dos restantes usan una DAQ Advantech USB-4750 y módulos de acople de señales que permitirá la interacción entre la simulación y los esclavos AS-I K60 4DI/4DO.



Los datos obtenidos de la simulación de procesos subirán por las distintas redes industriales y podrán ser monitoreadas tanto desde paneles locales y un HMI remoto.

### 3.2. Conexión física y configuración de topología

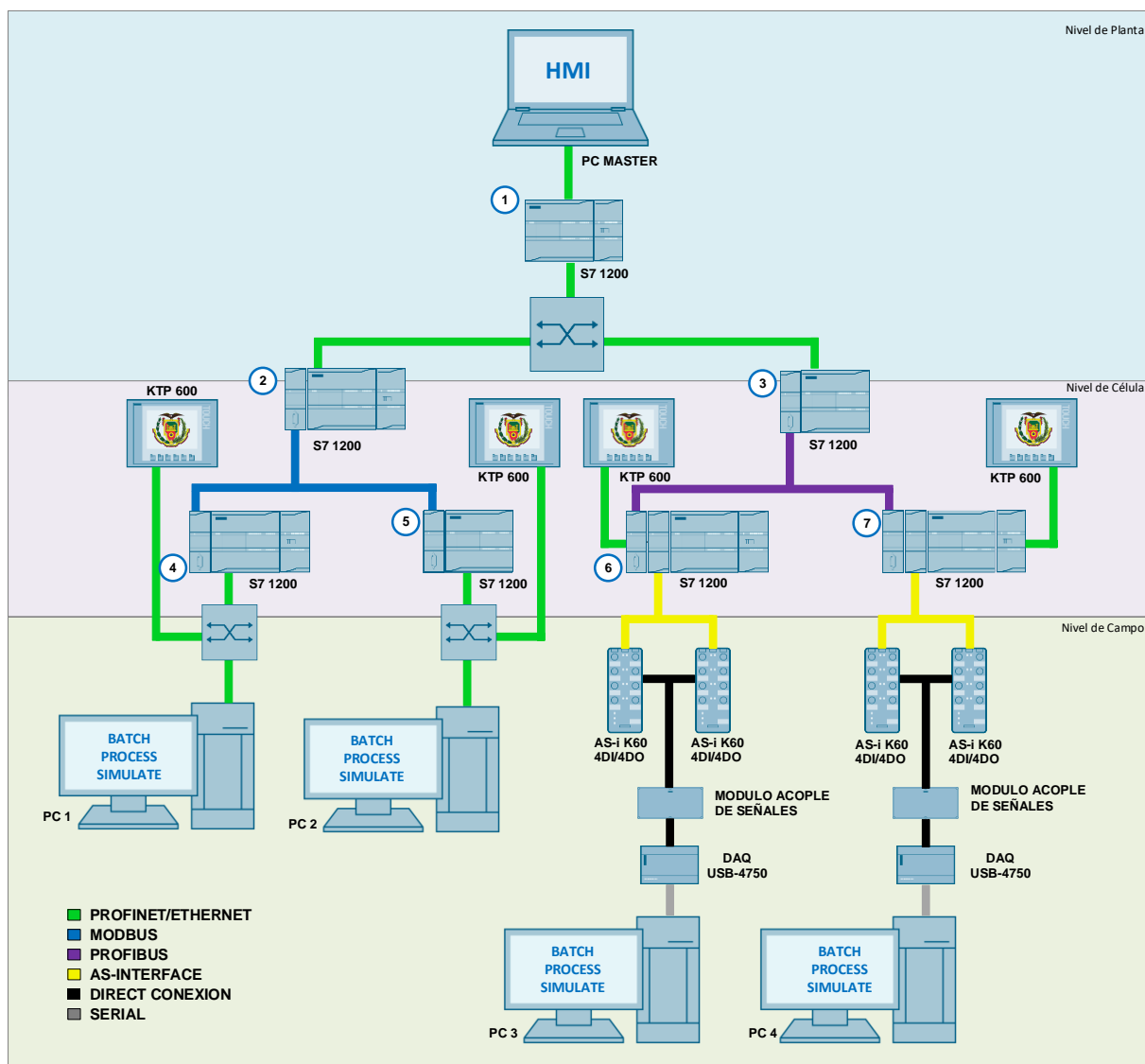
Haciendo referencia a la Figura 23 donde se encuentran numerados cada uno de los PLCs, la Tabla 13 se detalla los módulos conectados a cada CPU y de ser el caso, la IP de pantalla con la cual se conecta para su HMI.

**Tabla 13**  
*Conexión de módulos y HMI a CPU*

	Módulo de Comunicaciones	CPU	Módulo de expansión	Dirección IP de HMI
1		1212C AC/DC/Rly		192.168.0.100
2	CM 1241 (RS422/485)	1212C AC/DC/Rly		
3	CM 1243-5	1214C AC/DC/Rly		
4	CM 1241 (RS422/485)	1214C AC/DC/Rly	SM 1234 AI4/AQ2	192.168.0.14
5	CM 1241 (RS422/485)	1214C AC/DC/Rly	AQ1 (Signal Board)	192.168.0.15
6	CM 1242-5 CM 1243-2	1214C AC/DC/Rly	SM 1234 AI4/AQ2	192.168.0.17
7	CM 1242-5 CM 1243-2	1214C AC/DC/Rly	SM 1234 AI4/AQ2	192.168.0.18

En la Figura 25 se realiza una conexión en el nivel de supervisión a través de un switch; en el nivel de célula los PLCs, cumplen la función de pasarelas y en el nivel de campo en el primer ramal se conecta con ethernet a través de un switch industrial ConneXium 499 NES 25100 con 5 puertos para solventar la necesidad de conexión de dos dispositivos a

la CPU 1214C que posee un solo puerto RJ45, pero esta conexión no interfiere en la configuración piramidal de la estructura de red.

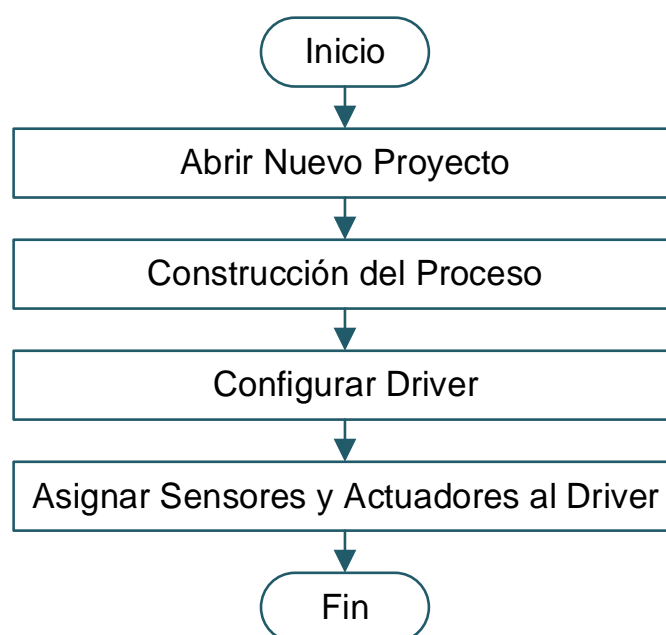


**Figura 25.** Diagrama de equipos en la pirámide de automatización

### 3.3. Simulación de procesos secuenciales

Para la simulación de los procesos utilizamos la versión trial de 30 días de Factory I/O, se ha considerado este software por su fácil configuración y su basta aplicación como entrenador 3D de procesos industriales, que cuenta con su propia librería de escenarios, además de permitirnos elaborar ambientes personalizados con los elementos más comunes en líneas de producción.

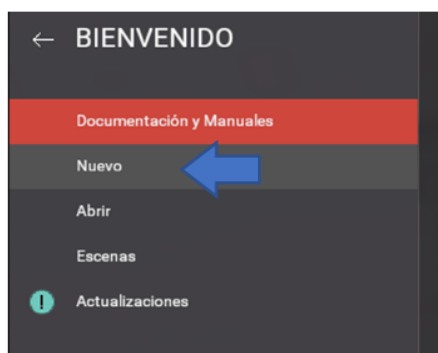
Se desarrolló el diseño de cuatro procesos diferentes que realizan la interacción virtual entre sensores y actuadores, para esto se ha seguido el diagrama de flujo de la Figura 26 que explica de manera general la puesta en marcha de cada una de las estaciones que funcionarían en nivel de campo.



**Figura 26.** Diagrama de diseño y configuración de un nuevo proceso

### 3.3.1. Crear un nuevo Proyecto en Factory I/O

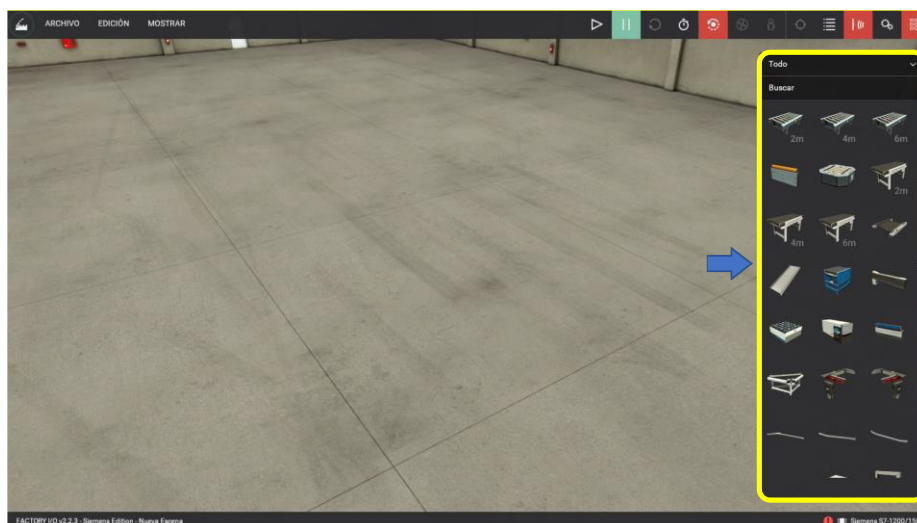
Lo primero a tomar en consideración es la creación de un nuevo entorno para lo cual se abre el programa y en la ventana principal damos clic en la pestaña nuevo ubicado a la izquierda de la pantalla como se muestra en la Figura 27.



**Figura 27.** Menú izquierdo de la ventana inicial de Factory I/O

### 3.3.2. Diseño de procesos en 3D

Para el diseño de los procesos, el software Factory I/O nos da varios elementos propios de un entorno industria agrupados al costado derecho de la ventana de proyecto mostrado en la Figura 28, Cada elemento tiene diferentes características y configuraciones. Para desarrollar cada proceso basta con arrastrar los elementos y ubicarlos en la posición adecuada para que cumpla la función que se espera.

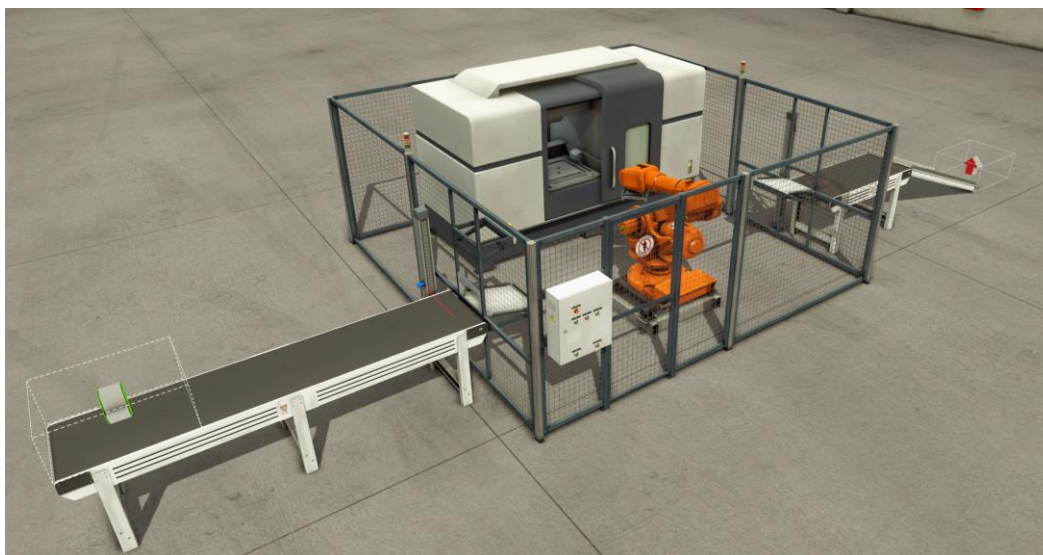


**Figura 28.** Ventana de nuevo proyecto

En este apartado se detallará los elementos de cada proceso que será utilizado en el nivel de campo.

#### **a) Estación de Trabajo 1: Centro de Mecanizado.**


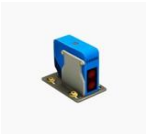

Este proceso consiste en una banda transportadora que ingresa el material a una zona de acceso para que un brazo robótico industrial, tome la materia prima y la ingrese a una CNC que lo procesará, luego de procesado el brazo robótico ubica el producto final en otra banda transportadora que lo mueve hasta su salida. El diseño del proceso lo podemos observar en la Figura 29 .





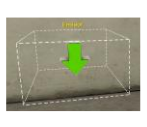
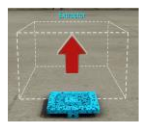
**Figura 29.** Estación de trabajo 1: Centro de Mecanizado

En la Tabla 14, muestra los elementos que componen y el tipo de dato que se le debe aplicar para la configuración.

**Tabla 14**  
*Elementos del Proceso de Mecanizado.*

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN	TAG	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
	Digital	Banda de ingreso	Output	Bool	Gira la banda en una dirección
		Banda de salida			
		Sensor de entrada	Input	Bool	Detector
		Sensor de salida	Input	Bool	
		Mecanizado (start)	Output	Bool	Inicia el proceso de mecanizado
		Mecanizado (stop)	Output	Bool	Termina el proceso de mecanizado

CONTINÚA 

	Acción momentánea	Inicio	Input	Bool	Botón de inicio de proceso
	Acción momentánea	Reseteo	Input	Bool	Restablece el proceso
		Emisor			Suelta en la simulación un objeto para su procesamiento
		Extractor			Retira los objetos de la simulación

## b) Estación de Trabajo 2: Pick & Place



Esta estación consiste en dos bandas transportadoras paralelas una para carga y descarga respectivamente, en la banda de carga ingresan cajas las cuales a través de un robot cartesiano de dos ejes son elevadas y movidas a la banda de descarga para su extracción. Se utilizan sensores infrarrojos para detectar la posición del robot y de las cajas. El diseño del proceso se lo puede observar en la Figura 30.



**Figura 30.** Estación de Trabajo 2: Pick & Place

En la Tabla 15, muestra los elementos que componen y el tipo de dato que se le debe aplicar para la configuración.

**Tabla 15**  
*Elementos del Proceso Pick & Place*

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN	TAG	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
	Digital	Banda de ingreso	Output	Bool	Gira la banda en una dirección
		Banda de salida			
		Sensor de ubicación entrada	Input	Bool	Detector
		Sensor de ubicación salida	Input	Bool	
		Sensor posición ejex	Input	Bool	

CONTINÚA 



		Mov x	Output	Bool	Mueve el brazo en el eje x
		Mov z	Output	Bool	Mueve el brazo en el eje z
		Ventosa	Output	Bool	Enciende la ventosa
		Detector de objeto	Input	Bool	Detector de objeto en la ventosa
		Emergencia	Input	Bool	Parada de emergencia activada
	Acción momentánea	Inicio	Input	Bool	Botón de inicio de proceso
	Acción momentánea	Reseteo	Input	Bool	Restablece el proceso
	Acción momentánea	Paro	Input	Bool	Detiene el proceso
		Emisor			Suelta en la simulación un objeto para su procesamiento
		Extractor			Retira los objetos de la simulación

### c) Estación de Trabajo 3: Selector de Paquetes con Brazo Giratorio

Esta estación consta de una banda clasificadora de paquetes grandes y pequeños, el tamaño de los paquetes es detectado a través de sensores infrarrojos, de acuerdo con el tamaño se activa un brazo pivote giratorio con los paquetes grandes, se redirecciona a una salida, Al detectar paquetes pequeños, el pivote regresa a su posición original y permite continuar su camino hasta su extracción. El diseño del proceso se lo puede observar en la Figura 31.



**Figura 31.** Estación de trabajo 3: Selector de Paquetes con Brazo Giratorio

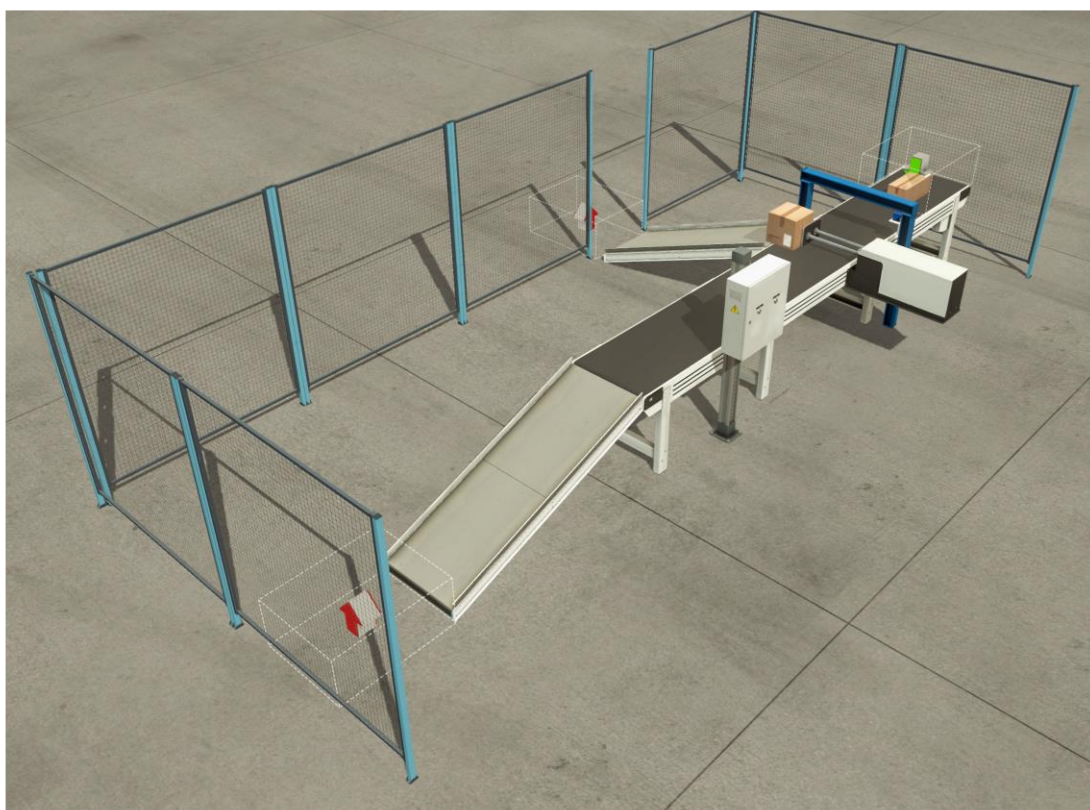
En la Tabla 16, muestra los elementos que componen y el tipo de dato que se le debe aplicar para la configuración.

**Tabla 16***Elementos del Proceso Selector de Paquetes con Brazo Giratorio*

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN	TAG	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
	Digital	Banda de ingreso	Output	Bool	Gira la banda en una dirección
		Sensor de tamaño	Input	Bool	Detector
	Digital	Brazo pivote	Output	Bool	Se activa para desviar los objetos
		Banda de brazo	Output	Bool	
	Acción momentánea	Inicio	Input	Bool	Botón de inicio de proceso
	Acción momentánea	Paro	Input	Bool	Detiene el proceso
		Emisor			Suelta en la simulación un objeto para su procesamiento
		Extractor			Retira los objetos de la simulación

#### d) Estación de Trabajo 4: Selector de paquetes con Pusher

La estación consta de una banda transportadora por la cual circulan paquetes grandes y pequeños, su tamaño es determinado con un sensor infrarrojo, al detectar una caja grande, esta es expulsada de la banda con un pusher, caso contrario la banda continua con los paquetes pequeños y los saca al fin de la misma. El diseño del proceso se lo puede observar en la Figura 32.



**Figura 32.** Selector de Paquetes con Pusher.

En la Tabla 17, muestra los elementos que componen y el tipo de dato que se le debe aplicar para la configuración.

**Tabla 17***Elementos del Proceso Selector de Paquetes con Pusher*

ELEMENTO	CONFIGURACIÓN	TAG	I/O	TIPO	DESCRIPCIÓN
	Digital	Banda de ingreso	Output	Bool	Gira la banda en una dirección
		Sensor de tamaño	Input	Bool	Detector
	Digital	Pusher	Output	Bool	Se activa para empujar los objetos no deseados
	Acción momentánea	Inicio	Input	Bool	Botón de inicio de proceso
	Acción momentánea	Paro	Input	Bool	Detiene el proceso
		Emisor			Suelta en la simulación un objeto para su procesamiento
		Extractor			Retira los objetos de la simulación

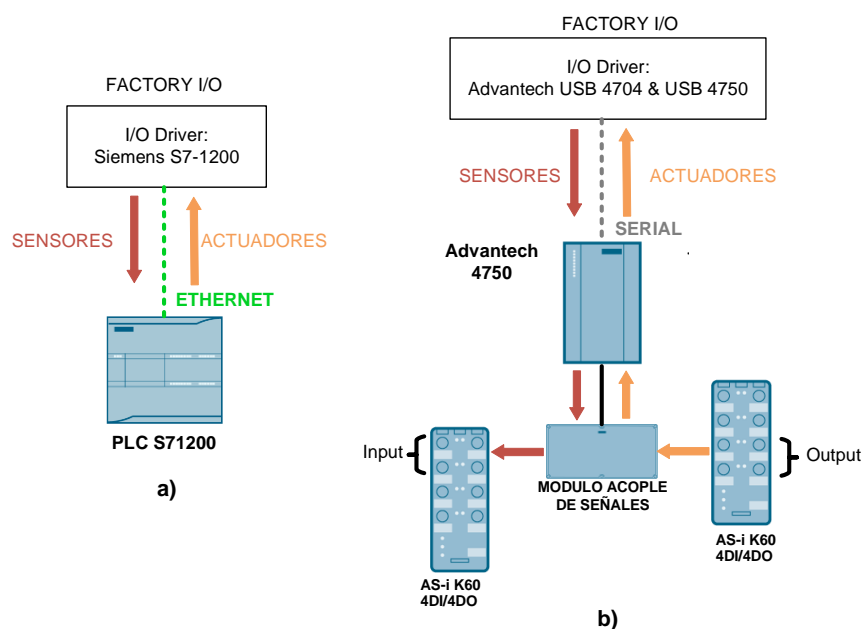
### 3.3.3. Configuración de Driver en Factory I/O

En el nuevo proyecto se procede a dar clic en la barra superior en el menú archivo y en el ítem driver o a su vez se presiona la tecla F4 para configurar el dispositivo con el cual se va a trabajar como interfaz como lo muestra la Figura 33.



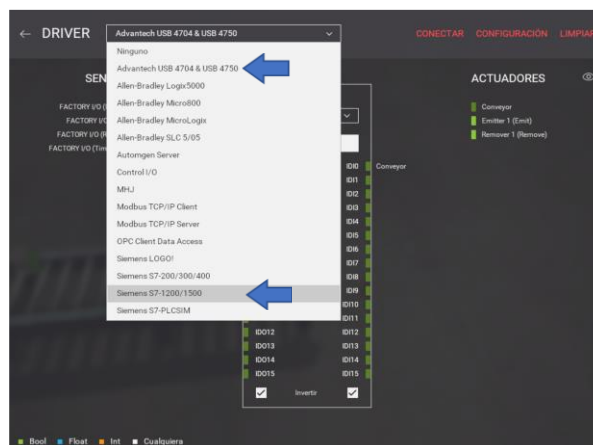
**Figura 33.** Menú Archivo de Factory I/O.

Se debe configurar de acuerdo a la Figura 34 a) la PC1 y PC2 de acuerdo al esquema de red, a su vez la PC3 y PC4 serán configuradas de la manera indicada en la figura 6 b).



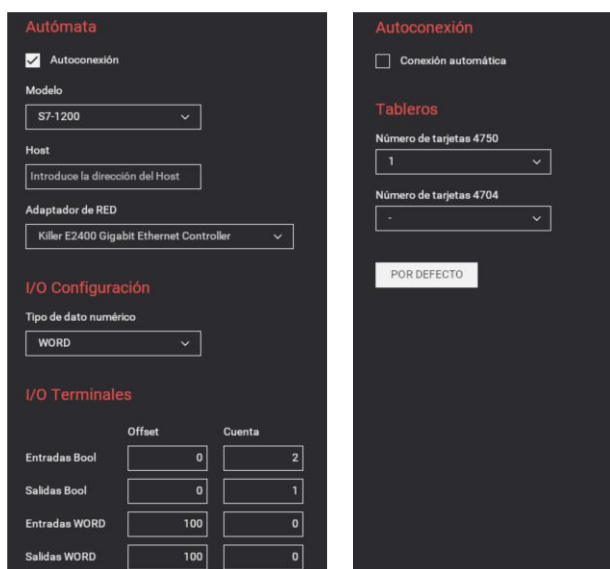
**Figura 34.** a) Configuración de driver directamente a PLC, b) Configuración de driver como simulador de sensores a través de DAQ

En la ventana Driver mostrada en la Figura 35. se selecciona el tipo de dispositivo, ya sea Advantech USB 4704 &4750 o Siemens S7-1200/1500.



**Figura 35.** Selección de driver

Es necesario parametrizar las configuraciones del dispositivo, por lo cual es necesario dar clic en configuración, lo cual dependiendo del dispositivo seleccionado desplegará una ventana mostrada en la Figura 36.



a)

b)

**Figura 36.** a) Configuración de driver Siemens S7-1200/1500 b) configuración de driver Advantech USB 4704 &4750

El detalle de las configuraciones aplicadas a los computadores que simularan los procesos, se ubican en la Tabla 18, en el ítem de adaptador de red seleccionaremos el único ítem propio de cada computador.

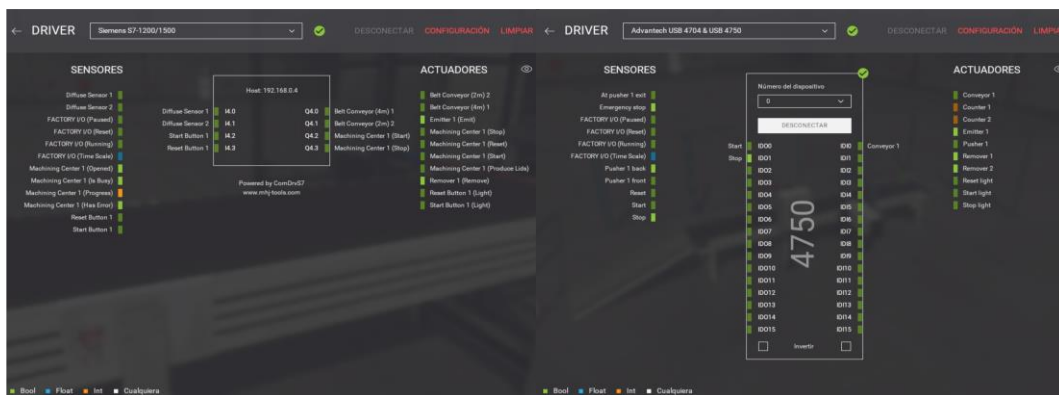
**Tabla 18**  
*Configuración de Driver en Factory I/O*

Computador	Autómata				I/O Configuración		I/O Terminales						
	Autoconexión	Modelo	Host	Adaptador de RED	Tipo de dato numérico	Entradas Bool		Salidas Bool		Entradas WORD		Salidas WORD	
						offset	Cuenta	offset	Cuenta	offset	Cuenta	offset	Cuenta
PC1	✓	S7-1200	192.168.0.4	predet	WORD	4	4	4	4	100	0	100	0
PC2	✓	S7-1200	192.168.0.5	predet	WORD	4	8	4	5	100	0	100	0
	Autoconexión				Tableros								
	Conexión Automática				Número de tarjetas 4750				Número de tarjetas 4704				
PC3		✓				1				-			
PC4		✓				1				-			

### 3.3.4. Asignación de señales al driver

Luego de haber desarrollado las plantas y configurado el driver se procede asignar los sensores y actuadores simulados a los distintos drivers para lo cual el programa Factory I/O organiza a la izquierda los sensores y derecha los actuadores, y basta con jalar cada uno de ellos a un espacio del driver configurado para asignarlo como se puede ver en la Figura 37.





a) b)  
**Figura 37.** Asignación de señales al driver. a) PLC Siemens s7 1200. b) Advantech 4750.

Cada proceso detallado en la sección 3.3.1 tiene su propia asignación de señales al driver, estas IO están detalladas en la Tabla 19 donde se asigna un espacio de memoria en el caso de ser un PLC y en el caso de ser una DAQ se les asigna una entrada o salida física.

**Tabla 19**  
*Asignación de señales al driver*

Driver Siemens S7 1200	
Estación de Trabajo 1: Centro de Mecanizado	
Entradas	
Elemento	Asignación
Pulsador de Inicio	I 4.0
Pulsador de Reseteo	I 4.1
Sensor de Entrada	I 4.2
Sensor de Salida	I 4.3
Salidas	
Elemento	Asignación
Banda de ingreso	Q 4.0
Banda de salida	Q 4.1
Mecanizado (Start)	Q 4.2
Mecanizado (Stop)	Q 4.3
Estación de Trabajo 2: Pick & Place	
Entradas	
Elemento	Asignación
Paro de emergencia	I 4.0

CONTINÚA 

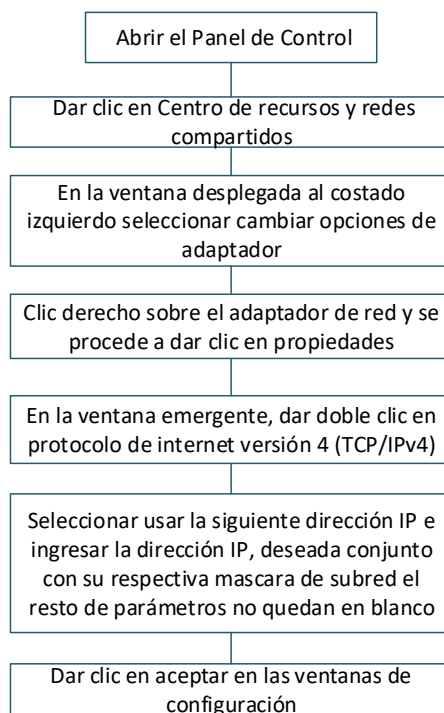
Pulsador de Inicio	I 4.1
Pulsador de Reseteo	I 4.2
Pulsador de Paro	I 4.3
Sensor de Entrada	I 4.4
Sensor de Salida	I 4.5
Sensor de posición en eje X	I 4.6
Sensor detección de objeto en ventosa	I 4.7
<b>Salidas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Asignación</b>
Banda de ingreso	Q 4.0
Banda de salida	Q 4.1
Movimiento en X	Q 4.2
Movimiento en Z	Q 4.3
Ventosa	Q 4.4
<b>Driver Advantech 4750</b>	
<b>Estación de Trabajo 3: Selector de Paquetes con Brazo Giratorio</b>	
<b>Entradas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Asignación</b>
Pulsador de Inicio	IDO 0
Pulsador de Paro	IDO 1
Sensor de Tamaño	IDO 2
<b>Salidas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Asignación</b>
Banda Transportadora	IDI 0
Brazo Pivote	IDI 1
Banda de Brazo	IDI 2
<b>Estación de Trabajo 4: Selector de paquetes con Pusher</b>	
<b>Entradas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Asignación</b>
Pulsador de Inicio	IDO 0
Pulsador de Paro	IDO 1
Sensor de Tamaño	IDO 2
<b>Salidas</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Asignación</b>
Banda Transportadora	IDI 0
Pusher	IDI 1

### 3.4. Configuración general de dispositivos

En este apartado se trata las configuraciones que se realizan a los equipos para poder realizar su interacción en la red, en la configuración de PLC's además se detalla cómo crear un nuevo proyecto en él se agregaran todos los PLC y dispositivos de red configurables con TIA portal.

#### 3.4.1. Configuración de Computadores

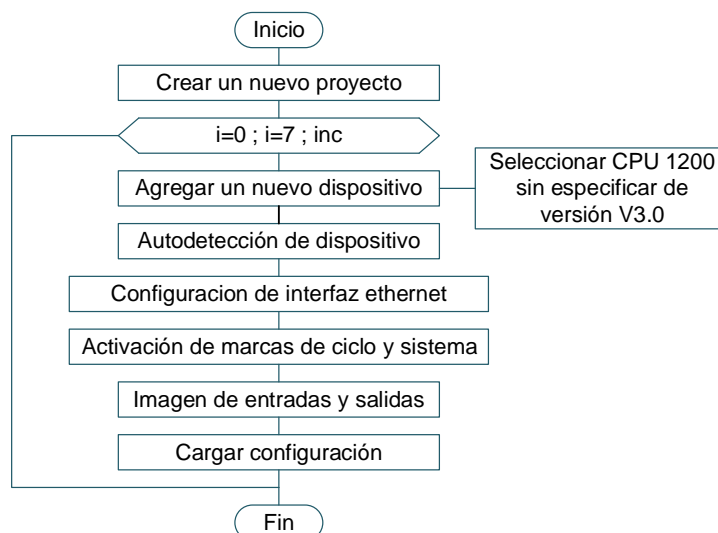
En cuanto a la configuración de cada computador, se debe establecer una dirección IP estática para lo cual se realizó el siguiente procedimiento descrito en la Figura 38. Este proceso se lo realiza para todas las computadoras, las IP y máscaras de subred que se utilizan están definidas en la Tabla 12.



**Figura 38.** Proceso para configurar una IP estática en un computador

### 3.4.2. Configuración de PLC's

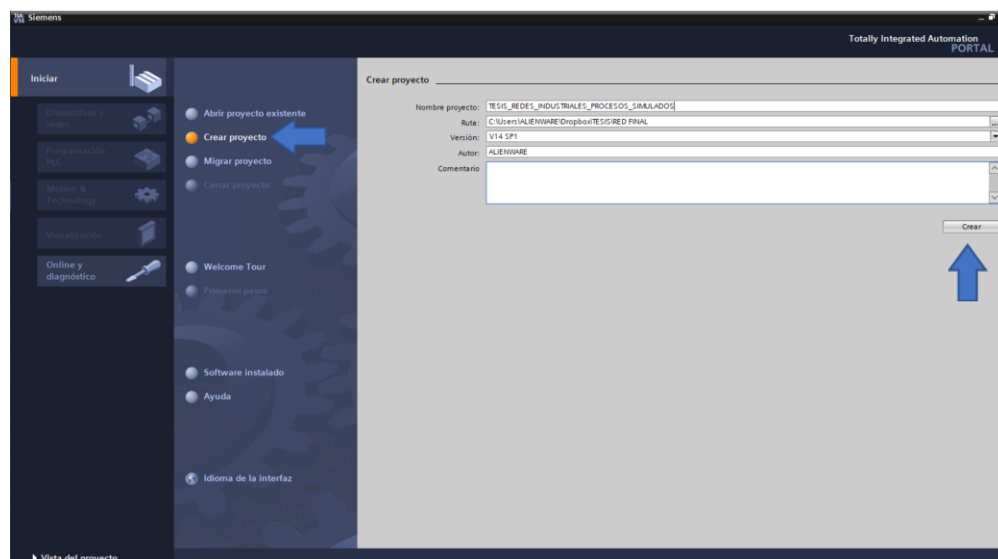
Para la configuración de estos dispositivos de la red se utilizó el procedimiento descrito en la Figura 39.



**Figura 39.** Proceso de configuración de dispositivos

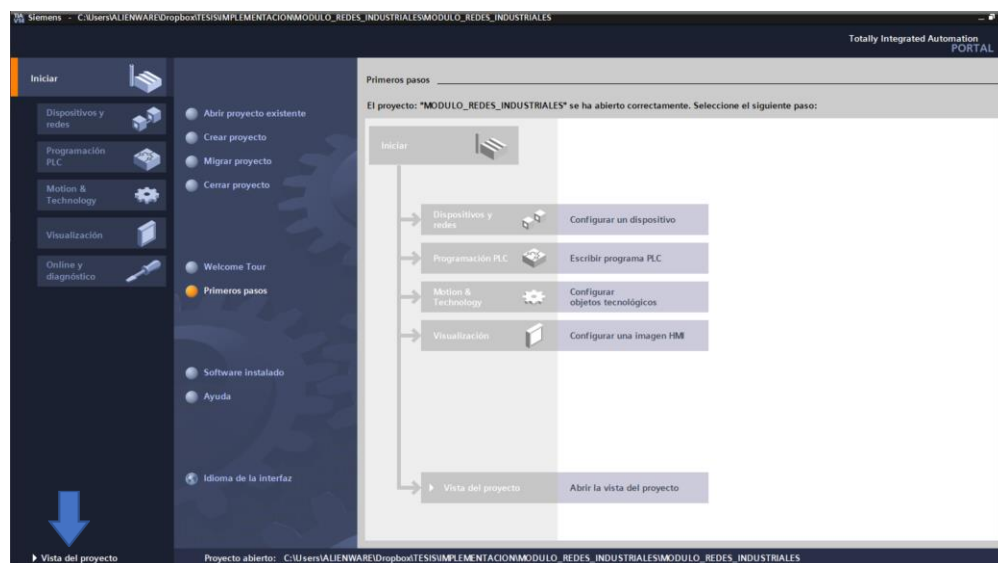
#### a) Crear un nuevo Proyecto

Luego de abrir el software TIA Portal, se crea un nuevo proyecto para lo cual se da clic en crear proyecto, se ingresan los campos necesarios y a continuación se da clic en crear.



**Figura 40.** Creación de un nuevo proyecto

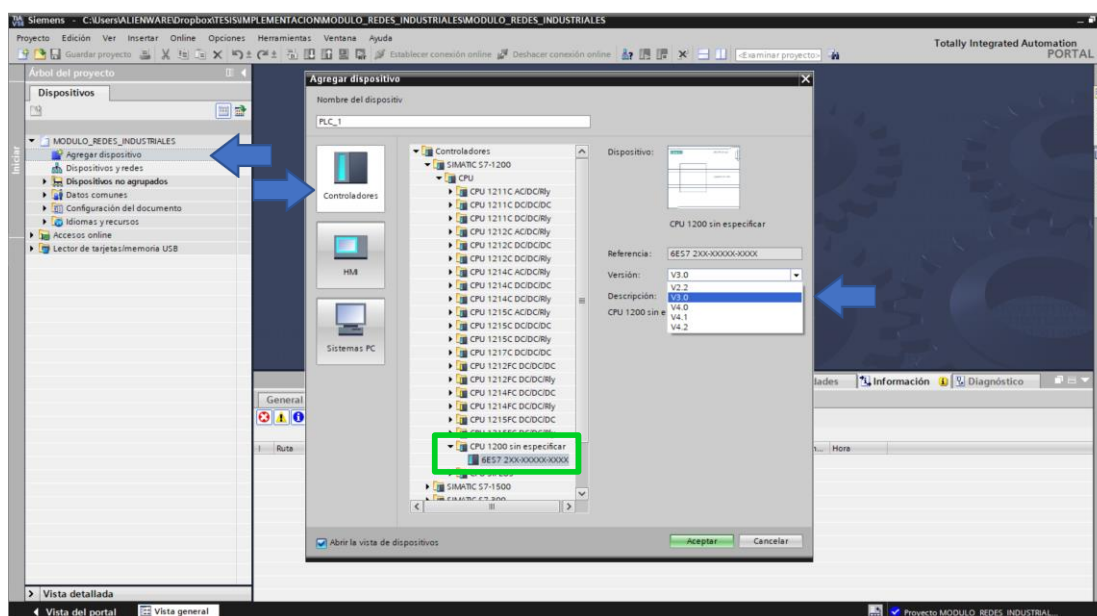
Ya creado el proyecto cambiamos de la vista de portal a la vista de proyecto dando clic en la esquina inferior izquierda como lo muestra la Figura 41.



**Figura 41.** Cambio a vista de proyecto

## b) Agregar un nuevo dispositivos

Para añadir un nuevo dispositivo, se da doble clic en agregar un nuevo dispositivo después clic en controlador y se selecciona un CPU 1200 sin especificar con la finalidad de no tener problemas de firmware.

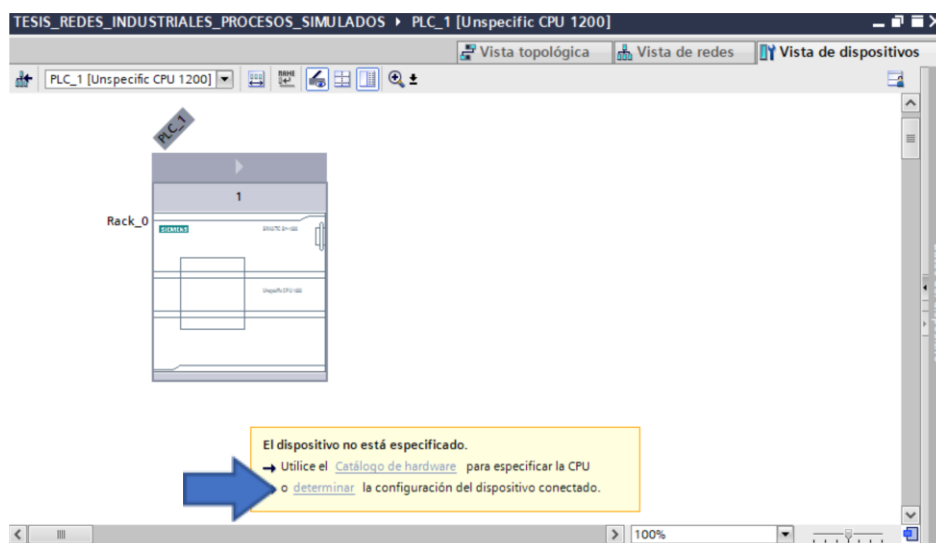


**Figura 42.** Vista de proyecto y ventana para agregar dispositivo

Se ingresa el nombre del dispositivo en la parte superior, los nombres de los dispositivos están definidos en la Tabla 12, y en versión se selecciona 3.0 dado que los PLCs son de la generación 214-1BG31-0XB0 y procedemos a dar clic en agregar, lo cual nos despliega la ventana de dispositivos.

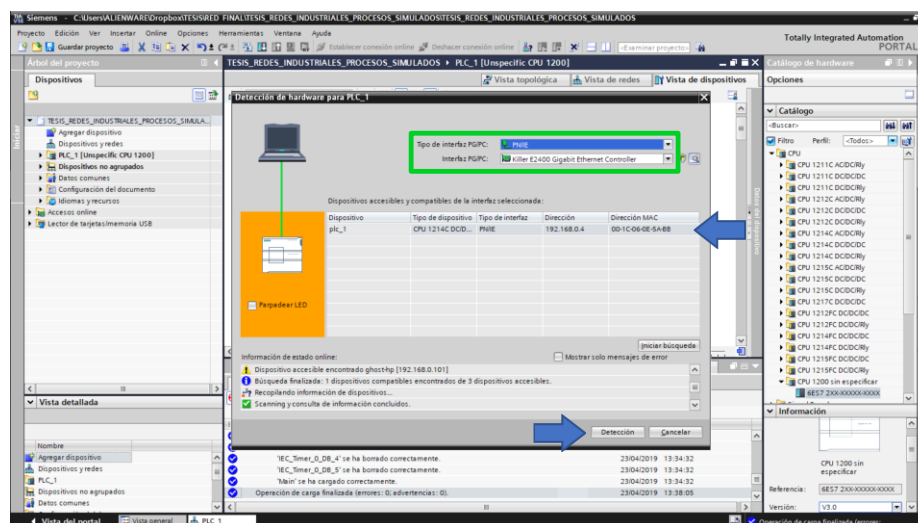
### c) Autodetección de dispositivo

Se procede a detectar el PLC para lo cual se recomienda una conexión punto a punto con el dispositivo. Se da clic en determinar lo cual despliega la ventana de detección de hardware.



**Figura 43.** Vista de dispositivos

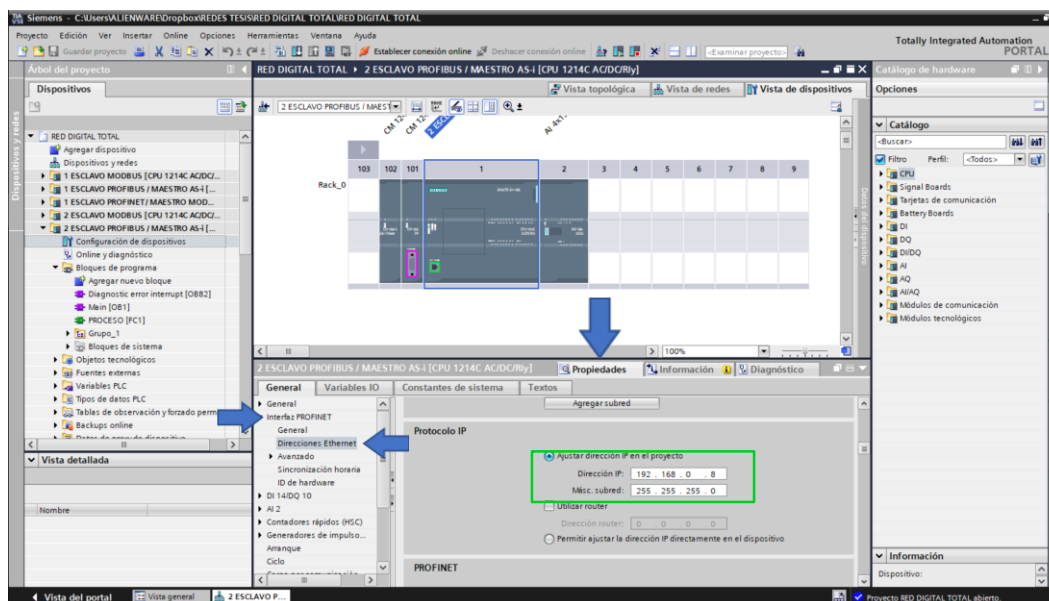
En esta ventana se procede a configurar el tipo de interfaz como PN/IE y en interfaz la tarjeta de red del ordenador con el que se trabaje. Después se da clic en iniciar búsqueda lo cual despliega una lista de los dispositivos accesibles y compatibles con la interfaz. Se da clic sobre el dispositivo que se va a detectar y se procede a dar clic en el botón Detección, luego de unos segundos retorna a la ventana vista de dispositivo en la cual se puede observar el PLC conjunto a los módulos de expansión y comunicación conectadas a la CPU.



**Figura 44.** Detección de dispositivo

#### d) Configuración de la interfaz de Ethernet

Para configurar la dirección IP que se asigna al dispositivo se procede a dar clic en propiedades, luego en interfaz PROFINET y clic en direcciones de Ethernet, se configura la dirección IP y máscara de subred de acuerdo a lo especificado en la Tabla 12.

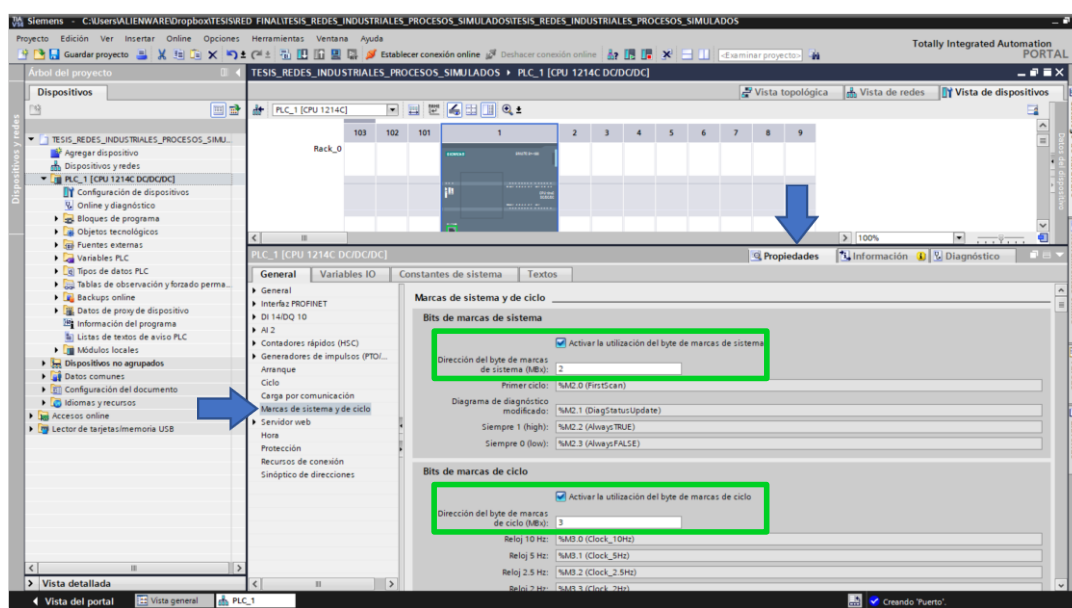


**Figura 45.** Configuración de IP en PLC



### e) Activación de marcas de ciclo y sistemas

Para activar las marcas de ciclo y de sistema, se procede en la pestaña de propiedades a dar clic en Marcas de sistema y de ciclo, En Bits de marca de sistema se procede a activarlo y se lo configura en la dirección 2, de igual manera activamos el byte de marca de ciclo y configuramos su dirección en 3.



**Figura 46.** Activación de marcas de ciclo y sistema

### f) Creación de imagen de Entradas y Salidas

Como primer punto de este apartado añadiremos a la tabla de variables del PLC las variables que se utilizarán, para lo cual, dentro de la pestaña del dispositivo se da clic en Variables PLC y después en Mostrar todas las variables, lo cual desplegará la ventana de Variables, en esta ventana se añaden las variables a ser utilizadas en este

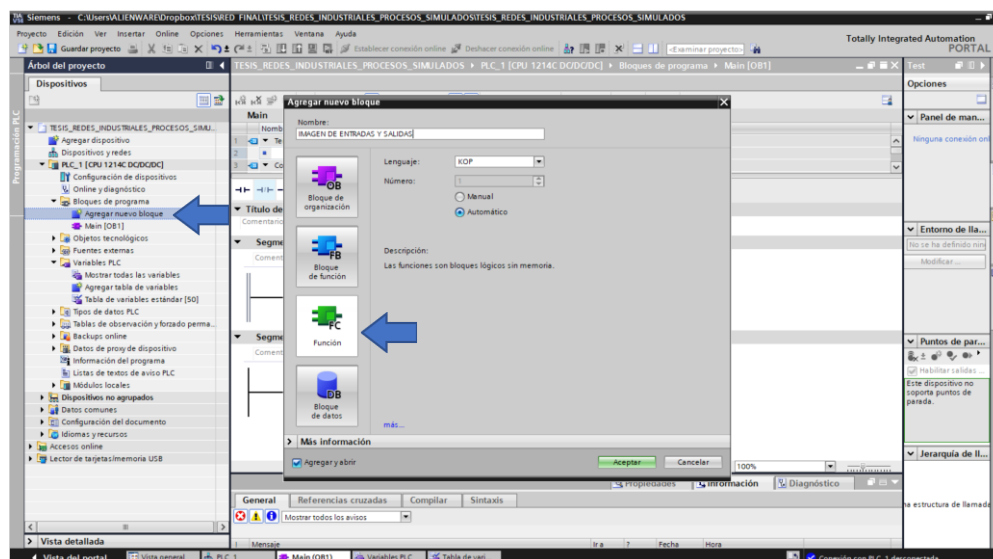
procedimiento como si se tratara de una tabla de Excel, el producto final puede observarse en la Figura 47.

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema.	Acces.	Escrib.	Visibl.	Comentario
Cloc_10Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_5Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.1			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_2.5Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.2			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_1.25Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.3			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_1Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.4			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_0.625Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.5			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Cloc_0.5Hz	Tabla de variables e.	Bool	NM0.6			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
SALIDA FISICA	Tabla de variables e.	Byte	NOB0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
ENTRADA FISICA	Tabla de variables e.	Byte	NB0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_1	Tabla de variables e.	Byte	NM0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_2	Tabla de variables e.	Bool	NM0.1			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_3	Tabla de variables e.	Bool	NM0.2			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_4	Tabla de variables e.	Bool	NM0.3			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_5	Tabla de variables e.	Bool	NM0.4			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_6	Tabla de variables e.	Bool	NM0.5			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_7	Tabla de variables e.	Bool	NM0.6			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE ENTRADA FISICA_8	Tabla de variables e.	Bool	NM0.7			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_1	Tabla de variables e.	Byte	NM0.0			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_2	Tabla de variables e.	Bool	NM0.1			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_3	Tabla de variables e.	Bool	NM0.2			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_4	Tabla de variables e.	Bool	NM0.3			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_5	Tabla de variables e.	Bool	NM0.4			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_6	Tabla de variables e.	Bool	NM0.5			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_7	Tabla de variables e.	Bool	NM0.6			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
MEMORIA DE SALIDA FISICA_8	Tabla de variables e.	Bool	NM0.7			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

**Figura 47.** Tabla de Variables

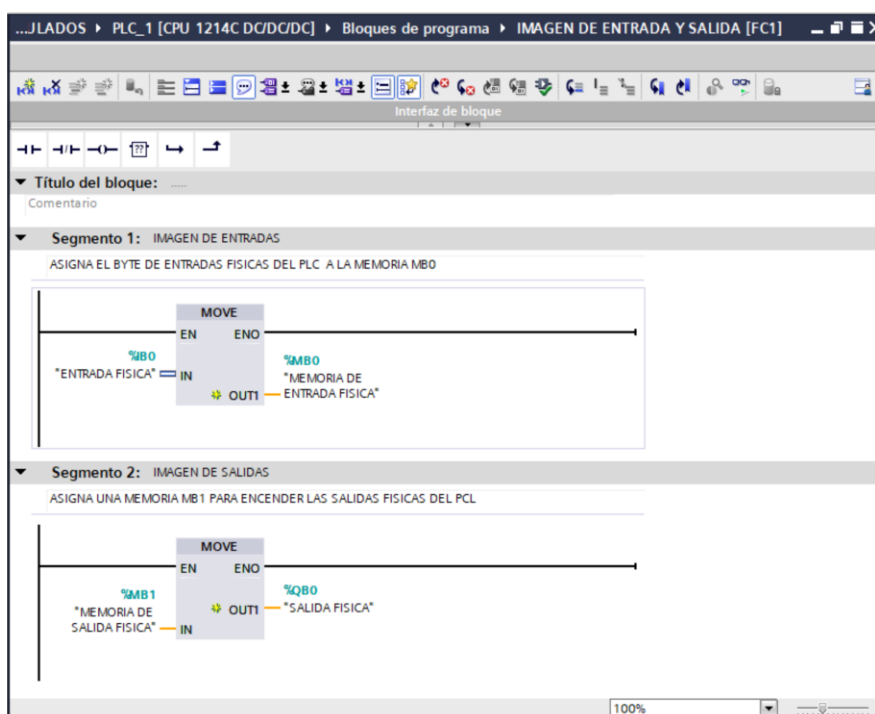
Cabe destacar que este procedimiento puede ser realizado una sola ocasión y ser exportado a los otros PLC, al exportar se crea un documento de Excel, el cual puede ser llamado en otro PLC por el icono de importar lo cual generara de manera automática las variables.

Para crear la imagen de entradas y salidas se procede a crear un nuevo bloque de función para lo cual se despliega la sección de Bloques de programa y se da clic en Agregar nuevo bloque esto desplegará una ventana, en ella damos clic en Función, se configura el nombre y el lenguaje, y para finalizar se da clic en aceptar.



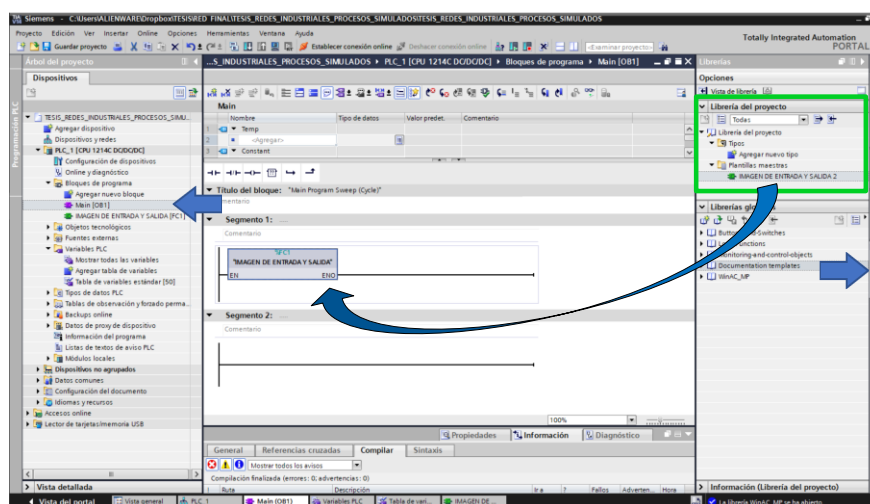
**Figura 48.** Agregar una nueva Función

Luego de haber creado bloque de función, se procede a programar el Ladder de la siguiente manera



**Figura 49.** Ladder para la asignación de entradas y salidas a una memoria del PLC

Damos clic en el Main [OB1], y con la intención de reutilizar la función creada en otros PLCs se despliega la pestaña de librerías, se arrastra la nueva función creada, a la sección Librería de proyecto en la carpeta Plantillas maestras, y de plantillas maestra se arrastra la función al Ladder del OB1

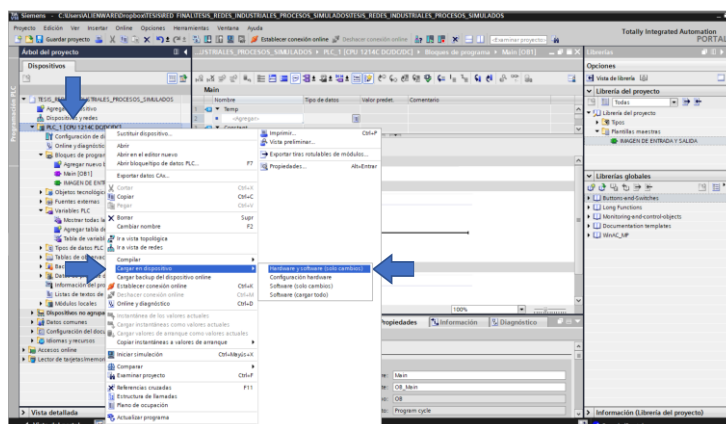


**Figura 50.** Asignación de función a plantillas maestras y llamado a Ladder

Para utilizar la función creada en otros PLCs ya no es necesario volverla a crear basta con arrastrar el bloque de la función de plantillas maestras al OB1.

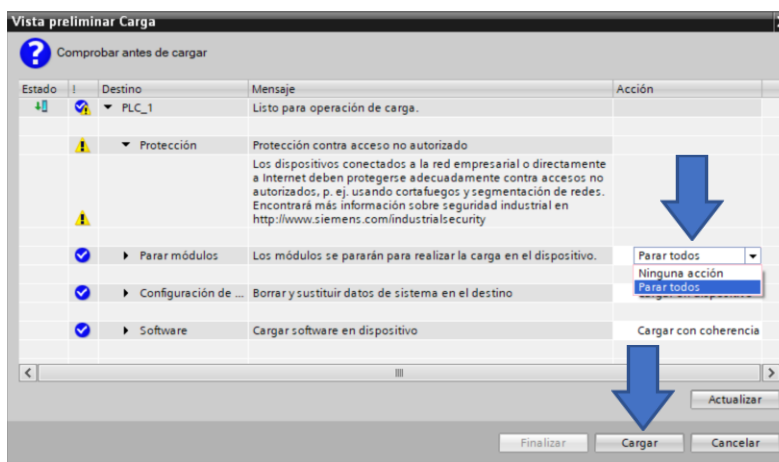
### g) Cargar en dispositivos

Para cargar la configuración realizada en los apartados anteriores o cualquier otra configuración a un PLC, se da clic derecho sobre la carpeta del PLC, en el menú desplegado seleccionar Cargar en dispositivo y a continuación clic izquierdo en Hardware y software, iniciando así el proceso de compilación.



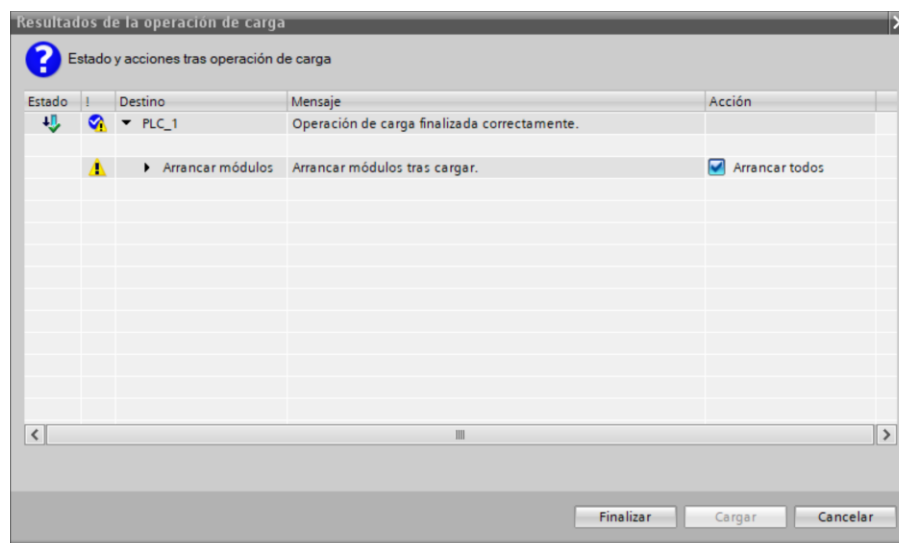
**Figura 51.** Menú auxiliar de dispositivo.

Al terminar el proceso de compilación, se desplegará la ventana auxiliar “Vista preliminar Carga”, en la cual para permitir la carga se debe levantar las alertas seleccionando parar todos, finalizando con un clic izquierdo en Cargar.



**Figura 52.** Ventana de Vista preliminar Carga

Este proceso puede demorar, y para finalizar en la ventana Resultado de la operación de carga, se activa arrancar todos los módulos y por último clic en finalizar.

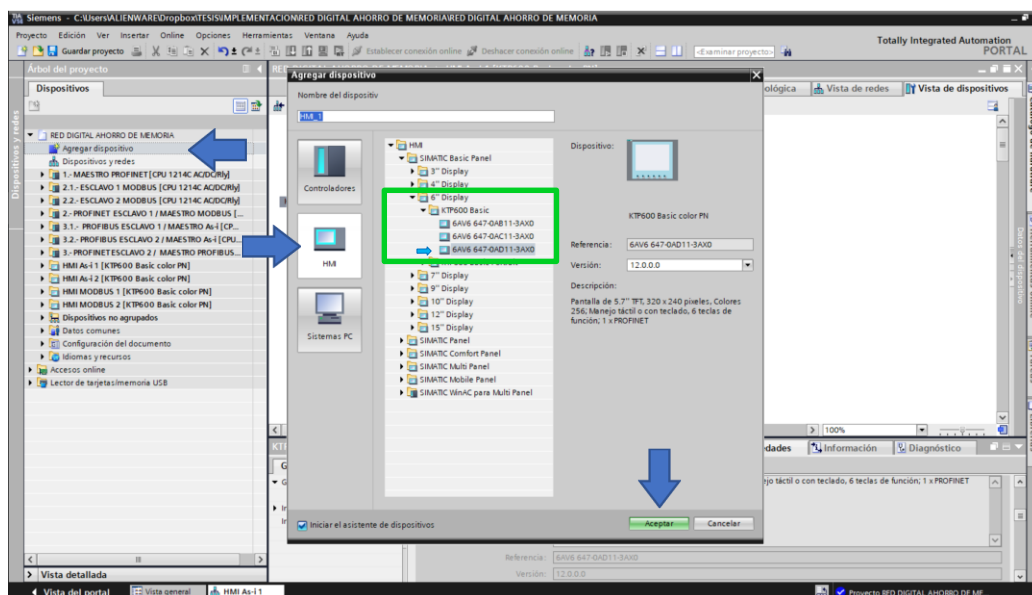


**Figura 53.** Ventana de Resultado de la operación de carga

Dependiendo mucho de la interfaz de conexión, Este procedimiento puede empezar por seleccionar la interfaz y la tarjeta de red. Además, este procedimiento es utilizado para Touch Panels y para cargar las modificaciones que se realice en la programación de los autómatas.

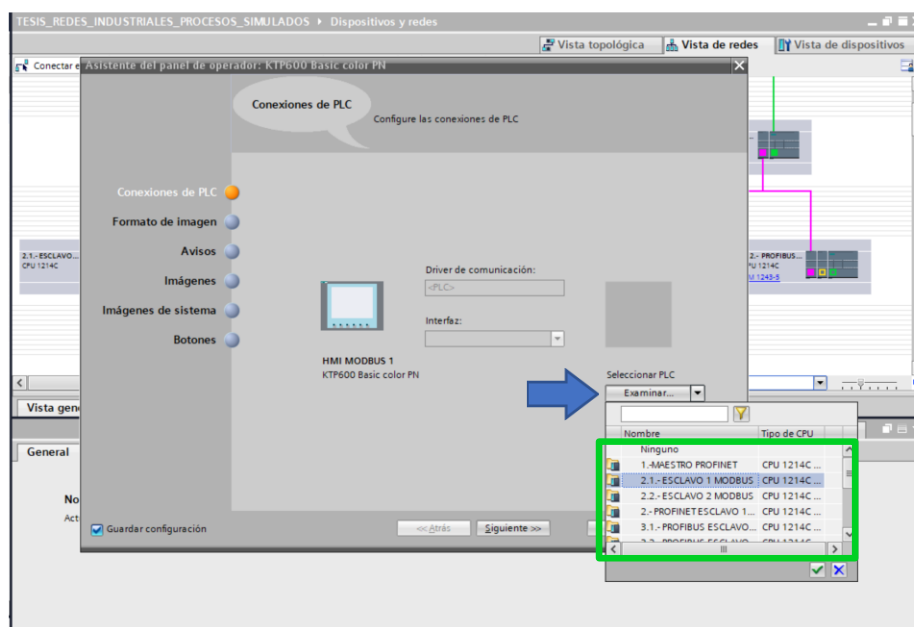
### 3.4.3. Configuración de Touch Panels

Para agregar Touch Panels al proyecto se procede en árbol de proyecto a dar clic en Agregar dispositivo, en la ventana Agregar dispositivo se da clic sobre HMI y selecciona 6AV6 647-0AD11-3AX0.



**Figura 54.** Agregar Un Touch panel

El procedimiento anterior despliega un asistente en el cual seleccionamos el PLC con el cual estará conectado directamente por ProfiNet, las conexiones de los Touch Panels están definidas en la Tabla 13. Este es el único ítem que se configurara con el asistente.



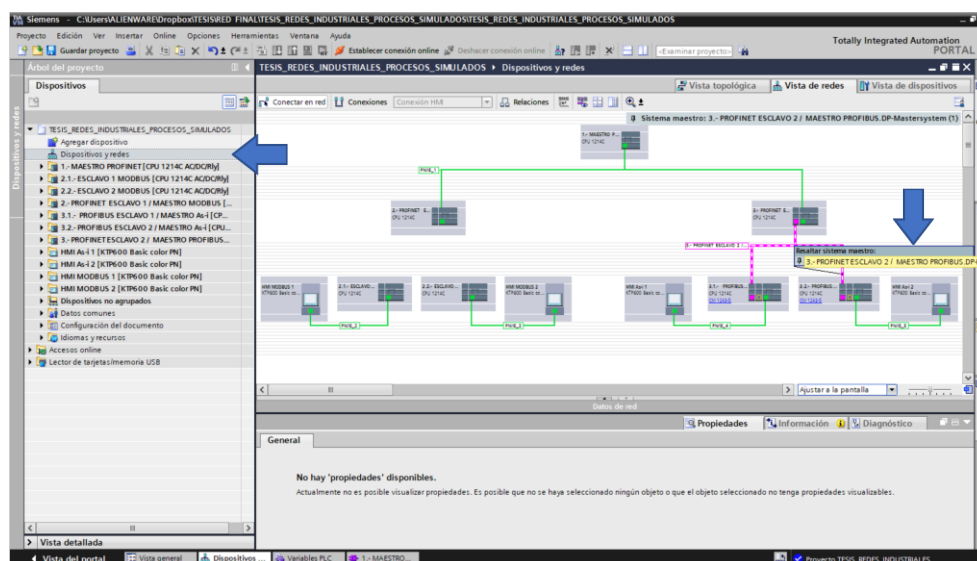
**Figura 55.** Configuración de conexión de HMI con PLC usando asistente

### 3.5. Configuraciones de red

El proceso de configuración de las redes industriales se explica en este apartado, para lo cual se ha clasificado en distintos sub ítems en ellos uno a uno se ira explicando su configuración. Cabe destacar que basándonos en la pirámide de automatización empezaremos a configurar el nivel de campo escalando por los peldaños de la misma hasta llegar al nivel de supervisión.

#### 3.5.1. Configuración en vista de redes

En la ventana principal del proyecto dar doble clic sobre Dispositivos y redes, en esta venta (vista de redes), se configurará las interfaces de comunicación entre los autómatas y Touch Panels, para lo cual se procede a ordenar los dispositivos de la siguiente manera, dando clic izquierdo y arrastrándolo a la posición indicada de acuerdo al esquema de la Figura 23.



**Figura 56.** Vista de redes

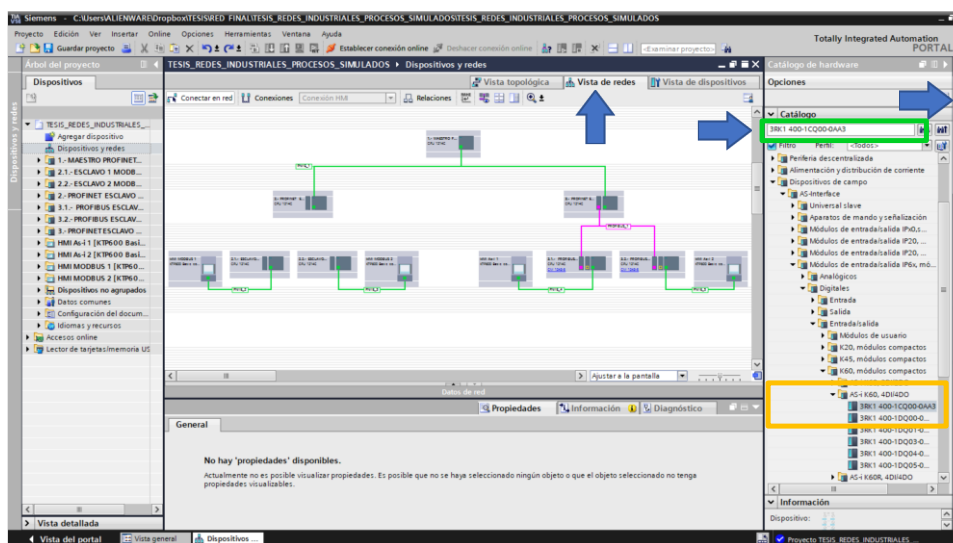


Para realizar la conexión de los dispositivos en las interfaces de red de cada autómatas o módulo de expansión de comunicaciones aparece un pequeño cuadro de color dependiendo su protocolo, en el caso de ProfiNet será un recuadro de color verde, Profibus de color fucsia, AS-Interface de color amarillo y en el caso de Modbus no se realiza ninguna conexión en las interfaces de los módulos de comunicación.

Otro punto a destacar, al unir las interfaces Profibus, el bus se mostrará entrecortado, esto significa que se ha resaltado automáticamente cual es el maestro ProfiBus de la red, para eliminar el entrecortado se procede a ubicar el puntero del mouse sobre el bus y dar clic en el nombre del maestro ProfiBus como se muestra en la Figura 56, después de esto el bus se mostrara de un color solido fucsia.

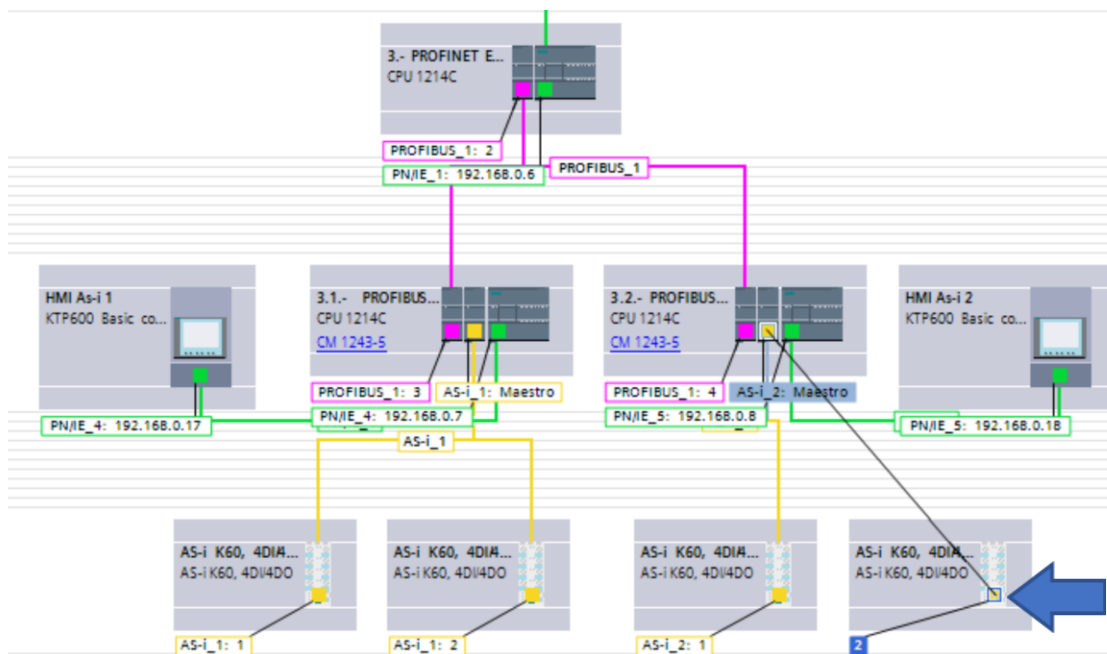
### **3.5.2. Red AS-Interface**

Para la configuración de la red AS-Interface, se debe primero añadir los dispositivos de campo y realizar la conexión a su respectivo maestro, para lo cual, en la vista de redes, damos clic en catálogo de hardware y en la barra de búsqueda ingresamos el número de parte de los esclavos digitales AS-I que se encuentran en la *Tabla 11*, el cual es: 3RK1 400-1CQ00-0AA3, con esto el programa lo encontrara en el catálogo.



**Figura 57.** Catálogo de Hardware.

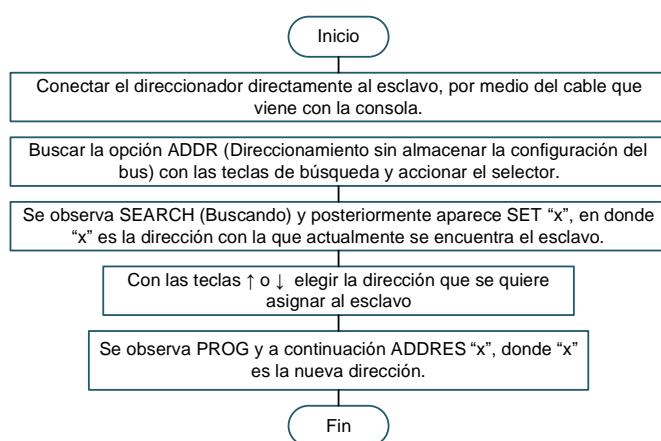
Se arrastran cuatro de estos elementos hacia la vista de redes y dando clic en el recuadro amarillo en la parte inferior se unen dos de estos a un maestro AS-I respectivamente. Como se muestra en la Figura 58.



**Figura 58.** Conexión de dispositivos de campo

### a) Configuración de esclavos AS-I

Para la configuración de los esclavos, primero se debe configurar la dirección AS-I física con el Direccionador AS-I, se configura siguiendo el procedimiento mostrado en la Figura 59. a) y la conexión de la Figura 59. b) se debe realizar sin energía en el Bus AS-I.



a)



b)

**Figura 59.** a) Procedimiento de configuración de dirección manual de esclavo. b) Conexión de direccionador AS-I a esclavos K60

Las direcciones que se aplicaran a cada uno de los esclavos se especifican en la Tabla

20

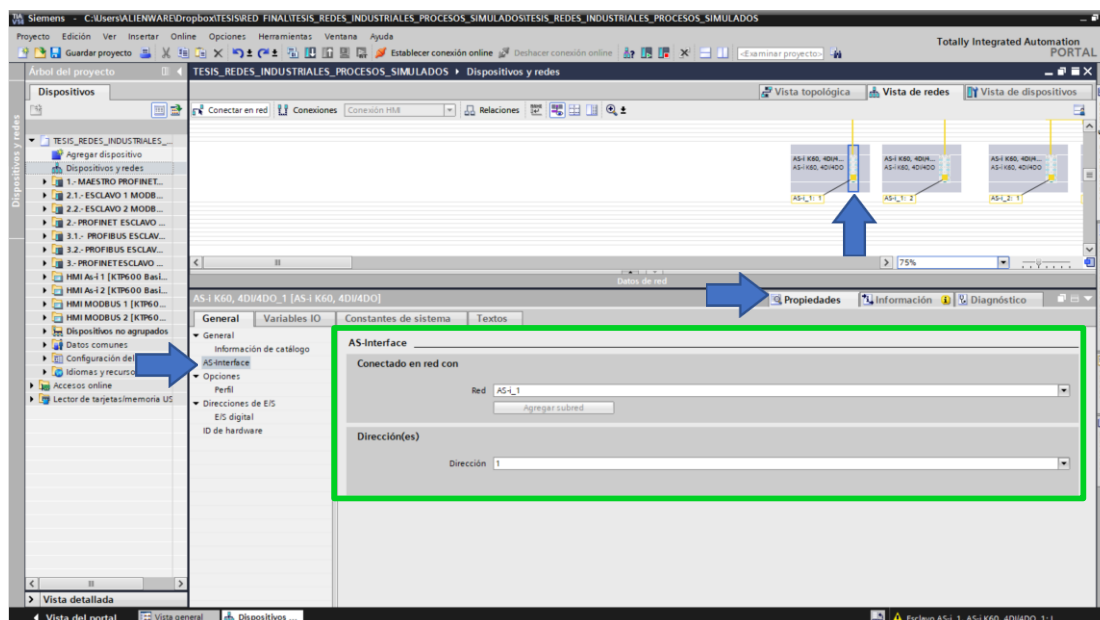
**Tabla 20**

*Direcciones de esclavos AS-I.*

3.1.-PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1					3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2				
Esclavo	Bus	Dirección	Dirección inicial de memoria		Esclavo	Bus	Dirección	Dirección inicial de memoria	
			entrada	salida				Entrada	salida
Esclavo 1	AS-I_1	1	2	2	Esclavo 1	AS-I_2	1	2	2

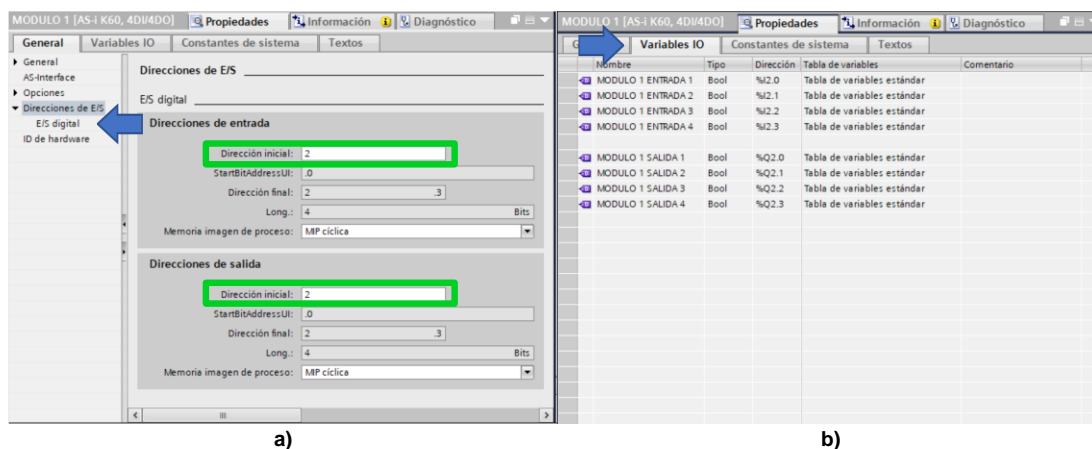
Configurados los esclavos físicamente procedemos a configurarlos por software, las direcciones asignadas con el direccionador deben ser las mismas direcciones asignadas por software.

Para configurar a los esclavos por software se procede a dar clic izquierdo sobre el dispositivo de campo, a continuación, en propiedades, seguido por clic en AS-Interface, y se verifica que Red y Dirección concuerden con los expuestos en la Tabla 20.



**Figura 60.** Propiedades de red AS-I

Luego de verificar los parámetros AS-Interface, se procede a configurar las Direcciones de E/S, para lo cual se da clic E/S digital y se proceden a configurar las direcciones de memoria de acuerdo con la Tabla 20, donde el único valor a cambiar es la dirección inicial tanto de entradas como de salidas.

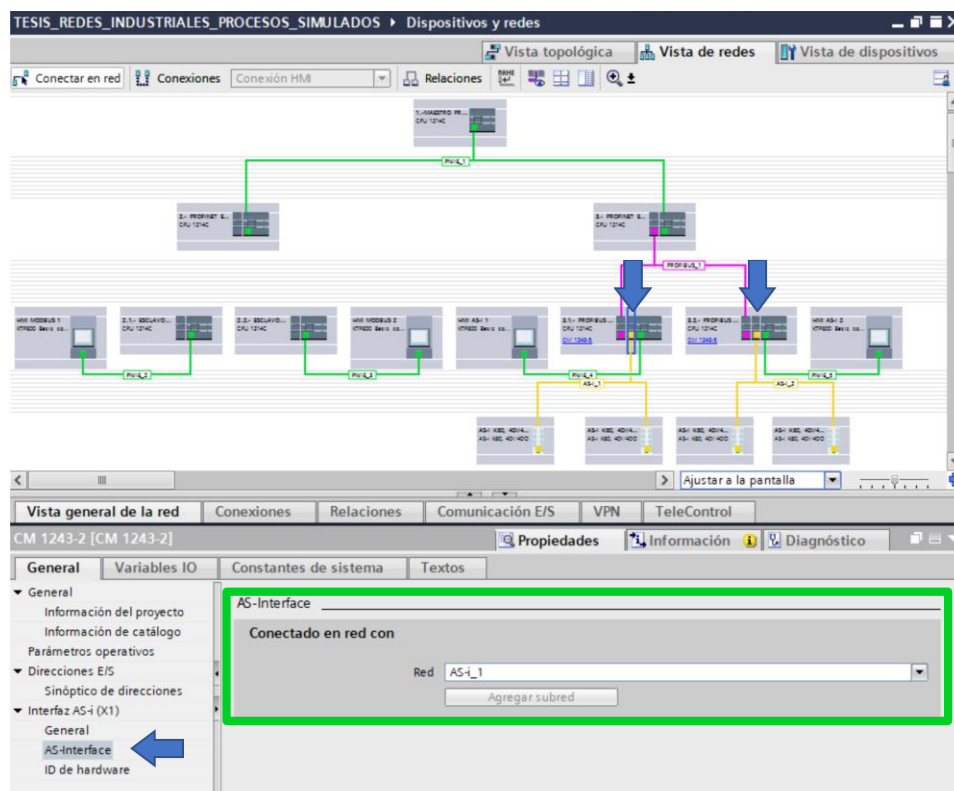


**Figura 61.** a) Configuración de direcciones de memoria. b) Variables IO del esclavo.

En la sección Variables asignaremos un nombre a cada variable para tenerlas claramente identificadas para lo cual se cambia el nombre del esclavo por modulo seguido de su etiqueta en la carcasa del esclavo.

### b) Configuración de maestros AS-I

La configuración del módulo maestro AS-I, se procede a verificar los parámetros de cada maestro, para lo cual en vista de redes se da clic sobre el módulo maestro AS-I seguido de clic en propiedades, se despliega la lista AS-I(X1)



**Figura 62.** Configuración de maestro AS-I

Se verifica los parámetros establecidos para cada maestro AS-I en la Tabla 21.

**Tabla 21**

*Parámetros y ubicación de Maestros AS-I*

	PLC de ubicación	Modulo	Rack de comunicación	Red
Maestro AS-I 1	3.1.- PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1	CM1243-2	101	AS-1_1
Maestro AS-I 2	3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2	CM1243-2	101	AS-1_2

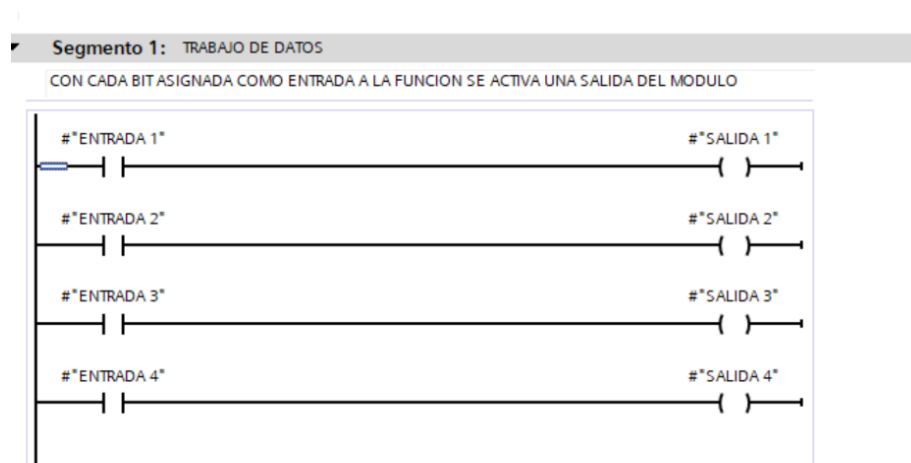
Luego de haber verificado los parámetros para los maestros AS-I se procede a su programación, con la configuración de esclavos las variables ya se encuentran en el PLC

correspondiente y se procede a realizar el proceso deseado dentro de una Función sin acceso de memoria que será llamada en el OB1.

En esta programación se realiza la automatización del proceso simulado o el movimiento de datos digitales.

### Movimiento de datos digitales

El movimiento de datos digitales se realiza la programación de acuerdo a lo indicado en la Figura 63, en donde se observa el movimiento de datos digitales, para lo cual se crea una Función Proceso digital, en la cual se programa de la siguiente manera.

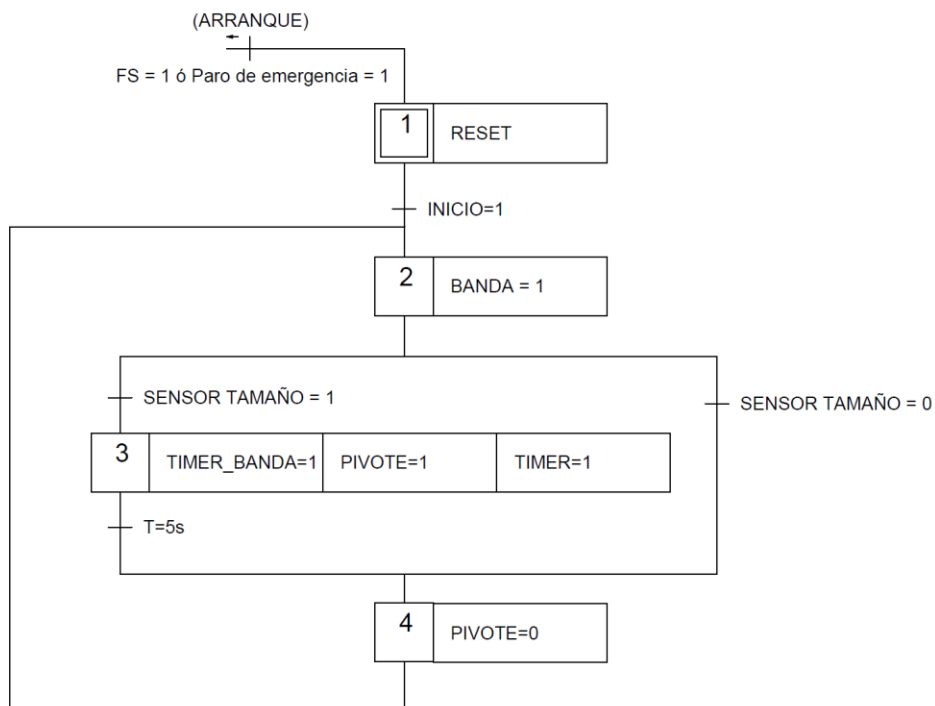


**Figura 63** Programación de Movimiento de datos Digitales

### Automatización de procesos Simulado

Para la automatización se realiza el proceso dentro de un bloque de función, realizando el diseño de la automatización de acuerdo a la normativa IEC 60848:2002, utilizando el método de GRAFCET.

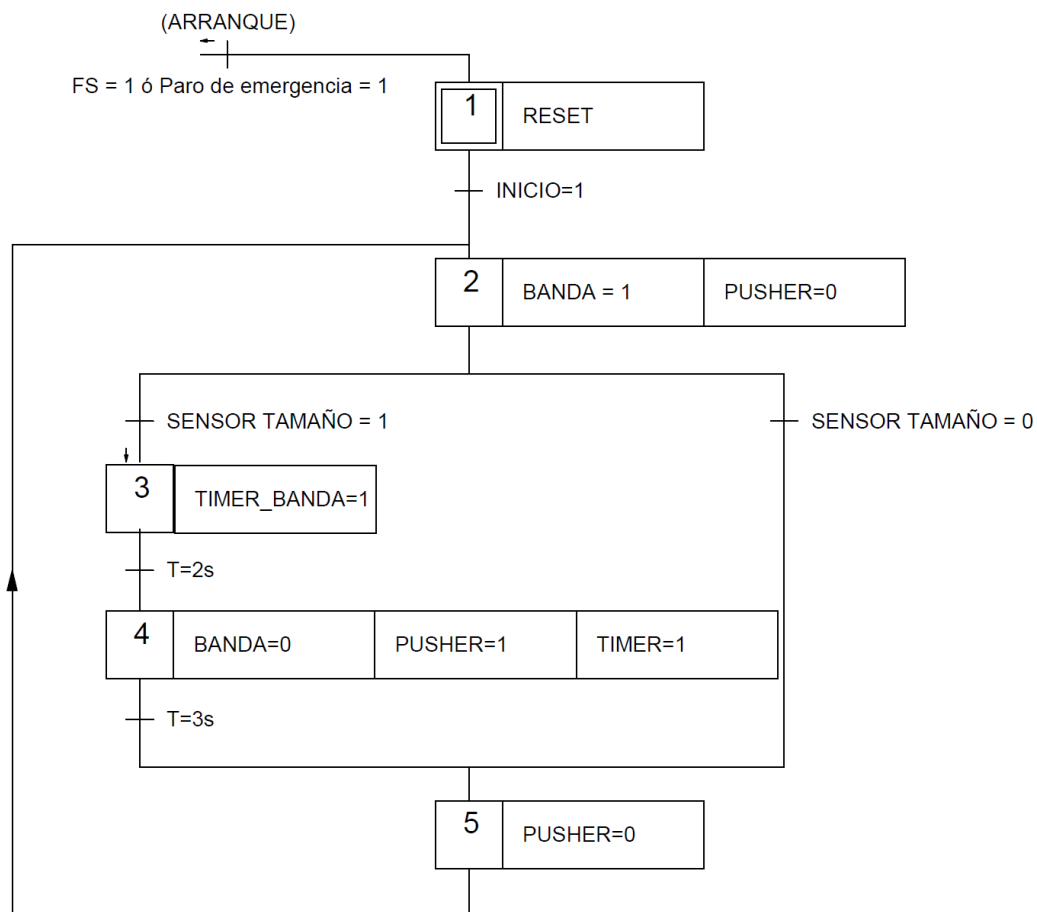
A cada red AS-I se asigna un proceso, para el caso de la red AS-I 1 se implementa el proceso selector de paquetes con brazo giratorio especificado en el apartado 3.3.2.c) el graficet de dicho proceso se muestra en la Figura 64.



**Figura 64.** Graficet correspondiente al selector de paquetes con brazo giratorio

Mientras tanto para la red AS-I 2 se implementa proceso selector de paquetes con brazo giratorio especificado en el apartado 3.3.2.d). el graficet de dicho proceso se muestra en la Figura 65.





**Figura 65.** Grafcet correspondiente al selector de paquetes con pusher

### 3.5.3. Red Profibus

Para empezar con la configuración de la red ProfiBus se procede a realizar un cuadro sinóptico de variables a intervenir en la comunicación, para lo cual se debe tener claro las variables que suben y bajan de los esclavos hacia el maestro además se asigna un nombre específico y su procedencia para una completa identificación de la variable.

**Tabla 22**  
**Sinóptico de variables para comunicación ProfiBus – Esclavo 1**

3.1.- PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1									
Nombre de la variable en esclavo		Dirección de memoria en el CPU Esclavo	Área de transferencia esclavo ProfiBus	Área de transferencia maestro ProfiBus	Dirección de memoria en el CPU Maestro	Nombre de la variable en maestro			
<b>Envío</b>									
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW4	IW4	MW6	MB6	Esclavo1 Memoria de Entradas Físicas	Esclavo1 Memoria de variables digitales PLC
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB7	Esclavo1 Memoria de Salidas físicas	
Memoria de variables red AS-I	Memoria de entradas AS-I	MB4	MW4	QW6	IW5	MW8	MB8	Esclavo1 Memoria de entradas AS-I	Esclavo1 Memoria de variables red AS-I
	Memoria de salidas AS-I	MB5					MB9	Esclavo1 Memoria de salidas AS-I	
Memoria de Proceso		MB8	QB8	IB8	MB5	Esclavo1 Memoria de Proceso			
Memoria de Diagnostico		MB6	QB9	IB9	MB10	Esclavo1 Memoria de Diagnostico			
<b>Recepción</b>									
Memorias de encendido remoto	Memorias de encendido o remoto salidas físicas	MB11	MW11	IW4	QW4	MW11	MB11	Esclavo1 Memorias de encendido o remoto salidas físicas	Esclavo1 Memorias de encendido remoto
	Memoria de encendido o remoto Salidas AS-I	MB12					MB12	Esclavo1 Memorias de encendido o remoto salidas físicas	
Memoria encendido remoto proceso		MB10	IB6	QB6	MB13	Esclavo1 Memoria encendido remoto proceso			

**Tabla 23.***Sinóptico de variables para comunicación ProfiBus – Esclavo 2*

3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2									
Nombre de la variable en esclavo		Dirección de memoria en el CPU Esclavo	Área de transferencia Esclavo ProfiBus	Área de transferencia Maestro ProfiBus	Dirección de memoria en el CPU Maestro	Nombre de la variable en maestro			
<b>Envío</b>									
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW4	IW10	MW15	MB15	Esclavo2 Memoria de Entradas Físicas	Esclavo2 Memoria de variables digitales PLC
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB16	Esclavo2 Memoria de Salidas físicas	
Memoria de variables red AS-I	Memoria de entradas AS-I	MB4	MW4	QW6	IW12	MW17	MB17	Esclavo2 Memoria de entradas AS-I	Esclavo2 Memoria de variables red AS-I
	Memoria de salidas AS-I	MB5					MB18	Esclavo2 Memoria de salidas AS-I	
Memoria de Proceso		MB8	QB8	IB14	MB14	Esclavo2 Memoria de Proceso			
Memoria de Diagnostico		MB6	QB9	IB15	MB19	Esclavo2 Memoria de Diagnostico			
<b>Recepción</b>									
Memorias de encendido remoto	Memorias de encendido o remoto salidas físicas	MB11	MW11	IW4	QW7	MW20	MB20	Esclavo2 Memorias de encendido o remoto salidas físicas	Esclavo2 Memorias de encendido remoto
	Memoria de encendido o remoto Salidas AS-I	MB12					MB21	Esclavo2 Memorias de encendido o remoto salidas físicas	
Memoria encendido remoto proceso		MB10	IB6	QB8	MB22	Esclavo2 Memoria encendido remoto proceso			

En la Tabla 22 y *Tabla 23* las columnas centrales de una tonalidad más fuerte son las variables por las cuales se realiza la comunicación; para enviar información el emisor lo hará a través de una salida Q y la información llegará al receptor por una entrada I ya sea de tipo Byte o Word, estas variables se las define en las áreas de transferencia de cada esclavo.

Otro parámetro de relevancia para la configuración de la red ProfiBus es la dirección de cada elemento perteneciente a la misma para lo cual se detalla en la Tabla 24.

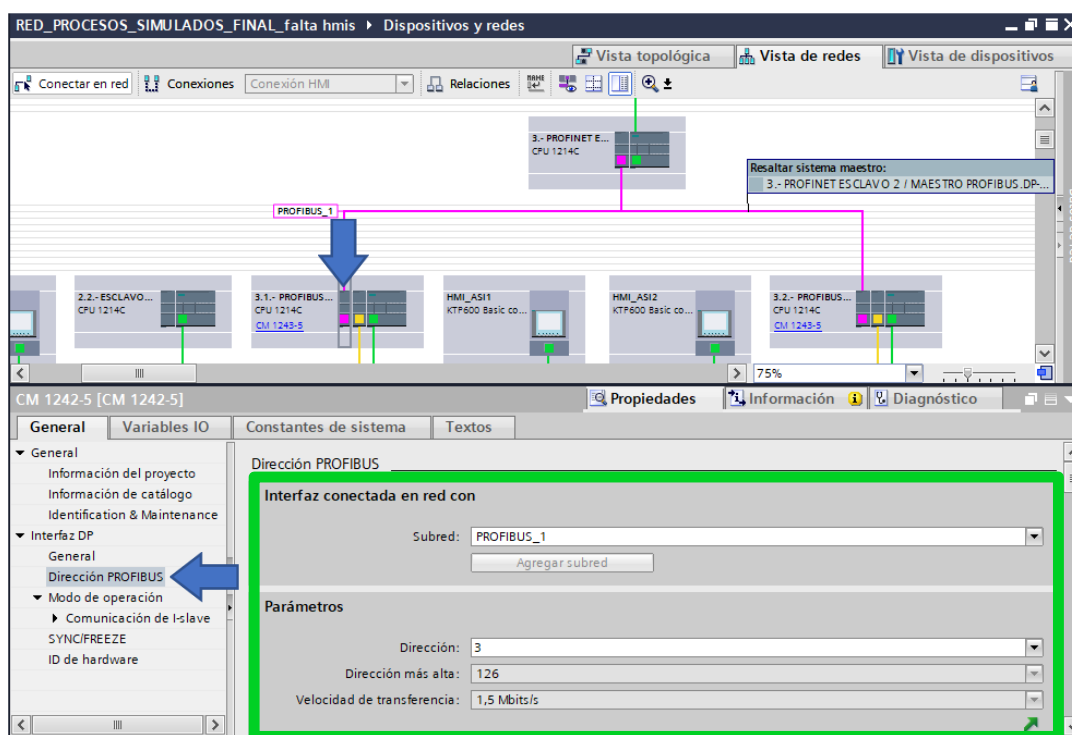
**Tabla 24**  
*Parámetros y ubicación de elementos red ProfiBus*

Elemento de la red	PLC de ubicación	Modulo	Rack	Subred ProfiBus	Dirección ProfiBus
Maestro	3.- PROFINET ESCLAVO 2 / MAESTRO PROFIBUS	CM 1243-5	101	PROFIBUS_1	2
Esclavo 1	3.1.- PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1	CM 1242-5	102	PROFIBUS_1	3
Esclavo 2	3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2	CM 1242-5	102	PROFIBUS_1	4

El orden de configuración recomendado es proceder primero con la configuración de los esclavos y terminar con el maestro de igual manera el proceso para cargar el programa a los PLCs.

### a) Configuración de esclavos 1 ProfiBus

Para la configuración del esclavo 1 ProfiBus se procede en vista de redes dando clic sobre el módulo ProfiBus del PLC indicado en la Tabla 24 como esclavo 1, luego en propiedades, seguido por clic en interfaz DP y para finalizar clic en Dirección PROFIBUS.



**Figura 66.** Configuración de direcciones del Esclavo 1 ProfiBus

En el apartado mostrado en la Figura 66 se procede a configurar los parámetros de subred y la dirección del Esclavo 1 ProfiBus encerrados en el recuadro verde.

A continuación, se procede a configurar las áreas de transferencia necesarias, para lo cual se da clic en Comunicación de I-slave, y se llena la tabla de acuerdo a lo indicado en la Figura 67, las direcciones indicadas tanto para maestro y esclavo se ubican en los

recuadros centrales resaltados de la Tabla 22; el sentido de la comunicación se define con la flecha que se ubica en el medio de las direcciones.

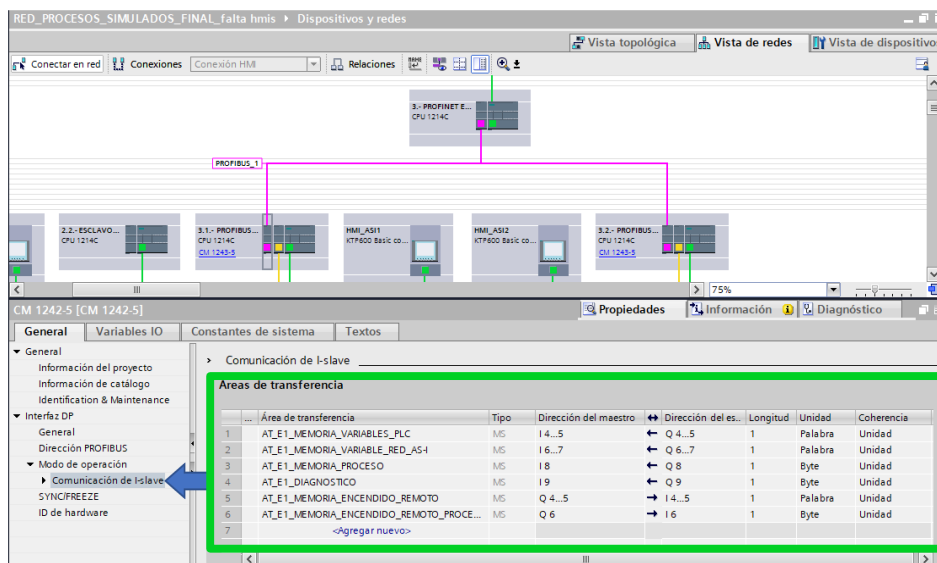


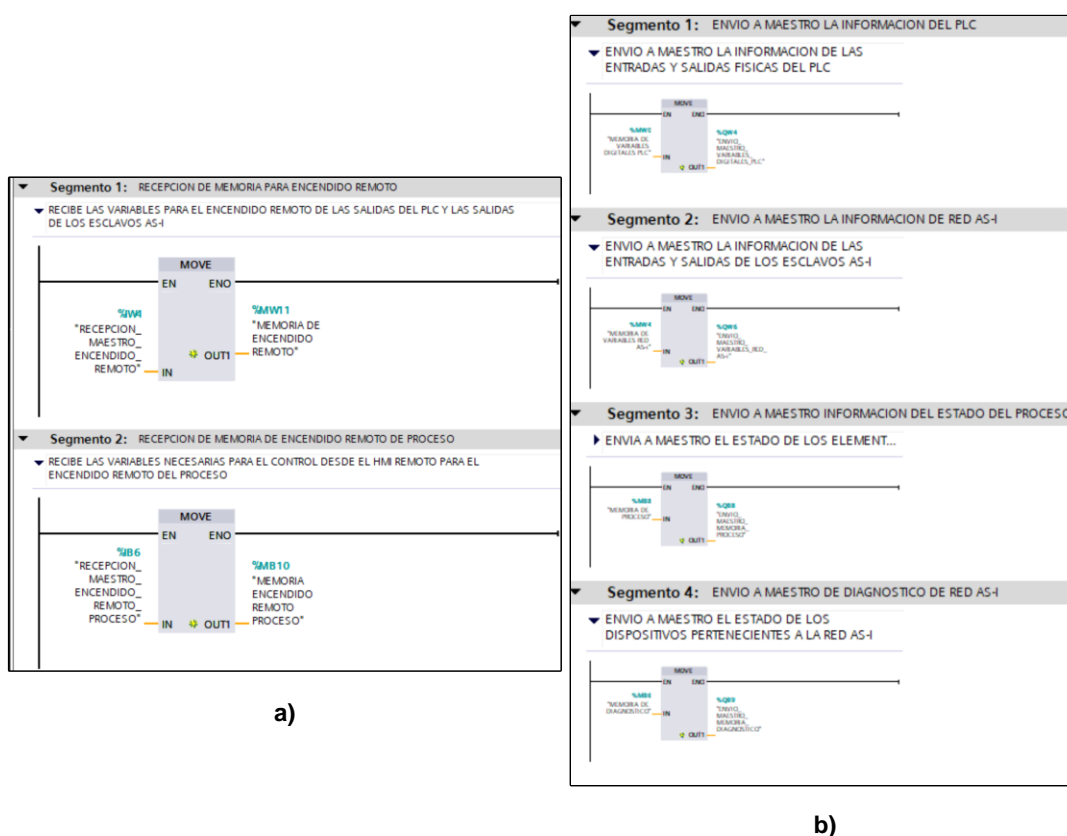
Figura 67. Configuración de Tabla de área de transferencia

Luego de configurar el área de transferencia se procede a insertar las variables indicadas en la Tabla 22 en el PLC correspondiente, con la finalidad de tener plena identificación de las variables al momento del movimiento de datos.

Nombre	Tabla de va...	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
85	ERROR EN ESCLAVO 2	Tabla de va... Bool	%M6.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
86	ERROR EN BUS AS-I	Tabla de va... Bool	%M6.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
87	ERROR EN MAESTRO AS-I	Tabla de va... Bool	%M6.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
88	ERROR COMUNICACION CON MAESTRO PROFIBUS	Tabla de va... Bool	%M6.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
89	MEMORIA DE PROCESO	Tabla d... Byte	%MB8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
90	MEMORIA DE DIAGNOSTICO	Tabla de va... Byte	%MB6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
91	MEMORIA DE VARIABLES RED AS-I	Tabla de va... Word	%MW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
92	MEMORIA DE VARIABLES DIGITALES PLC	Tabla de va... Word	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
93	ENVIO_MAESTRO_VARIABLES_DIGITALES_PLC	Tabla de va... Word	%QW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
94	ENVIO_MAESTRO_VARIABLES_RED_AS-I	Tabla de va... Word	%QW6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
95	ENVIO_MAESTRO_MEMORIA_PROCESO	Tabla de va... Byte	%QB8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
96	ENVIO_MAESTRO_MEMORIA_DIAGNOSTICO	Tabla de va... Byte	%QB9	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
97	MEMORIA ENCENDIDO REMOTO PROCESO	Tabla de va... Byte	%MB10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
98	MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO	Tabla de va... Word	%MW11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
99	MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS FISICAS	Tabla de va... Byte	%MB11	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100	MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS AS-I	Tabla de va... Byte	%MB12	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
101	RECEPCION_MAESTRO_ENCENDIDO_REMOTO	Tabla de va... Word	%W4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
102	RECEPCION_MAESTRO_ENCENDIDO_REMOTO_PROCESO	Tabla de va... Byte	%B6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
103	<-Agregar>			<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 68. Variables necesarias para comunicación Profibus en esclavo1

Para realizar el movimiento de datos dentro de la red ProfiBus, se procede a crear dos subfunciones tanto para lectura y escritura del maestro, dentro de estas subfunciones se procede hacer el movimiento de los datos con el uso del bloque MOVE como se puede observar en la Figura 69.

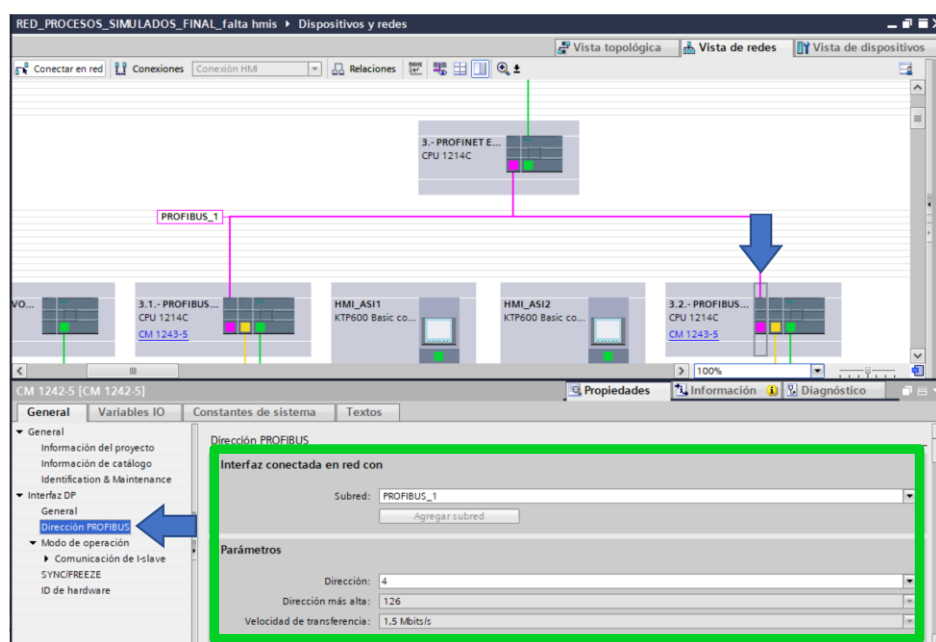


**Figura 69.** Programación de subfunciones de comunicación Esclavo 1.  
a) Programación de lectura de maestro. b) Programación escritura a maestro.

Para habilitar el funcionamiento de las subfunciones hay que moverlas a un segmento del Main, con esto la comunicación con el maestro se realiza sin inconvenientes.

## b) Configuración de esclavos 2 ProfiBus

Para la configuración del esclavo 2 ProfiBus se procede de la misma manera que el esclavo 1, en vista de redes dando clic sobre el módulo ProfiBus del PLC indicado en la Tabla 24 como esclavo 2, luego en propiedades, seguido por clic en interfaz DP y para finalizar clic en Dirección PROFIBUS.



**Figura 70.** Configuración de direcciones del Esclavo 2 ProfiBus

En el apartado resaltado en la Figura 70 se procede a configurar los parámetros de subred y la dirección del Esclavo 2 ProfiBus detallados en la Tabla 24.

A continuación, se procede a configurar las áreas de transferencia necesarias, para lo cual se da clic en Comunicación de I-slave, y se llena la tabla de acuerdo a lo indicado en la Figura 71, las direcciones indicadas tanto para maestro y esclavo se ubican en los



recuadros centrales resaltados de la Tabla 22; el sentido de la comunicación se define con la flecha que se ubica en el medio de las direcciones.

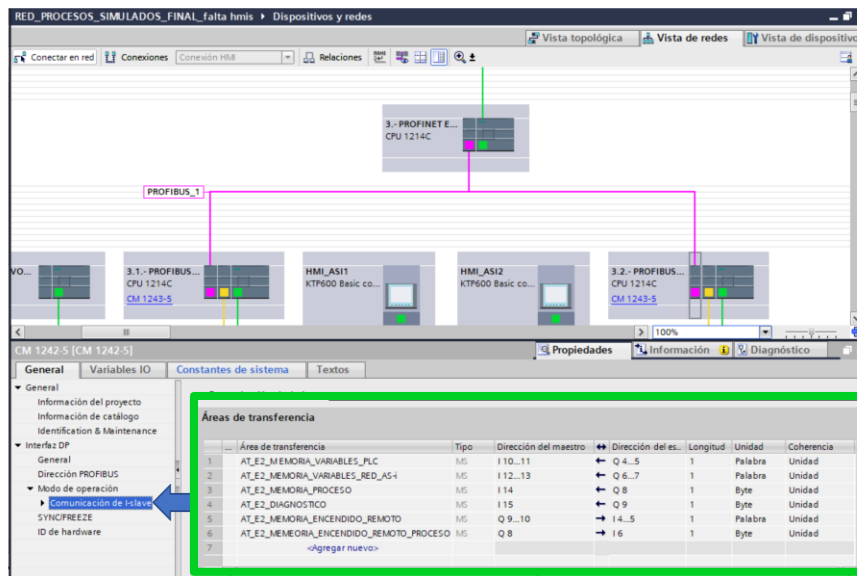


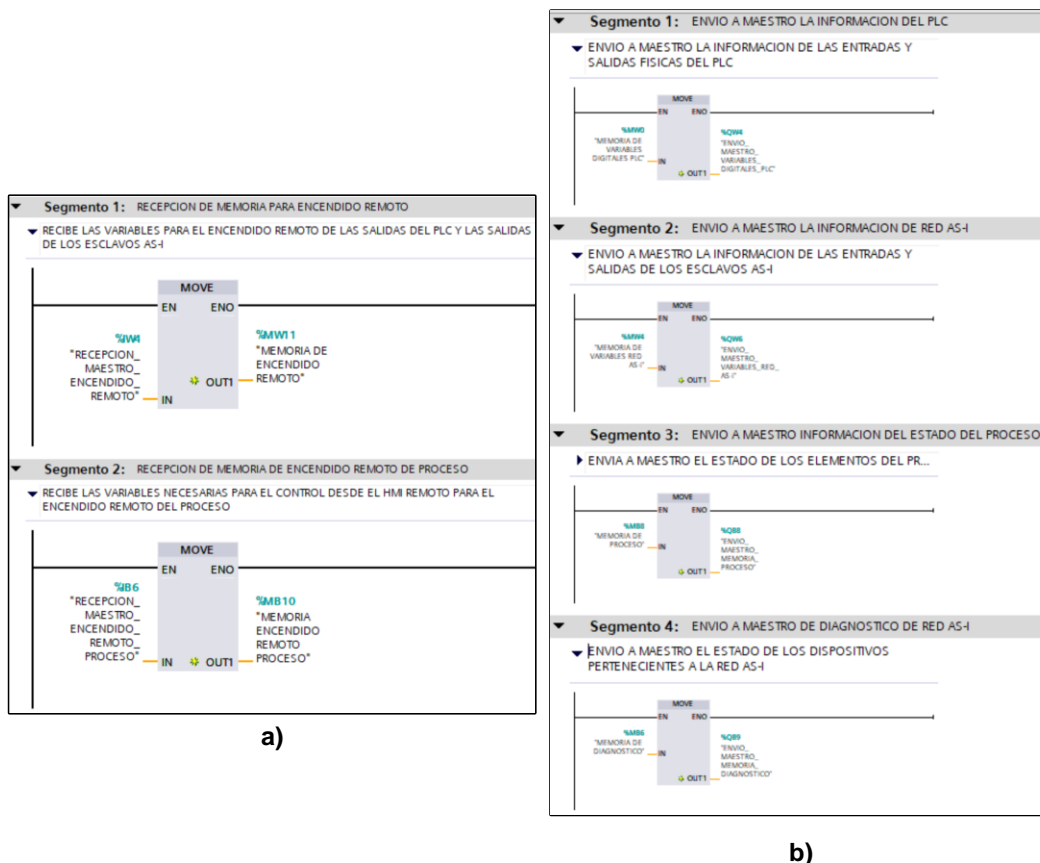
Figura 71. Configuración de Tabla de área de transferencia esclavo 2 ProfiBus

Luego de configurar el área de transferencia se procede a insertar las variables indicadas en la Tabla 22 en el PLC correspondiente, con la finalidad de tener plena identificación de las variables al momento del movimiento de datos.

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
82 Clock_0.5Hz	Tabla de variables e.	Bool	%M3.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
83 ERROR EN ESCLAVO 1	Tabla de variables e.	Bool	%M6.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
84 ERROR EN ESCLAVO 2	Tabla de variables e.	Bool	%M6.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
85 ERROR EN BUS AS-I	Tabla de variables e.	Bool	%M6.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
86 ERROR EN MAESTRO AS-I	Tabla de variables e.	Bool	%M6.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
87 ERROR COMUNICACION CON MAESTRO	Tabla de variables e.	Bool	%M6.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
88 MEMORIA DE VARIABLES DIGITALES PLC	Tabla de variabl...	Word	%MW0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
89 MEMORIA DE VARIABLES RED AS-I	Tabla de variables e.	Word	%MW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
90 MEMORIA DE PROCESO	Tabla de variables e.	Byte	%MB8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
91 MEMORIA DE DIAGNOSTICO	Tabla de variables e.	Byte	%MB6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
92 MEMORIA ENCENDIDO REMOTO PROCESO	Tabla de variables e.	Byte	%MB 10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
93 MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO	Tabla de variables e.	Word	%MW11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
94 MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALID...	Tabla de variables e.	Byte	%MB 11		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
95 MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALID...	Tabla de variables e.	Byte	%MB 12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
96 RECEPCION_MAESTRO_ENCENDIDO_REMO...	Tabla de variables e.	Word	%IW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
97 RECEPCION_MAESTRO_ENCENDIDO_REMO...	Tabla de variables e.	Byte	%IB6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
98 ENVIO_MAESTRO_VARIABLES_DIGITALES_...	Tabla de variables e.	Word	%QW4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
99 ENVIO_MAESTRO_VARIABLES_RED_AS-I	Tabla de variables e.	Word	%QW6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
100 ENVIO_MAESTRO_MEMORIA_PROCESO	Tabla de variables e.	Byte	%QB8		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
101 ENVIO_MAESTRO_MEMORIA_DIAGNOSTICO	Tabla de variables e.	Byte	%QB9		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
102					<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Figura 72. Variables necesarias para comunicación ProfiBus en esclavo 2

Para realizar el movimiento de datos dentro de la red ProfiBus, se procede a crear dos subfunciones tanto para lectura y escritura del maestro, dentro de estas subfunciones se procede hacer el movimiento de los datos con el uso del bloque MOVE como se puede observar en la Figura 73.

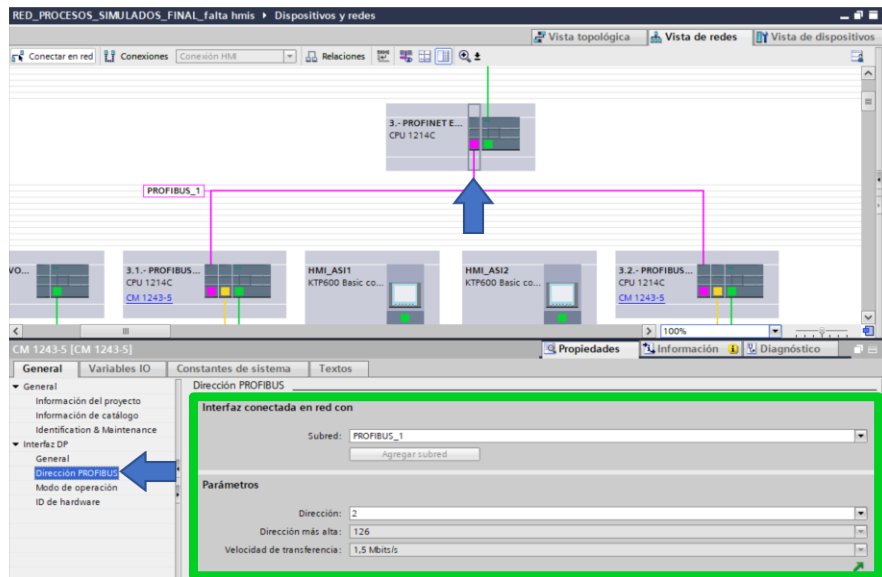


**Figura 73.** Programación de subfunciones de comunicación Esclavo 2. a) Programación de lectura de maestro. b) Programación escritura a maestro.

Para habilitar el funcionamiento de las subfunciones hay que moverlas a un segmento del Main, con esto la comunicación con el maestro se realiza sin inconvenientes.

### c) Configuración de maestro ProfiBus

Para la configuración del maestro ProfiBus, se procede de igual manera que en los esclavos, En vista de redes dando clic sobre el módulo ProfiBus del PLC indicado en la Tabla 24 como maestro, luego en propiedades, seguido por clic en interfaz DP y para finalizar clic en Dirección PROFIBUS.



**Figura 74.** Configuración de direcciones del Maestro ProfiBus

El maestro ProfiBus configura automáticamente las áreas de transferencia, por lo cual se insertar las variables indicadas en la Tabla 22 en la columna central perteneciente al maestro, en el PLC correspondiente con la finalidad de tener plena identificación de las variables al momento del movimiento de datos.

Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...	Comentario
42	RECEPCION_ESCLAVO1_VARIABLES PLC	Tabla de variabl...	Word	%M4				
43	RECEPCION_ESCLAVO1_VARIABLES_RED AS-4	Tabla de variables e...	Word	%M6				
44	RECEPCION_ESCLAVO1_MEMORIA_DIAGNOSTICO	Tabla de variables e...	Byte	%B9				
45	RECEPCION_ESCLAVO1_MEMORIA_PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B8				
46	ESCLAVO1_VARIABLES PLC	Tabla de variables e...	Word	%M6				
47	ESCLAVO1_VARIABLES_RED AS-4	Tabla de variables e...	Word	%M8				
48	ESCLAVO1_MEMORIA PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B5				
49	ESCLAVO1_MEMORIA DIAGNOSTICO	Tabla de variables e...	Byte	%B10				
50	ESCLAVO1_MEMORIA DE ENTRADA FISICA	Tabla de variables e...	Byte	%B6				
51	ESCLAVO1_MEMORIA DE SALIDA FISICA	Tabla de variables e...	Byte	%B7				
52	ESCLAVO1_MEMORIA DE ENTRADAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B8				
53	ESCLAVO1_MEMORIA DE SALIDAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B9				
54	ESCLAVO1_MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS FISICAS	Tabla de variables e...	Byte	%B11				
55	ESCLAVO1_MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B12				
56	ESCLAVO1_MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO	Tabla de variables e...	Word	%M11				
57	ESCLAVO1_MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B13				
58	MEMORIA DE DIAGNOSTICO MAESTRO PROFIBUS	Tabla de variables e...	Byte	%B4				
59	ESCLAVO2_MEMORIA PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B14				
60	ESCLAVO2_VARIABLES PLC	Tabla de variables e...	Word	%M15				
61	ESCLAVO2_MEMORIA DE ENTRADA FISICA	Tabla de variables e...	Byte	%B15				
62	ESCLAVO2_MEMORIA DE SALIDA FISICA	Tabla de variables e...	Byte	%B16				
63	ESCLAVO2_VARIABLES_RED AS-4	Tabla de variables e...	Word	%M17				
64	ESCLAVO2_MEMORIA DE ENTRADAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B17				
65	ESCLAVO2_MEMORIA DE SALIDAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B18				
66	ESCLAVO2_MEMORIA DIAGNOSTICO	Tabla de variables e...	Byte	%B19				
67	ESCLAVO2_MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS FISICAS	Tabla de variables e...	Byte	%B20				
68	ESCLAVO2_MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO	Tabla de variables e...	Word	%M20				
69	ESCLAVO2_MEMORIA DE ENCENDIDO REMOTO SALIDAS AS-4	Tabla de variables e...	Byte	%B21				
70	ESCLAVO2_MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B22				
71	ENVIO_ESCLAVO1_ENCENDIDO_REMOTO	Tabla de variables e...	Word	%QW4				
72	ENVIO_ESCLAVO1_ENCENDIDO_REMOTO PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%QB6				
73	RECEPCION_ESCLAVO2_VARIABLES PLC	Tabla de variables e...	Word	%M10				
74	RECEPCION_ESCLAVO2_VARIABLES_RED AS-4	Tabla de variables e...	Word	%M12				
75	RECEPCION_ESCLAVO2_MEMORIA_PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%B14				
76	RECEPCION_ESCLAVO2_MEMORIA_DIAGNOSTICO	Tabla de variables e...	Byte	%B15				
77	ENVIO_ESCLAVO2_ENCENDIDO_REMOTO	Tabla de variables e...	Word	%QW7				
78	ENVIO_ESCLAVO2_ENCENDIDO_REMOTO PROCESO	Tabla de variables e...	Byte	%QB8				
79	<Agrega...							

Figura 75. Variables necesarias para comunicación Profibus en Maestro

Luego de haber configurado la tabla de variables procedemos a generar una subfunción para cada esclavo tanto de escritura como de lectura.

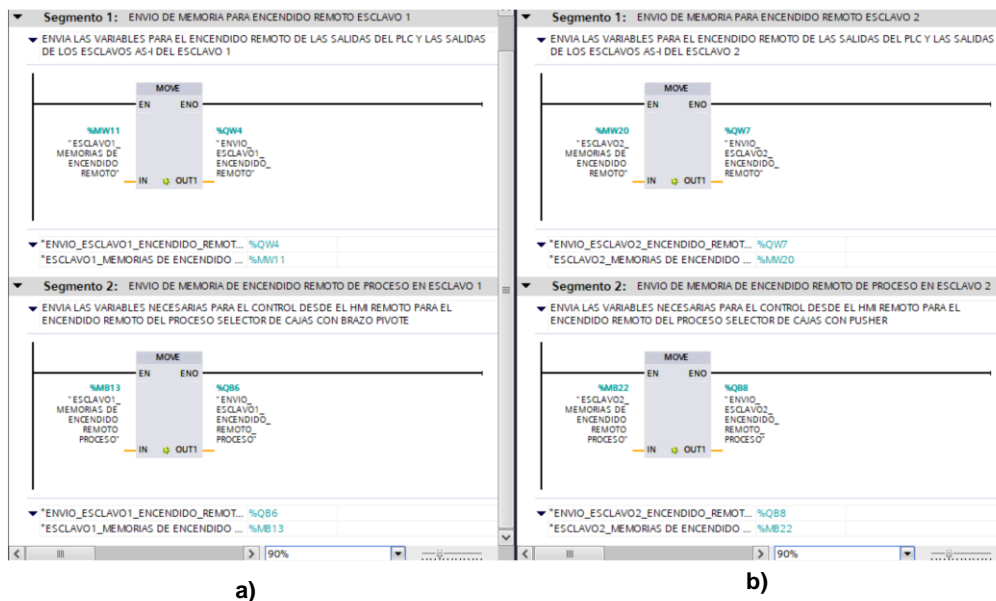
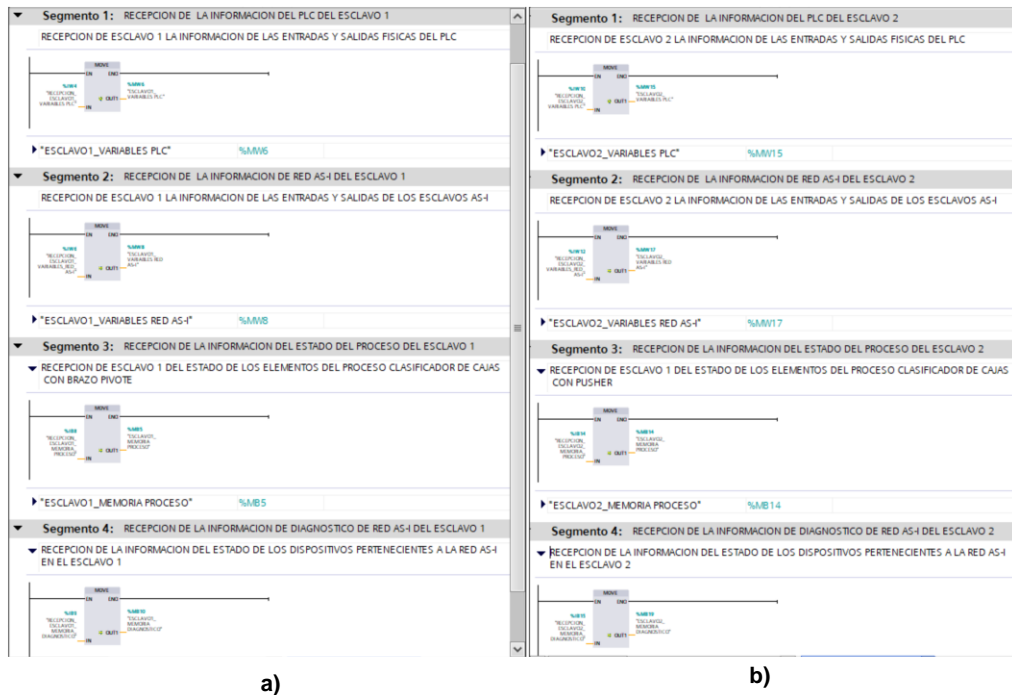


Figura 76. Programación de subfunciones de escritura. a) Escritura a esclavo 1 Profibus. b) Escritura a esclavo 2 Profibus.

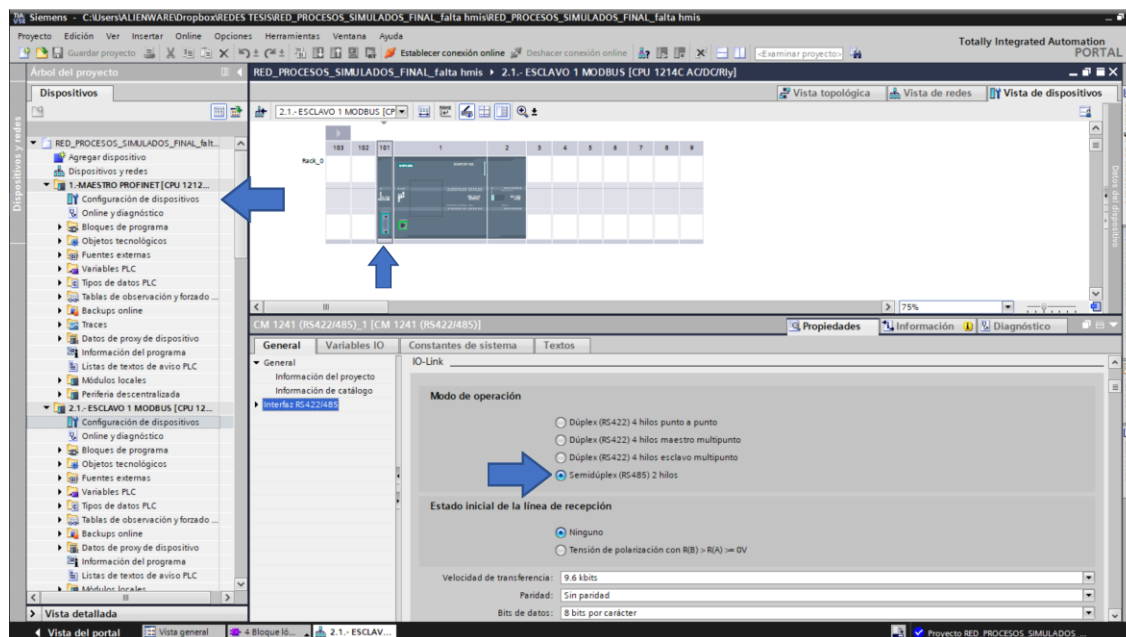


**Figura 77.** Programación de subfunciones de lectura. a) Lectura a esclavo 1 ProfiBus. b) Lectura a esclavo 2 ProfiBus.

En la Figura 76 se muestra las subfunciones para la escritura a cada esclavo de la red ProfiBus mientras que en la Figura 77 se muestran las subfunciones necesarias para la lectura.

### 3.5.4. Red Modbus

Como paso inicial se procede a la configuración de cada uno de los módulos de comunicación que intervienen en la red ModBus para lo cual damos clic en configuración de dispositivo, a continuación, un clic sobre el módulo de comunicación e interfaz RS422/485 y se configura como Semidúplex (RS485) 2 hilos.



**Figura 78.** Configuración de hardware módulos CM1241 RS422/485

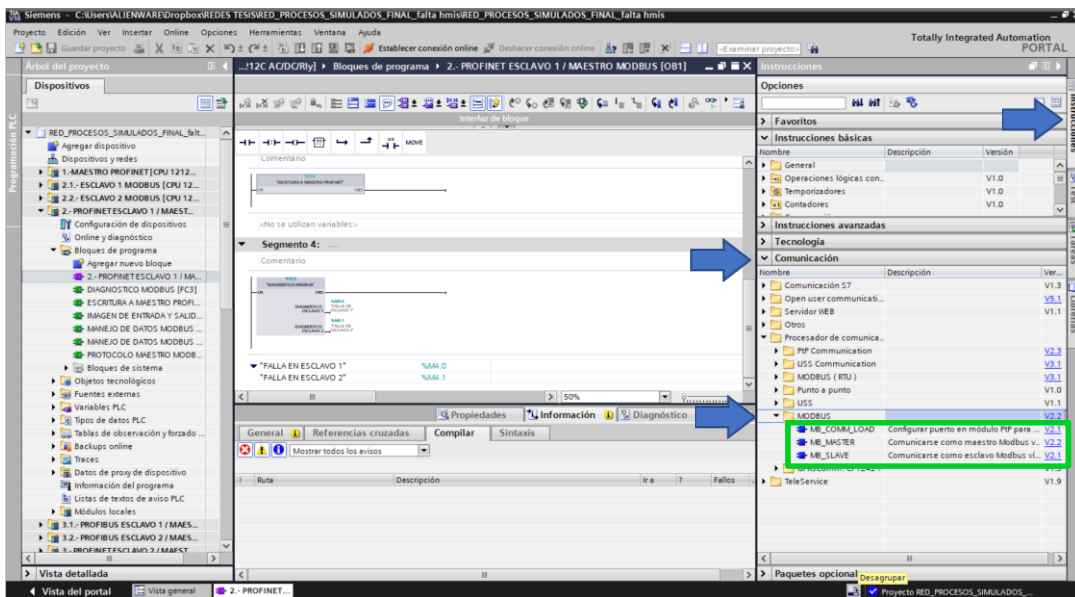
Otro parámetro de relevancia para la configuración de la red ModBus es la dirección de cada elemento perteneciente a la misma para lo cual se detalla en la Tabla 25

**Tabla 25**  
*Parámetros y ubicación de elementos red ModBus*

Elemento de la red	PLC de ubicación	Modulo	Rack	Dirección ModBus
Maestro	2.- PROFINET ESCLAVO 1 / MAESTRO MODBUS	CM1241 RS422/485	101	
Esclavo 1	2.1.- ESCLAVO 1 MODBUS	CM1241 RS422/485	101	2
Esclavo 2	2.2.- ESCLAVO 2 MODBUS	CM1241 RS422/485	101	3

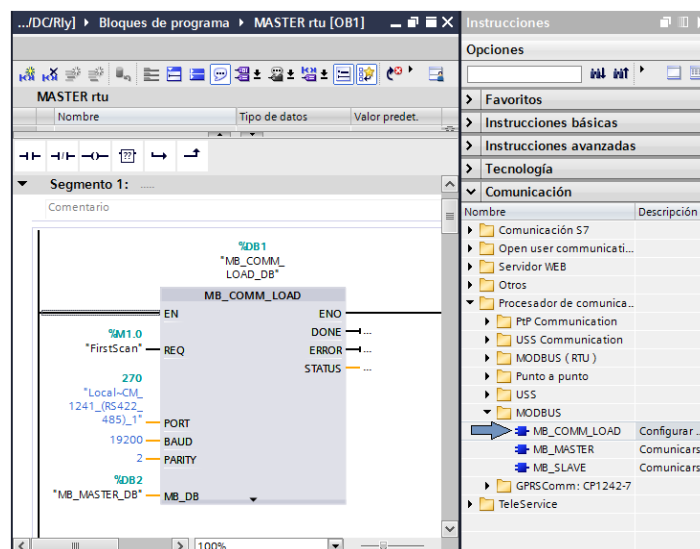
Para la comunicación ModBus al ser un protocolo abierto requiere mayor desarrollo por lo cual se crean subfunciones especiales para el manejo de datos, además las áreas de transferencia son definidas por registros, para identificar los registros se generan punteros de memoria que son asignación indirecta de espacios de memoria.

Para la implementación de esta comunicación se utiliza la librería de comunicación de TIA portal como muestra la Figura 79.



**Figura 79.** Bloques de instrucción ModBus.

Como generalidad cada elemento de la red ModBus debe inicializar su canal de comunicación, para esto se aplica el bloque MB\_COMM\_LOAD, cada uno de sus parámetros están descritos en la Tabla 26



**Figura 80.** Bloque MB\_COMM\_LOAD

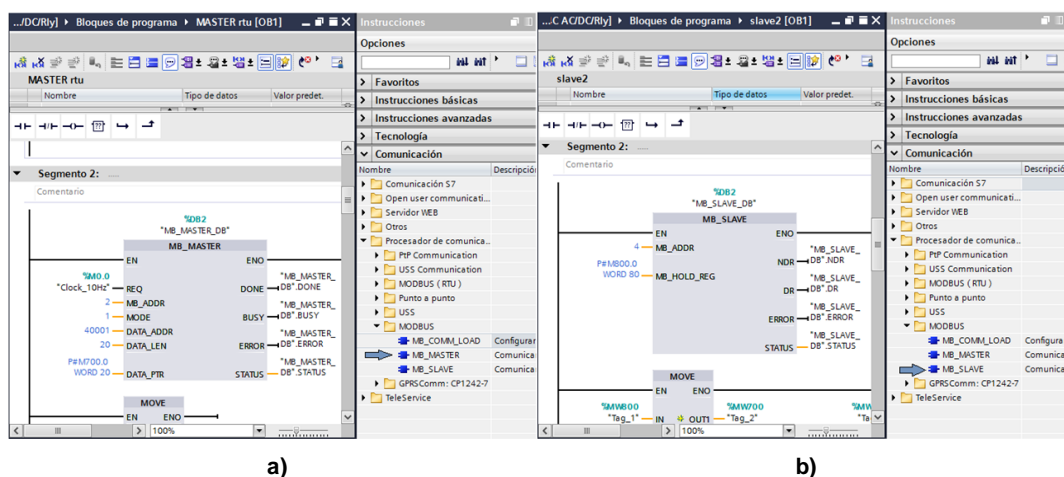
**Tabla 26**

*Parámetros del bloque MB\_COMM\_LOAD*

Parámetro	Tipo	Descripción
REQ	Entrada	Inicia la operación.
PORT	Entrada	Identificador del puerto de comunicación.
BAUD	Entrada	Velocidad de transmisión en baudios.
PARITY	Entrada	Selección de paridad.
MD_DB	Entrada	Definición de modulo como maestro o esclavo.
DONE	Salida	Indicador de requerimiento concluido sin error.
ERROR	Salida	Indicador de error.
STATUS	Salida	Código de condición de ejecución.

Para definir la función del CPU ya sea como maestro o esclavo, se utiliza los bloques MB\_MASTER y MB\_SLAVE respectivamente. Cabe recalcar que un PLC no puede realizar la función de maestro y esclavo al mismo tiempo, por lo cual no debe tener ambas a la vez en una misma programación. Los parámetros de configuración se muestran en la Tabla 27





**Figura 81.** a) Bloque MB\_MASTER. b) Bloque MB\_SLAVE

**Tabla 27**

*Parámetros de configuración de los bloques MB\_MASTER*

MB_MASTER		
Parámetro	Tipo	Descripción
REQ	Entrada	Inicia la operación.
MB_ADDR	Entrada	Transfiere la dirección Modbus.
MODO	Entrada	Modo de selección: Indica el tipo de solicitud: lectura, escritura
DATA_ADDR	Entrada	Dirección inicial en el esclavo
DATA_LEN	Entrada	Longitud de datos
DATA_PTR	Entrada	Puntero hacia la dirección de la marca de la CPU de los datos que se deben escribir o leer
DONE	Salida	Indicador de requerimiento concluido sin error.
BUSY	Salida	Canal ModBus ocupado
ERROR	Salida	Indicador de error.
STATUS	Salida	Código de error de ejecución.
MB_SLAVE		
Parámetro	Tipo	Descripción
MB_ADDR	Entrada	Transfiere la dirección Modbus.
MB_HOLD_REG	Entrada	Registro de participación de esclavo.
NDR	Salida	Indicador de disponibilidad de nuevos datos.
DR	Salida	Indicador de lectura de datos.
ERROR	Salida	Indicador de error.
STATUS	Salida	Código de error de ejecución.

Para empezar con la configuración de la red ModBus se procede a realizar un cuadro de registros a intervenir en la comunicación generando así áreas de transferencia definidas con la finalidad de estandarizar este parámetro y usar direccionamiento indirecto de memorias para su mejor funcionamiento para lo cual establecemos un puntero a la memoria M100.0 con un tamaño de 4 Word, este puntero se lo debe ubicar en los parámetros DATA\_PTR y MB\_HOLD\_REG del maestro y esclavo.

**Tabla 28**

*Configuración de registros como áreas de transferencia a través de direccionamiento indirecto*

<b>Puntero</b>	<b>P#M100.0 WORD 4</b>	
<b>Maestro</b>		
<b>Memoria</b>	<b>Registro Escritura</b>	<b>Registro Lectura</b>
	Modo: 1	Modo: 0
MW100	40001	40003
MW102	40002	40004
<b>Esclavos</b>		
<b>Memoria</b>	<b>Registro Esclavo 1</b>	<b>Registro Esclavo 2</b>
<b>Lectura</b>		
MW100	40001	40001
MW102	40002	40002
<b>Escritura</b>		
MW104	40003	40003
MW106	40004	40004

De igual manera se desarrolla un cuadro sinóptico de variables a intervenir en la comunicación, para lo cual se debe tener claro las variables que suben y bajan de los esclavos hacia el maestro además se asigna un nombre específico y su procedencia para una completa identificación de la variable.

**Tabla 29**  
*Sinóptico de variables para comunicación ModBus – Esclavo 1*

2.1.- ESCLAVO 1 MODBUS							
Nombre de la variable en esclavo	Dirección de memoria en el CPU Esclavo	Memoria de transferencia	Registro ModBus	Memoria de transferencia	Dirección de memoria en el CPU Maestro	Nombre de la variable en maestro	
Recepción							
Memorias de encendido remoto	MB11	MB100	40001	MW100	MB100	MB31	Esclavo1 Memorias de encendido remoto
-----	-----	MB101					MB101
Memoria encendido remoto proceso	MB10	MB102	40002	MW102	MB102	MB32	Esclavo1 Memoria encendido remoto proceso
-----	-----	MB103					MB103
Envío							
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	40003	MW100	MB100	MB33	Esclavo1 Memoria de Entradas Físicas
	Memoria de Salidas físicas	MB1					
		MW0			MW33		Esclavo1 Memoria de variables digitales PLC
Memoria de Proceso	MB4	MB106	40004	MW102	MB102	MB35	Esclavo1 Memoria de Proceso
-----	-----	MB107					MB103

**Tabla 30.**  
**Sinóptico de variables para comunicación ModBus – Esclavo 2**

2.2.- ESCLAVO 2 MODBUS									
Nombre de la variable en esclavo	Dirección de memoria en el CPU Esclavo	Memoria de transferencia	Registro ModBus	Memoria de transferencia	Dirección de memoria en el CPU Maestro	Nombre de la variable en maestro			
Recepción									
Memorias de encendido remoto	MB11	MB100	40001	MW100	MB100	MB36	Esclavo2 Memorias de encendido remoto		
-----	-----	MB101					MB101	-----	-----
Memoria encendido remoto proceso	MB10	MB102	40002	MW102	MB102	MB37	Esclavo2 Memoria encendido remoto proceso		
-----	-----	MB103					MB103	-----	-----
Envío									
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	40003	MW100	MB100	MB38	MW38	Esclavo2 Memoria de Entradas Físicas	
	Memoria de Salidas físicas	MB1			MB101			MB39	Esclavo2 Memoria de Salidas físicas
		MW0					Esclavo2 Memoria de variables digitales PLC		
Memoria de Proceso	MW6	MW106	40004	MW102	MW40		Esclavo2 Memoria de Proceso		

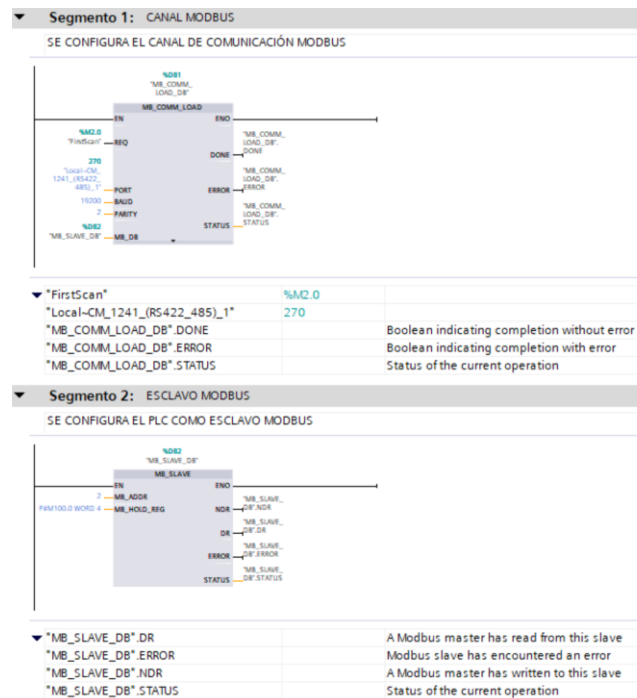
Cómo se puede observar en la Tabla 29, la columna central son los registros necesarios para el establecimiento de la comunicación ModBus cada registro utiliza una

memoria del PLC tipo Palabra, en el caso de enviar un byte por un registro, se desperdicia un byte constitutivo de la memoria tipo palabra.

### a) Configuración de esclavos 1 ModBus

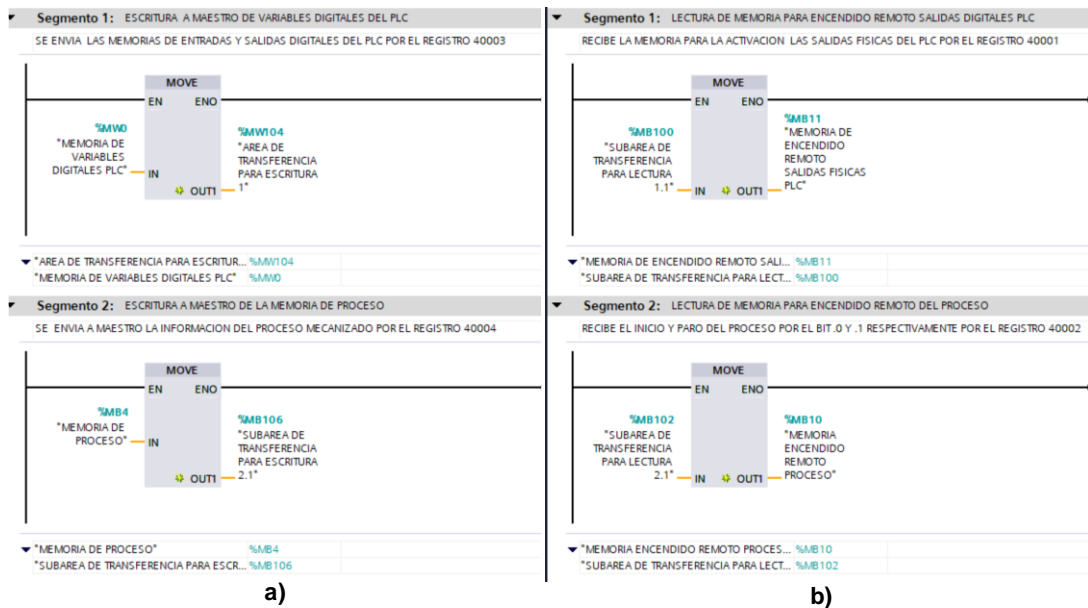
En la configuración de esclavo 1, se crea una subfunción para el protocolo de comunicación ModBus, dentro de esta subfunción se configura el bloque MB\_COMM\_LOAD para crear un canal de comunicación.

Además, se configura un bloque MB\_SLAVE, con esto se establece que el PLC trabajara como esclavo ModBus, la configuración de las variables de entrada para este bloque se establece en las tablas Tabla 25 y Tabla 28, las salidas del bloque son enviadas a la bases de datos generadas por el mismo bloque.



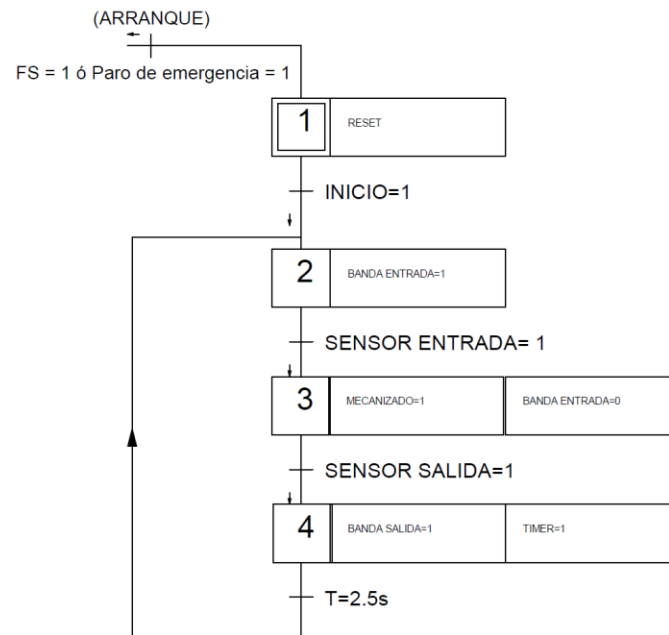
**Figura 82.** Protocolo ModBus Esclavo 1

Para el movimiento de datos de igual manera que con el protocolo ModBus se crea una subfunción y dentro de esta se realiza el movimiento de datos en las áreas de transferencia ya asignadas en la Tabla 28



**Figura 83.** a) Escritura a Maestro ModBus. b) Lectura de Maestro ModBus

Además, al ser unos dispositivos presentes en el nivel de campo de esta implementación, el CPU designado para esclavo ModBus realiza la automatización del proceso de mecanizado indicado en el apartado 3.3.2.a), aplicando el graficet indicado en la Figura 84.



**Figura 84.** Graficet correspondiente al proceso de mecanizado

### b) Configuración de esclavos 2 ModBus

De igual manera que con el esclavo 1, se crea una subfunción para el protocolo de comunicación ModBus, dentro de esta subfunción se configura el bloque MB\_COMM\_LOAD para crear un canal de comunicación.

Además, se configura un bloque MB\_SLAVE, con esto se establece que el PLC trabajara como esclavo ModBus, la configuración de las variables de entrada para este bloque se establece en las tablas Tabla 25 y Tabla 28, las salidas del bloque son enviadas a la bases de datos generadas por el mismo bloque.

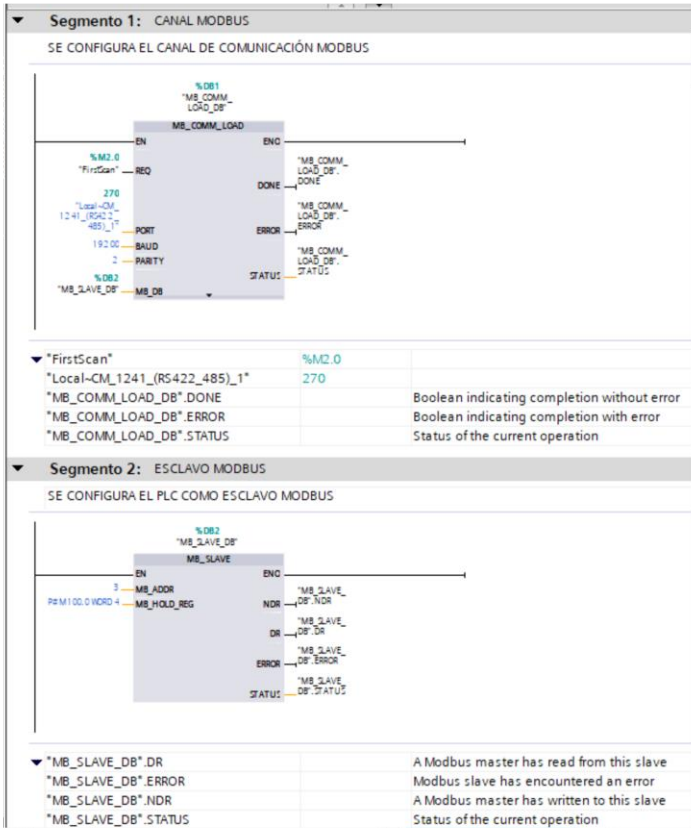


Figura 85. Protocolo ModBus Esclavo 2

Para el movimiento de datos de igual manera que con el protocolo ModBus se crea una subfunción y dentro de esta se realiza el movimiento de datos en las áreas de transferencia ya asignadas en la Tabla 28.



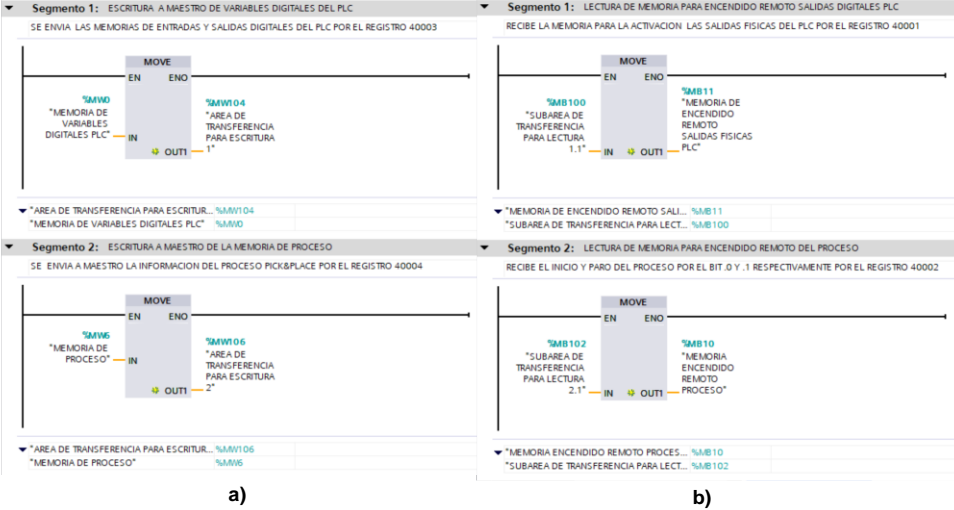


Figura 86. a) Escritura a Maestro ModBus. b) Lectura de Maestro ModBus

Al ser él CPU unos dispositivos presentes en el nivel de campo de esta implementación, se designado para esclavo 2 ModBus la automatización del proceso Pick&Place indicado en el apartado 3.3.2.b) aplicando el grafcet indicado en la Figura 87

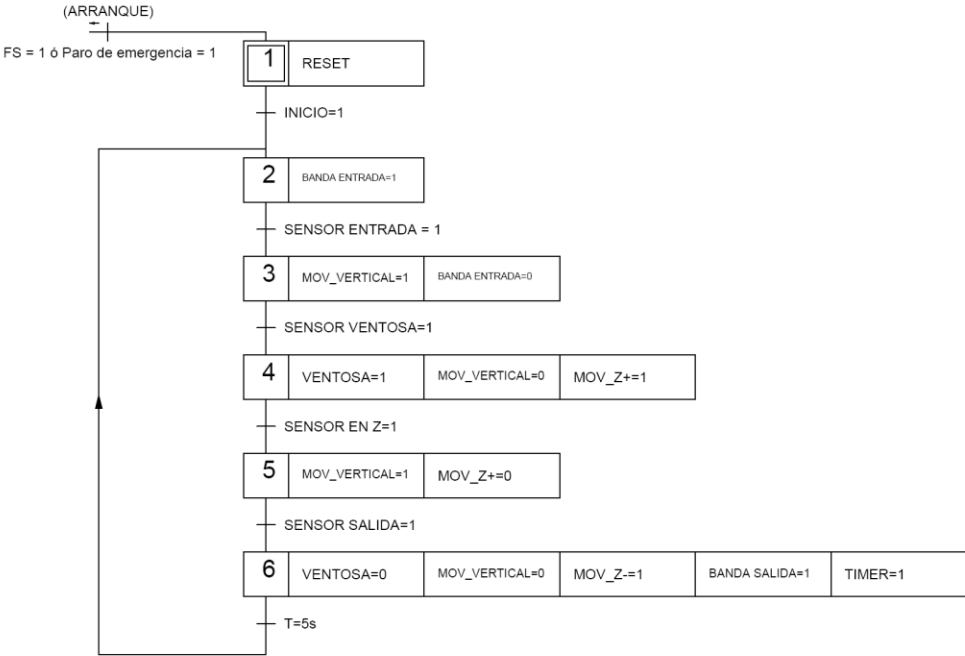


Figura 87. Grafcet correspondiente al proceso Pick&Place

c) Configuración de maestro ModBus

Al igual que en los esclavos, para el maestro Modbus se crea una subfunción para el protocolo, la programación del protocolo será descrita en el diagrama de flujo de la Figura

88

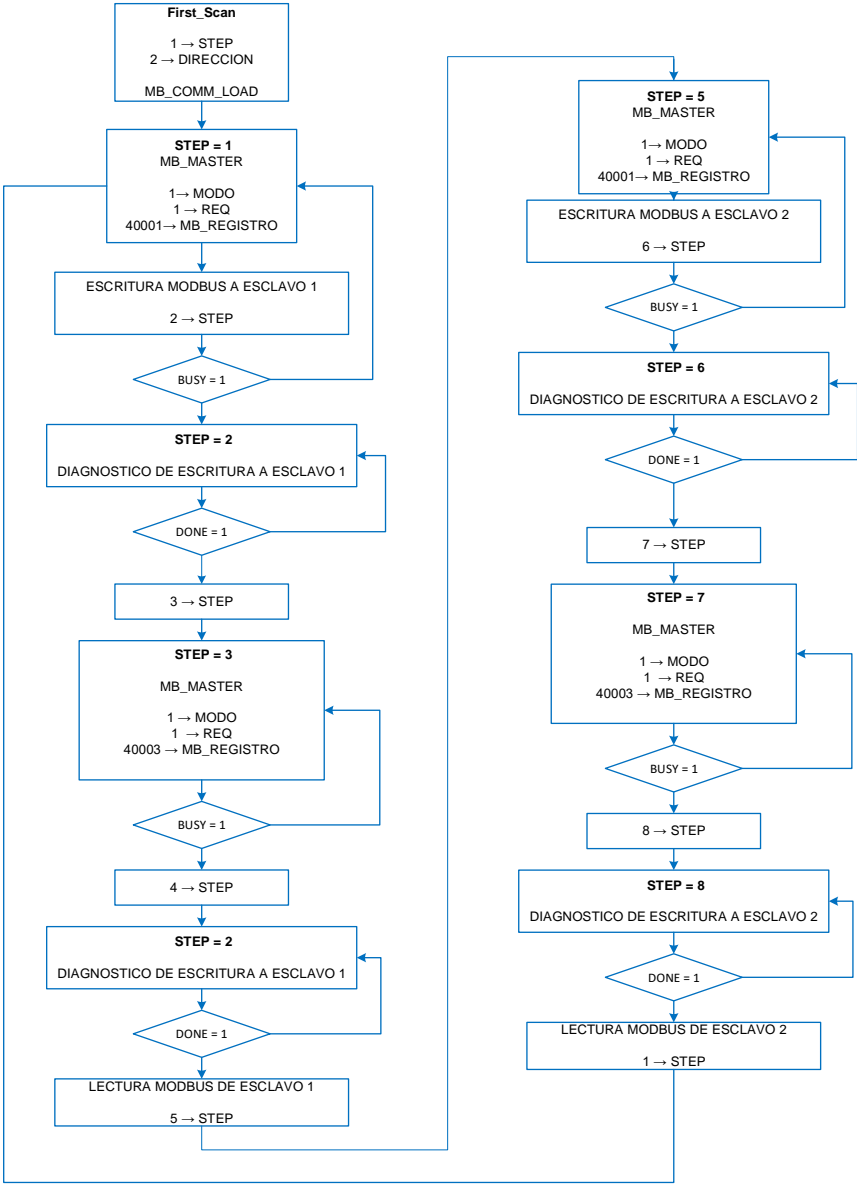
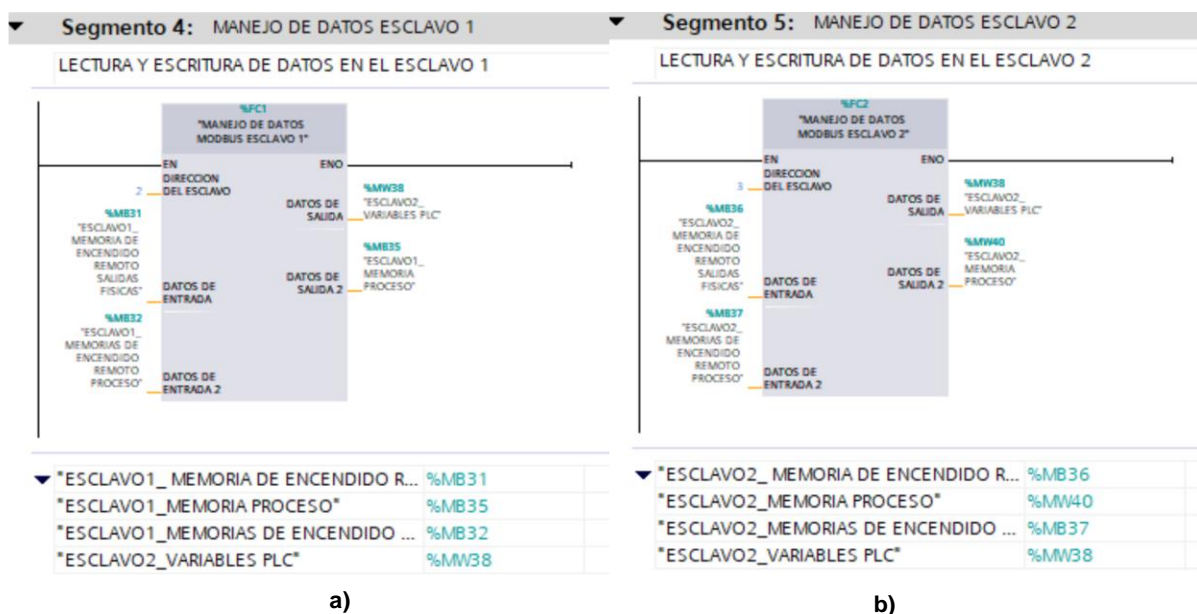


Figura 88. Diagrama de flujo de programación Maestro ModBus

Como en los elementos anteriores de la red ModBus, se procede a inicializar el canal y configurar el dispositivo como maestro, además como muestra el diagrama de flujo de la Figura 88, se procede a inicializar los valores de STEP y DIRECCIÓN.

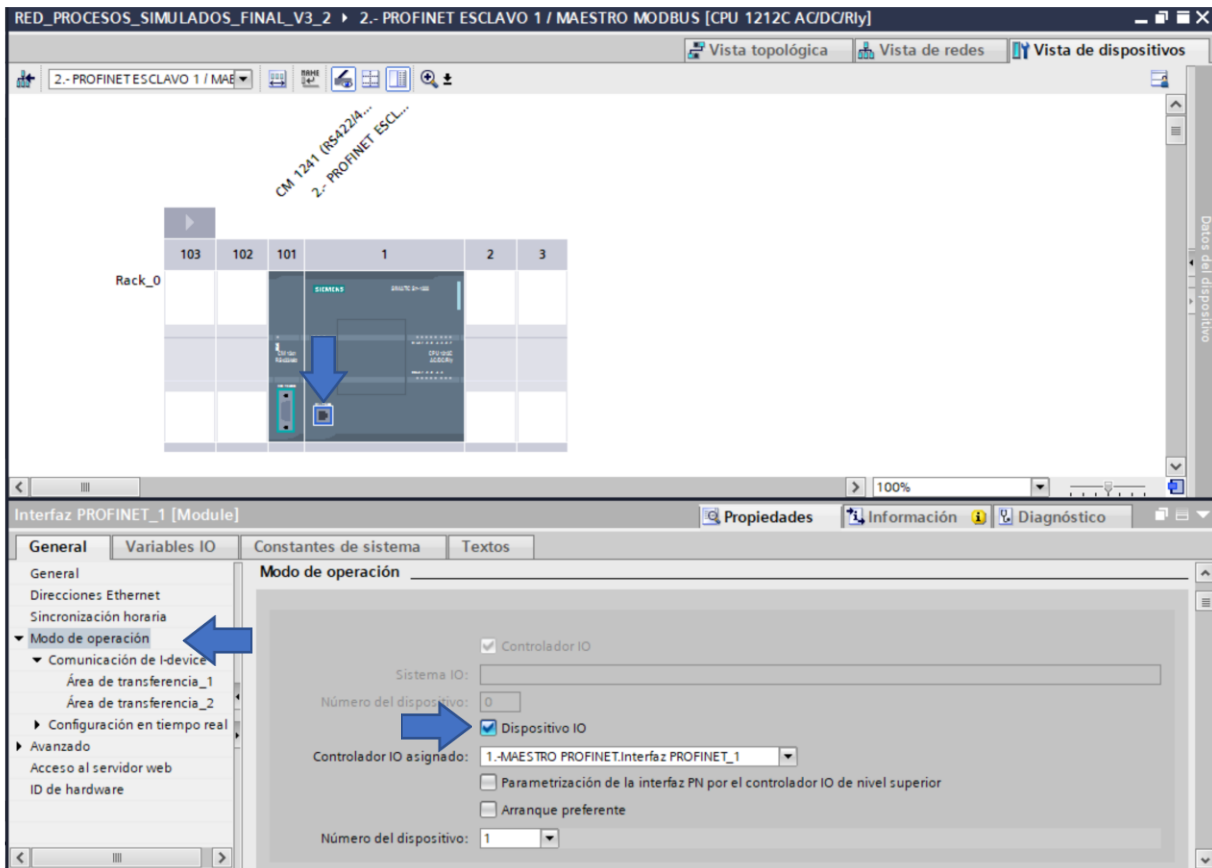
Para realizar el Ladder de una manera más estructurada se ha realizado subfunciones una para el manejo de datos de cada esclavo separando el diagrama de flujo en dos.



**Figura 89.** a) Subfunción de manejo de datos esclavo 1. b) Subfunción de manejo de datos esclavo 1.

### 3.5.5. Red Profinet

Como paso inicial para el desarrollo de la red ProfiNet se procede en vista de dispositivos a configurar el hardware, para lo cual se da clic sobre el puerto rj45 de la CPU, a continuación, clic en Modo de operación y se activa Dispositivo IO como se muestra en la Figura 90.



**Figura 90.** Activación de dispositivo como Profinet IO

Previo a la definición de áreas de transferencia, se realiza un sinóptico de variables con la finalidad de facilitar el entendimiento del movimiento de los datos, representada en la Tabla 31.

Tabla 31

Sinóptico de variables para comunicación ProfiNet – Esclavo 1

2.- PROFINET ESCLAVO 1 / MAESTRO MODBUS										
Nombre de la variable en esclavo		Dirección de memoria en el CPU Esclavo		Área de transferencia esclavo ProfiNet		Área de transferencia maestro ProfiNet		Dirección de memoria en el CPU Maestro		Nombre de la variable en maestro
Envío										
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW1	IW1	MW4	MB4	Master_Modbus_Memoria de Entradas Físicas	Master_Modbus_Memoria de variables digitales PLC	
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB5			Master_Modbus_Memoria de Salidas físicas
Memoria de Diagnostico		MB4		QB3	IB3	MB6		Diagnostico Modbus		
Esclavo1_Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB33	MW33	QW4	IW4	MW8	MB8	Esclavo1_Memoria de Entradas Físicas	ModBus_Esclavo1_Memoria de variables digitales PLC	
	Memoria de Salidas físicas	MB34					MB9			Esclavo1_Memoria de Salidas físicas
Memoria de Proceso 1		MB35		QB6	IB6	MB7		Memoria de Proceso Mecanizado		
Esclavo2_Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB38	MW38	QW7	IW7	MW10	MB10	Esclavo1_Memoria de Entradas Físicas	ModBus_Esclavo2_Memoria de variables digitales PLC	
	Memoria de Salidas físicas	MB39					MB11			Esclavo1_Memoria de Salidas físicas
Memoria de Proceso 2		MW40		QW9	IW9	MW12		Memoria de Proceso Pick&Place		
Recepción										
Esclavo1_Memoria encendido remoto proceso		MB32		IB1	QB1	MB29		Memoria encendido remoto proceso Mecanizado		
Esclavo2_Memoria encendido remoto proceso		MB37		IB2	QB2	MB30		Memoria encendido remoto proceso Pick&PLace		
Master_Modbus_Memorias de encendido remoto salidas físicas		MB6		aIB3	QB3	MB31		Memorias de encendido remoto ModBus Master salidas físicas		
Esclavo1_Memorias de encendido remoto salidas físicas		MB31		IB4	QB4	MB32		Memorias de encendido remoto ModBus Master salidas físicas		
Esclavo2_Memorias de encendido remoto salidas físicas		MB36		IB5	QB5	MB33		Memorias de encendido remoto MdBus Master salidas físicas		

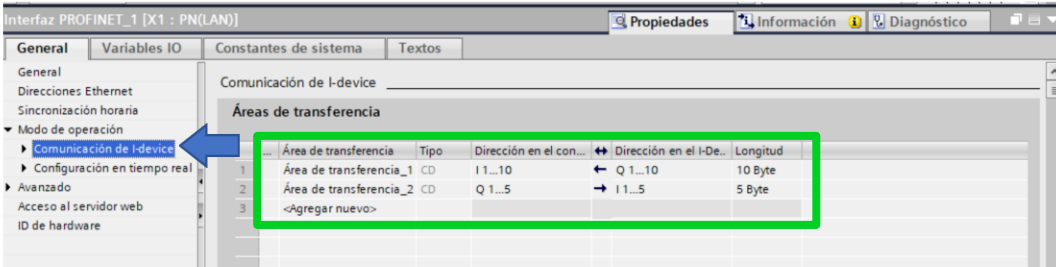
**Tabla 32.****Sinóptico de variables para comunicación ProfiNet – Esclavo 2**

3.- PROFINET ESCLAVO 2 / MAESTRO PROFIBUS										
Nombre de la variable en esclavo		Dirección de memoria en el CPU Esclavo		Área de transferencia esclavo ProfiNet		Área de transferencia maestro ProfiNet		Dirección de memoria en el CPU Maestro		Nombre de la variable en maestro
Envío										
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW11	IW11	MW14	MB14	Master_ProfiBus_Memoria de Entradas Físicas		Master_ProfiBus_Memoria de variables digitales PLC
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB15	Master_ProfiBus_Memoria de Salidas físicas		
Memoria de Diagnostico		MB6		QB13	IB13	MB16		Diagnostico ProfiBus		
Memoria de Proceso		MB8		QB14	IB14	MB17		Memoria de Proceso_brazo pivote		
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW15	IW15	MW18	MB18	ProfiBus_Esclavo1_Memoria de Entradas Físicas		ProfiBus_Esclavo1_Memoria de variables digitales PLC
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB19	ProfiBus_Esclavo1_Memoria de Salidas físicas		
Memoria de variables red AS-I	Memoria de entradas AS-I	MB4	MW4	QW17	IW17	MW20	MB20	AS-I_1_Memoria de entradas AS-I		AS-I_1_Variables
	Memoria de salidas AS-I	MB5					MB21	AS-I_1_Memoria de salidas AS-I_1		
Memoria de Diagnostico		MB6		QB19	IB19	MB22		As-1_diagnostico		
Memoria de Proceso		MB8		QB20	IB20	MB23		Memoria de Proceso_pusher		
Memoria de variables digitales PLC	Memoria de Entradas Físicas	MB0	MW0	QW21	IW21	MW24	MB24	ProfiBus_Esclavo2_Memoria de Entradas Físicas		ProfiBus_Esclavo2_Memoria de variables digitales PLC
	Memoria de Salidas físicas	MB1					MB25	ProfiBus_Esclavo2_Memoria de Salidas físicas		
Memoria de variables red AS-I	Memoria de entradas AS-I	MB4	MW4	QW23	IW23	MW26	MB26	AS-I_2_Memoria de entradas AS-I		AS-I_2_Variables
	Memoria de salidas AS-I	MB5					MB27	AS-I_2_Memoria de salidas AS-I		
Memoria de Diagnostico		MB6		QB25	IB25	MB28		AS-I2_diagnostico		
Recepción										
Esclavo1_Memoria encendido remoto proceso		MB13		IB16	QB6	MB34		MEMORIA ENCENDIDO REMOTO PROCESO BRAZO PIVOTE		
Esclavo2_Memoria encendido remoto proceso		MB22		IB17	QB7	MB35		MEMORIA ENCENDIDO REMOTO PROCESO PUSHER		

CONTINÚA 

Master_ProfiBus_Memorias de encendido remoto salidas físicas	MB23	IB18	QB8	MB36	MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO PROFIBUS MASTER SALIDAS FÍSICAS
Esclavo1_Memorias de encendido remoto salidas físicas	MB11	IB19	QB9	MB37	MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO PROFIBUS MASTER SALIDAS FÍSICAS
Esclavo1_Memorias de encendido remoto salidas AS-I	MB12	IB20	QB10	MB38	MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO AS-I 1 SALIDAS
Esclavo2_Memorias de encendido remoto salidas físicas	MB20	IB21	QB11	MB39	MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO PROFIBUS MASTER SALIDAS FÍSICAS
Esclavo2_Memorias de encendido remoto salidas AS-I	MB21	IB22	QB12	MB40	MEMORIAS DE ENCENDIDO REMOTO AS-I 2 SALIDAS

Con las variables indicadas en el sinóptico de variables, se procede a configurar las áreas de transferencia para lo cual en cada esclavo se procede a dar clic Comunicación de I-device y se procede a generar las áreas de transferencia, en longitud se ubica el número de bytes a cada área de transferencia, cave recalcar que la dirección de la flecha en la tabla de variables indica el sentido de la comunicación.

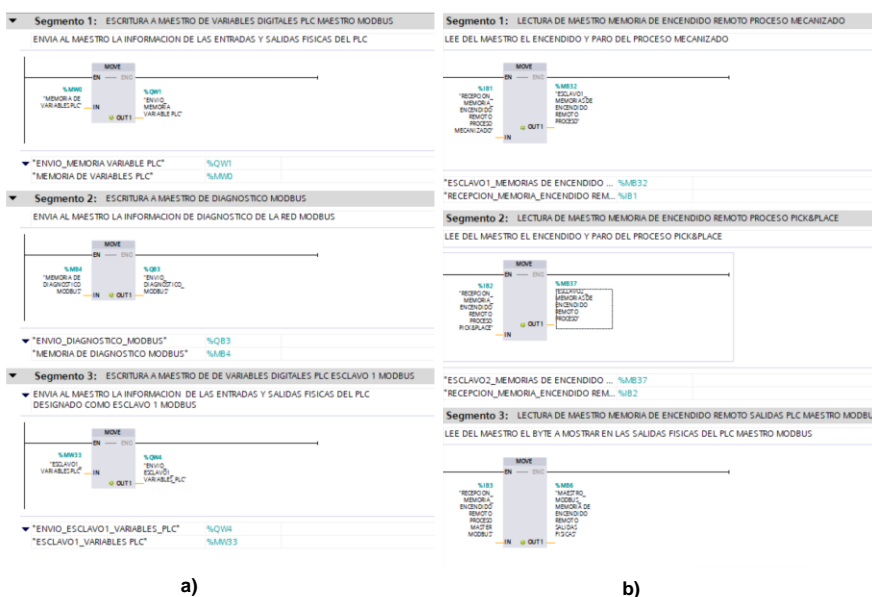


**Figura 91.** Áreas de transferencia comunicación Profibus

Las direcciones del área de transferencia tanto de los esclavos como las del maestro están establecidas en las columnas centrales de la Tabla 31. Este procedimiento se realiza para cada esclavo ProfiNet.

## a) Configuración de esclavos 1 ProfiNet

Luego de haber configurado el hardware y creado las áreas de transferencia de los dispositivos presentes en la red ProfiNet, se procede a la programación del esclavo 1 para lo cual se crea dos subfunciones y donde se realiza el movimiento de datos del área de transferencia hacia un espacio de memoria dentro de la CPU, tanto para escritura como para lectura, estas memorias están detalladas en la Tabla 31.

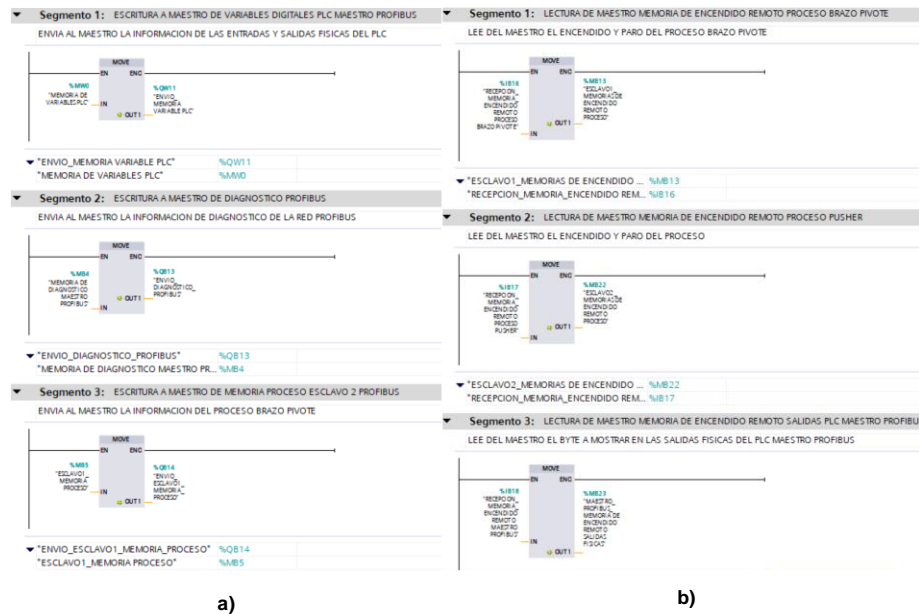


**Figura 92.** a) Escritura de esclavo 1 a maestro ProfiNet. b) lectura del esclavo 1 a maestro ProfiNet

## b) Configuración de esclavos 2 ProfiNet

Al igual que en el esclavo 1, se procede a crea una subfunción y donde se realiza el movimiento de datos del área de transferencia hacia un espacio de memoria dentro de la CPU, estas memorias están detalladas en la Tabla 31.





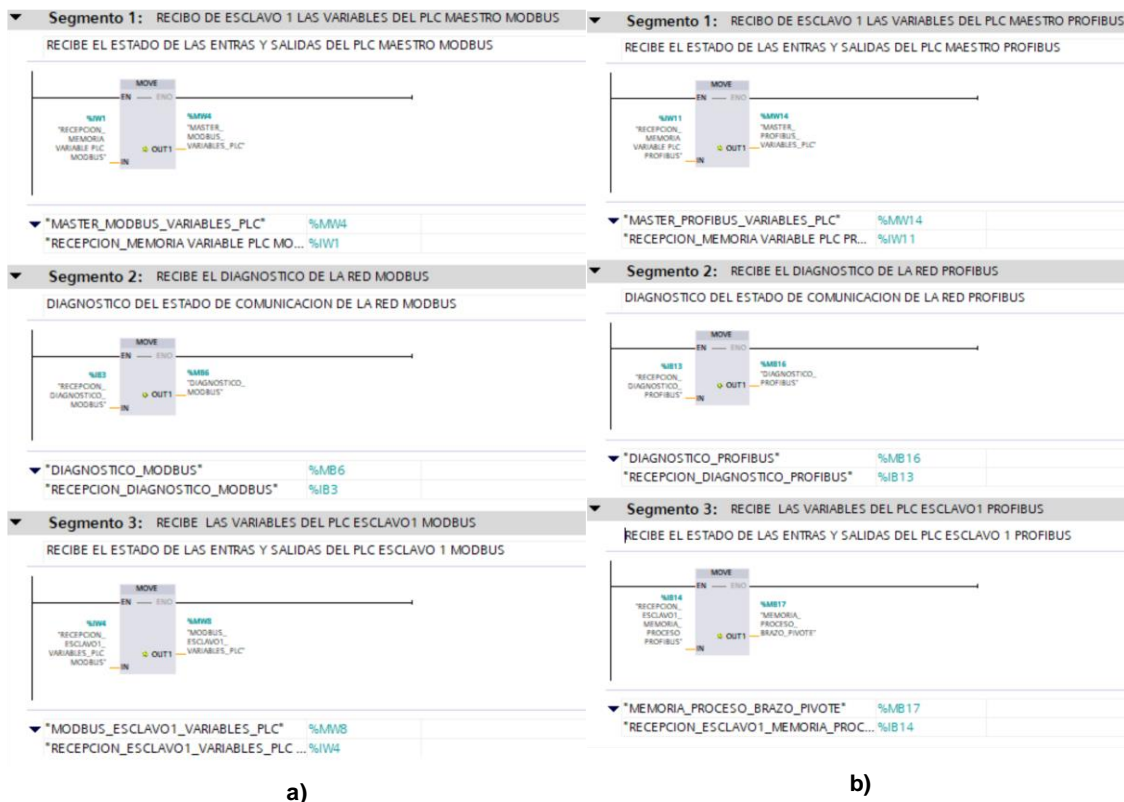
**Figura 93.** a) Escritura de esclavo 2 a maestro ProfiNet. b) lectura del esclavo 2 a maestro ProfiNet

**c) Configuración de maestro ProfiNet**

De igual manera que en los esclavos ProfiNet se procede a crear subfunciones tanto para la lectura y escritura de cada esclavo, dentro de estas subfunciones se realiza un movimiento de datos según lo indicado en la Tabla 31



**Figura 94.** Programación de subfunciones de escritura a) Escritura a esclavo 1 ProfiNet b) Escritura a esclavo 2 ProfiNet

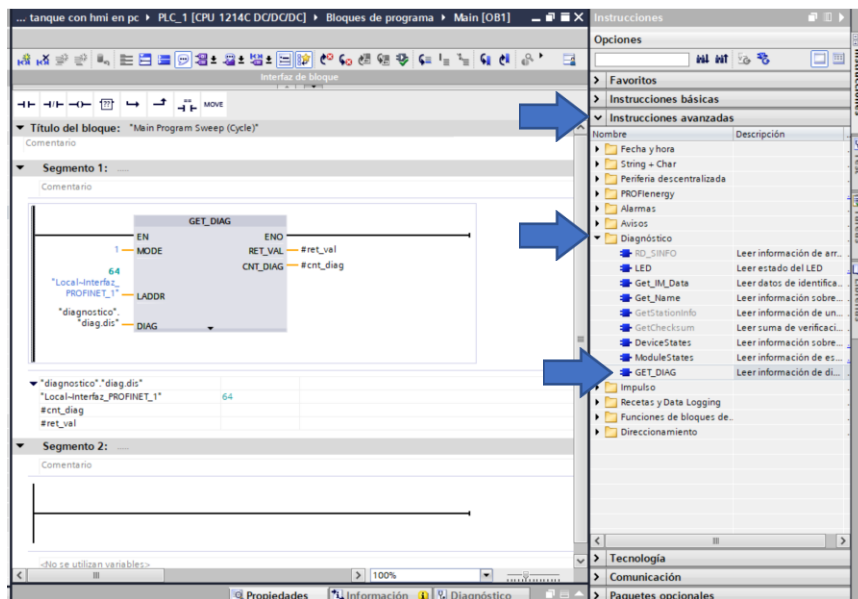


**Figura 95.** Programación de subfunciones de lectura a) Lectura a esclavo 1 ProfiNet b) Lectura a esclavo 2 ProfiNet

En la Figura 94 se muestra las subfunciones para la escritura a cada esclavo de la red ProfiNet mientras que en la Figura 95 se muestran las subfunciones necesarias para la lectura.

### 3.5.6. Diagnóstico de Red

Para el desarrollo de los diagnósticos de red se utiliza la función avanzada GET\_DIAG mostrada en la Figura 96, es importante mencionar que esta función detecta los errores a través de la lectura del búfer de diagnóstico y las variables del sistema (HW) de cada dispositivo al cual se realiza el diagnóstico.



**Figura 96.** Instrucción avanzada GET\_DIAG.

Los parámetros necesarios para la configuración de este bloque de instrucción avanzada se ubican en la **Tabla 33**.

**Tabla 33.**

*Parámetros de configuración de bloque GET\_DIAG*

Parámetro	Declaración	Tipo de dato	Descripción
MODEmb	Input	UINT	El parámetro MODE selecciona qué datos de diagnóstico se deben emitir.
LADDR	Input	HW_ANY (WORD)	Identificador de hardware del componente de hardware.
RET_VAL	Return	INT	Estado de la instrucción
CNT_DIAG	Output	UINT	Reservado (siempre "0").
DIAG	InOut	VARIANT	Puntero área de datos para almacenar la información de diagnóstico del modo seleccionado

Se configura el modo de operación en 1, con lo cual el bloque de función trabaja de a través de la estructura DIS, esta estructura será generada dentro de una base de datos (DB) creada para cada uno de los elementos a ser diagnosticados, este modo de operación entrega en su parámetro DIAG la información mostrada en la Figura 97.

Nombre	Tipo de datos	Valor de arranque	Instantánea	Remanen...	Accesible d...	Escrib...	Visible en...	V...
1	Static							
2	DIS_S1							
3	MaintenanceState	DWord	16#0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	ComponentStateD...	DWord	16#0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	OwnState	UInt	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	IOSState	Word	16#0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	OperatingState	UInt	0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

**Figura 97.** Estructura de diagnóstico DIS

La estructura de diagnóstico DIS brinda información del buffer de diagnóstico, dentro de ella, la variable OwnState determina el estado de mantenimiento, a través de un número entero del 0 al 6, el detalle de esta asignación se describe en la Tabla 34.

**Tabla 34**  
*Resultados de diagnóstico en OwnState*

Asignación en OwnState	Descripción de asignación
0	No hay fallos
1	El módulo o dispositivo está deshabilitado
2	Mantenimiento necesario
3	Mantenimiento solicitado
4	Error
5	La CPU no puede acceder al módulo o dispositivo (válido para módulos o dispositivos bajo una CPU).
6	Entradas/salidas no disponibles.

Para el diagnóstico de los distintos dispositivos de la red se usa una comparación del OwnState con los valores 4 y 5 principalmente, esta comparación activara un Bit dentro de una BYTE asignado para memoria dentro de cada CPU, estos valores se ven reflejados en la P, donde además se muestra el valor HW de cada dispositivo y su ubicación dentro de los dispositivos de la red.

**Tabla 35***Parámetros para diagnóstico de red*

<b>1.-MAESTRO PROFINET</b>			
Elemento	Código hw	OwnState	Bit de error
Esclavo 1	271	5	M41.0
Esclavo 2	275	5	M41.1
<b>3.- PROFINET ESCLAVO 2 / MAESTRO PROFIBUS</b>			
Elemento	Código hw	OwnState	Bit de error
Bus	272	5	M4.0
<b>Modulo maestro ProfiBus</b>			
Maestro Dp	269	5	M4.1
Maestro interfaz	271	5	M4.2
<b>Esclavo 1</b>			
Módulo Dp	273	5	M4.3
Esclavo 1 interfaz	275	5	M4.4
<b>Esclavo 2</b>			
Módulo Dp	276	5	M4.5
Esclavo 2 interfaz	278	5	M4.6
<b>3.1.- PROFIBUS ESCLAVO 1 / MAESTRO AS-I 1</b>			
Elemento	Código hw	OwnState	Bit de error
<b>Comunicación con maestro ProfiBus</b>			
Bus DP	271	5	M6.4
Modulo Esclavo DP	273	5	M6.4
Interfaz de Esclavo	275	5	M6.4
Cabecera de Esclavo	276	5	M6.4
<b>Elementos de Red AS-I</b>			
Maestro	463	5	M6.3
Bus	277	4	M6.2
Esclavo 1	283	5	M6.0
Esclavo 2	290	5	M6.1
<b>3.2.- PROFIBUS ESCLAVO 2 / MAESTRO AS-I 2</b>			
Elemento	Código hw	OwnState	Bit de error
<b>Comunicación con maestro ProfiBus</b>			
Bus DP	271	5	M6.4
Modulo Esclavo DP	273	5	M6.4
Interfaz de Esclavo	275	5	M6.4
Cabecera de Esclavo	276	5	M6.4
<b>Elementos de Red AS-I</b>			
Maestro	463	5	M6.3
Bus	277	4	M6.2
Esclavo 1	283	5	M6.0
Esclavo 2	290	5	M6.1

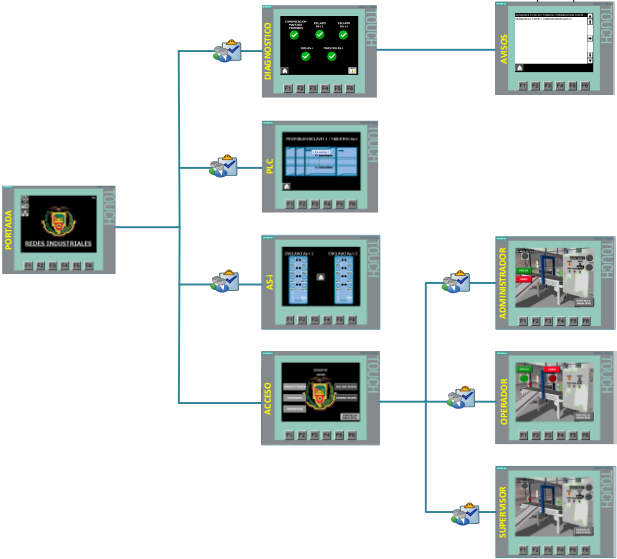
Para los diagnósticos tanto del maestro y los esclavos ModBus, el manejo de datos realizado permite la detección de la ausencia o presencia de cada uno de los esclavos a través del conteo de requerimientos, mientras que en el maestro ModBus se realiza un control de flujo de datos, cuando haya ausencia de un evento de comunicación exitoso, muestra un error con el elemento de red que no dio respuesta.

### **3.5.7. Configuración HMI's**

Los HMI's son desarrollados junto con la ayuda del software WinCC, que viene incluido dentro del paquete de TIA Portal, en el apartado, se especificó el procedimiento para añadir las Touch Panels,

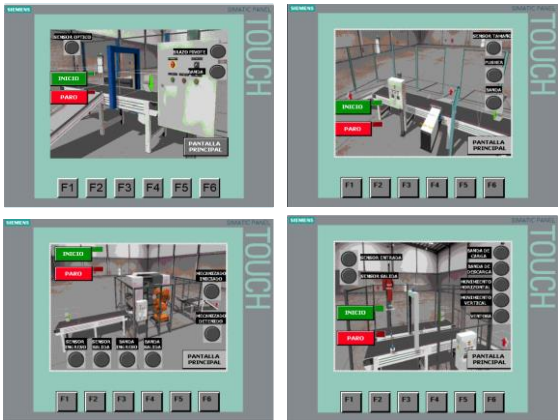
#### **a) Configuración HMI's Locales**

Para la configuración de las HMI's se procede a realizar la siguiente estructura de flujo de imágenes mostrada en la Figura 98, cabe mencionar que para los procesos en la sección de ModBus no presentan la imagen AS-I.



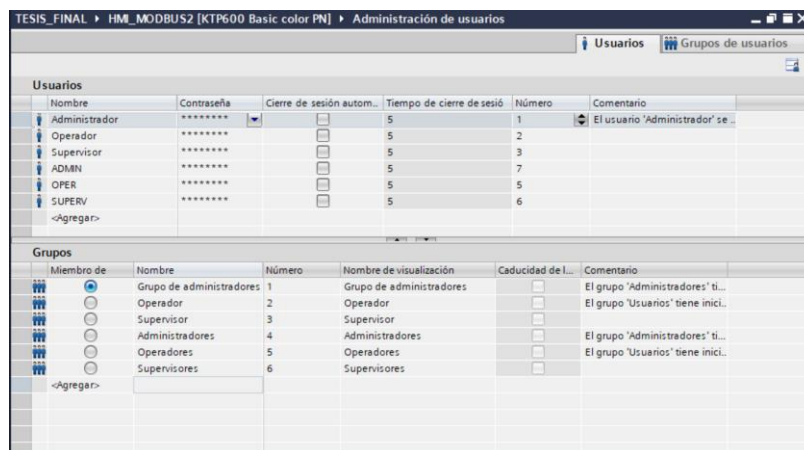
**Figura 98.** Diagrama de flujo de imágenes en HMI

Luego de haber establecido un flujo de imágenes se procede a desarrollar el HMI de cada uno de los procesos en su respectiva pantalla asignadas en la Tabla 13, Con la ayuda de los elementos ubicados en el costado derecho de la venta de programación, se desarrolló las siguientes interfaces, encendiendo luces piloto, al momento de activar los sensores de los procesos, para el control remoto de las estaciones, se ubica también su respectivo botón de inicio y paro.



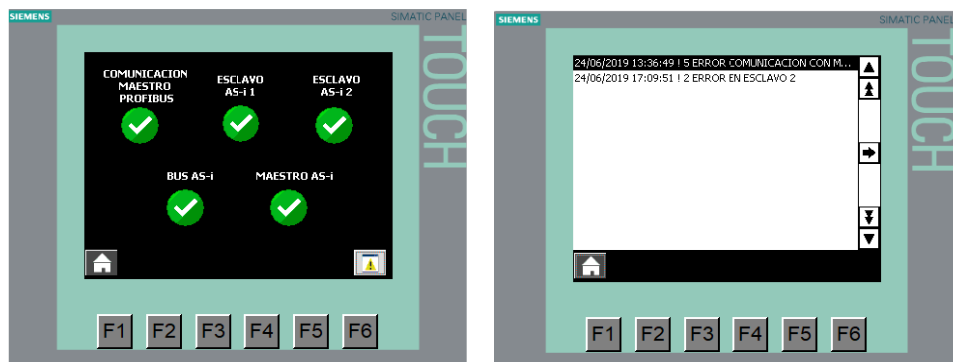
**Figura 99.** Interfaces de administrador en HMI local

Se considera necesario la administración de niveles de seguridad dentro el acceso de la interfaz de las HMI's para lo cual se procede con la herramienta de administrador de usuarios a generarlos asignar los grupos de seguridad, para finalizar se procede a designar la función que realizaran los usuarios, la configuración necesaria esta detallada en la Figura 100.



**Figura 100.** Administrador de usuarios

En la configuración de la imagen de diagnóstico de red, se procede a ubicar indicadores boléanos, para indicar su funcionamiento, además se agrega un visor de eventos previamente configurados.

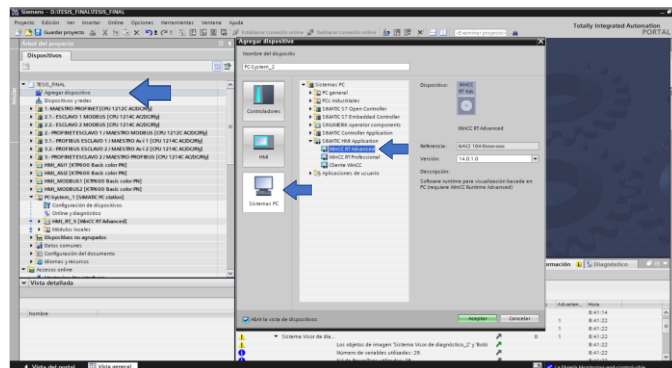


**Figura 101.** Imágenes de diagnóstico



## b) Configuración HMI's Remoto

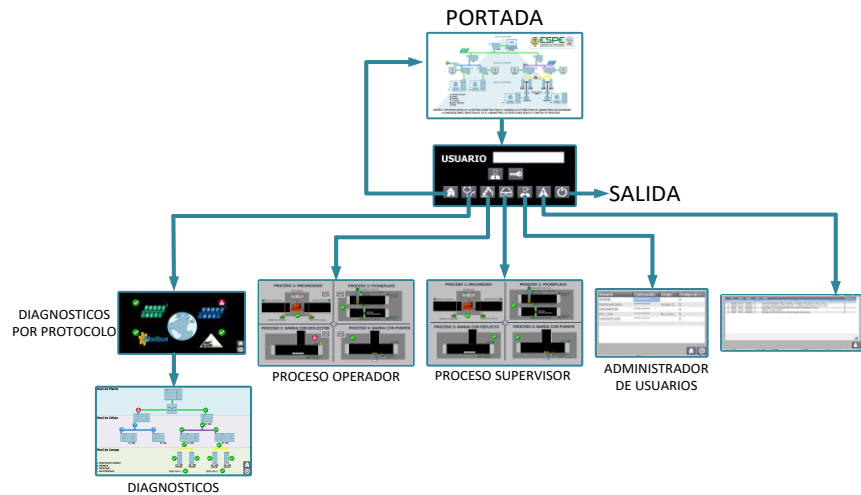
Para la configuración de un HMI remoto en el computador maestro, procedemos a agregar un nuevo dispositivo, clic en System pc y a continuación se despliega en la carpeta de SIMATIC HMI applications, como último paso elige el dispositivo como WinCC Run Time Advance.



**Figura 102.** Añadir un System PC al proyecto

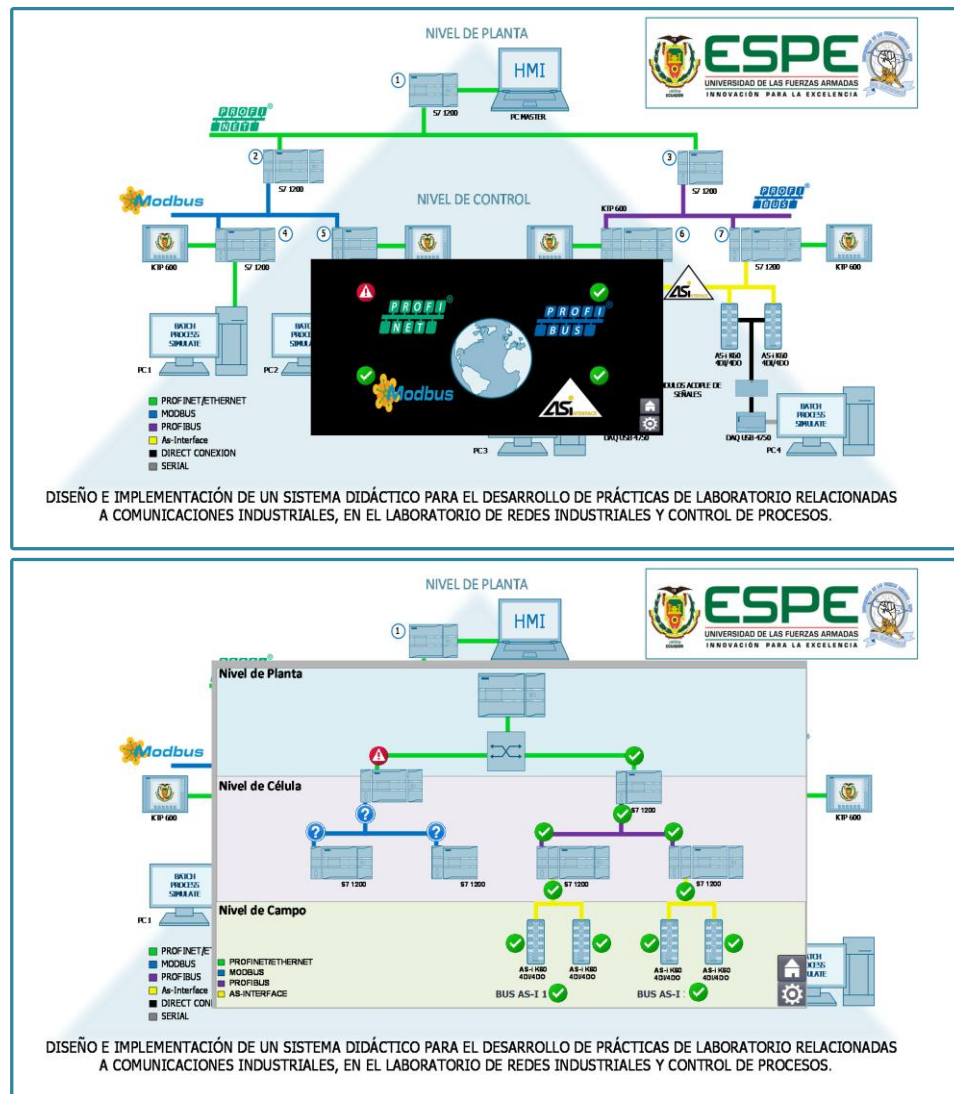
Al igual que las HMI's locales se procede a desarrollar el siguiente diagrama de flujo de imágenes, en esta ocasión dada la resolución de la pantalla del HMI remoto se trabaja de una manera más óptima con la ayuda de ventanas emergentes facilitando la navegación dentro del proyecto.

Dado la necesidad de controlar el nivel de acceso de los beneficiarios del módulo, se procede a realizar una gestión de usuarios, delimitando el acceso a operadores y supervisores a ciertas áreas del HMI, que tienen requerimiento de logueo.



**Figura 103.** Diagrama de flujo de imágenes en HMI remoto

Se configura las imágenes diagnóstico, una de visión general de todos los protocolos implementados y otra de visión general donde se muestran todos los dispositivos presentes en la red, se asignan a cada dispositivo presente en la red sus respectivos indicadores, configurando si hay presencia de error se muestra un símbolo de alarma, en caso que una red superior este con error se presenta un símbolo de incógnita y en estado normal de funcionamiento un indicador check.



**Figura 104.** Imágenes de diagnóstico

Para la configuración de las ventanas de administración de usuarios y las ventanas de avisos, se utilizan los asistentes que ofrece WinCC con la finalidad de facilitar el desarrollo.

## **CAPÍTULO IV**

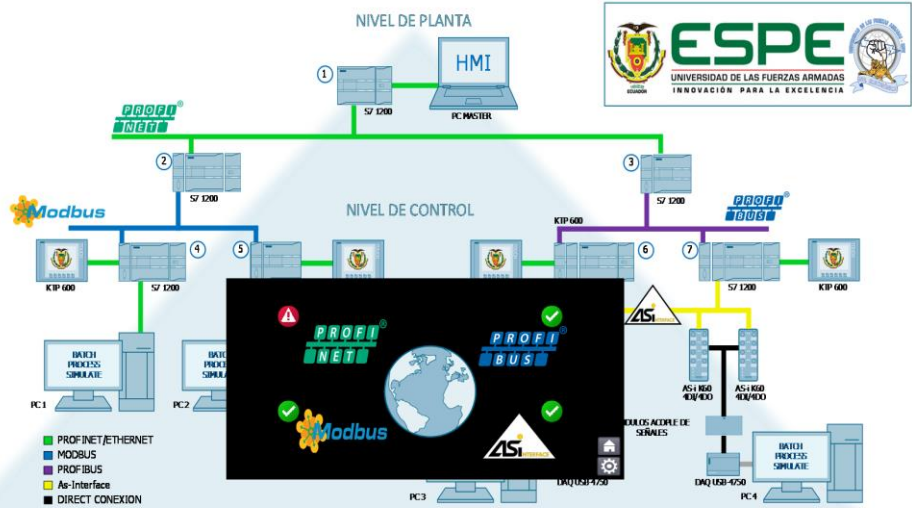
### **PRUEBAS Y RESULTADOS**

En este capítulo se presentan las pruebas y los resultados del sistema didáctico, así como también los estados de las Redes Industriales implementadas como son: Ethernet, Profibus, Modbus y AS-I, evaluando el desempeño del sistema mediante un análisis de hardware y software.

#### **4.1. Estado de la Red Ethernet Industrial**

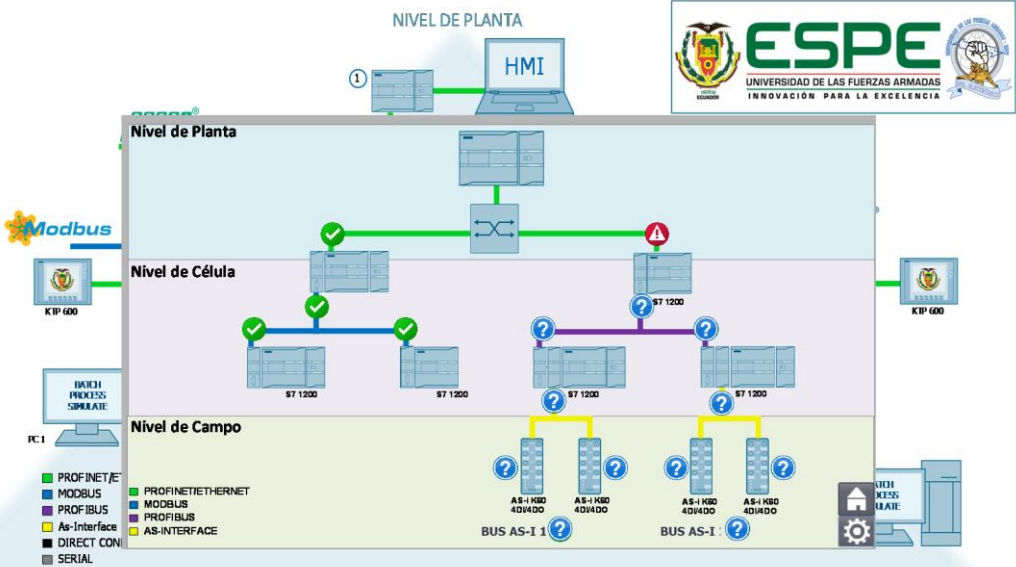
##### **4.1.1. Análisis Red Software**

Para el análisis de errores de la red ProfiNet en la parte de software para hacer visual el aviso de error en cualquiera de los elementos de la red procedemos a la ventana de diagnóstico de nuestro HMI Remoto donde se puede observar con claridad el salto del bit de error generado con la función avanzada GET\_DIAG



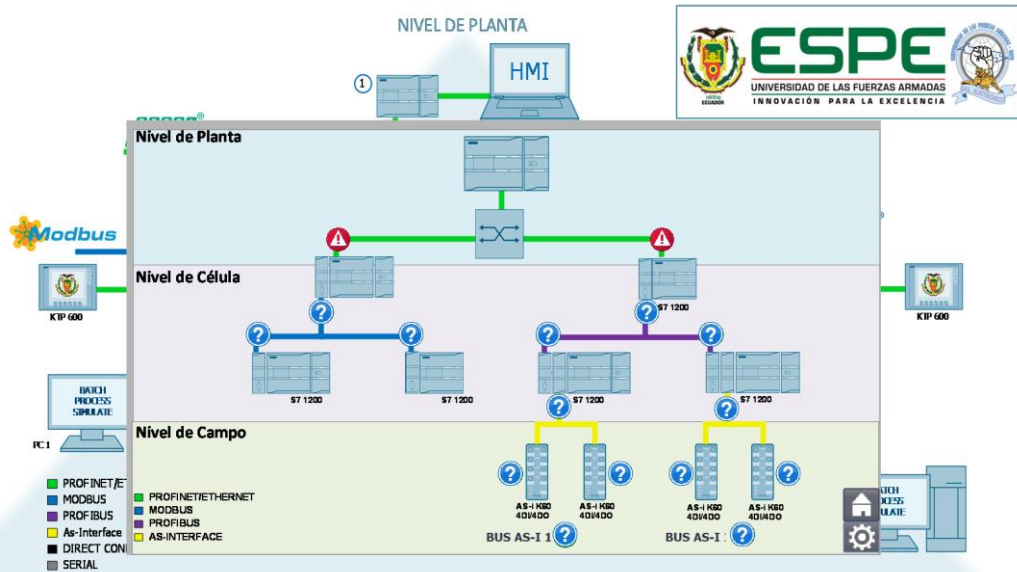
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 105. Diagnóstico de error por red - Ethernet Industrial



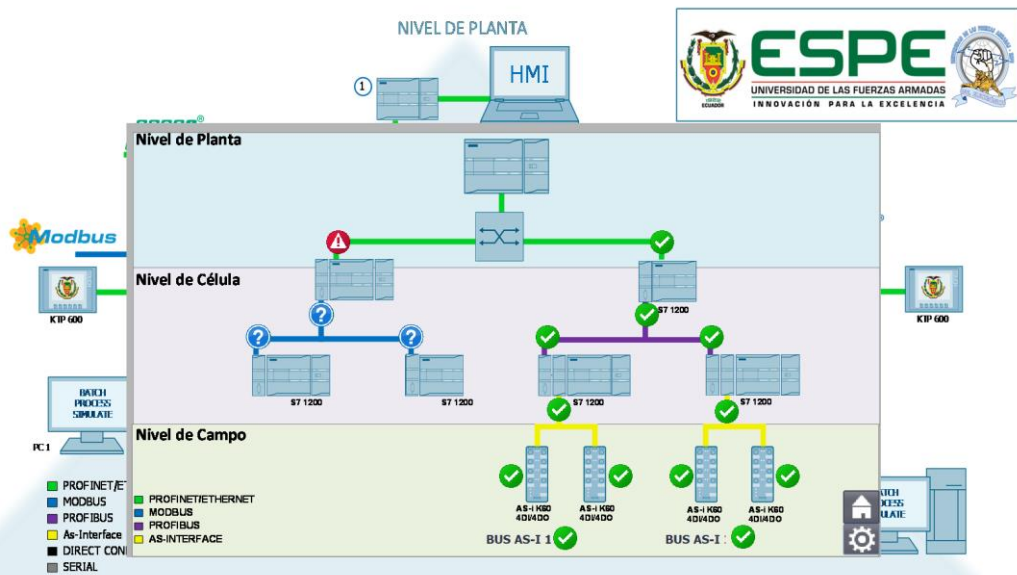
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 106. Error Esclavo 1 Ethernet Industrial



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

**Figura 107.** Falla por ausencia de Bus Ethernet



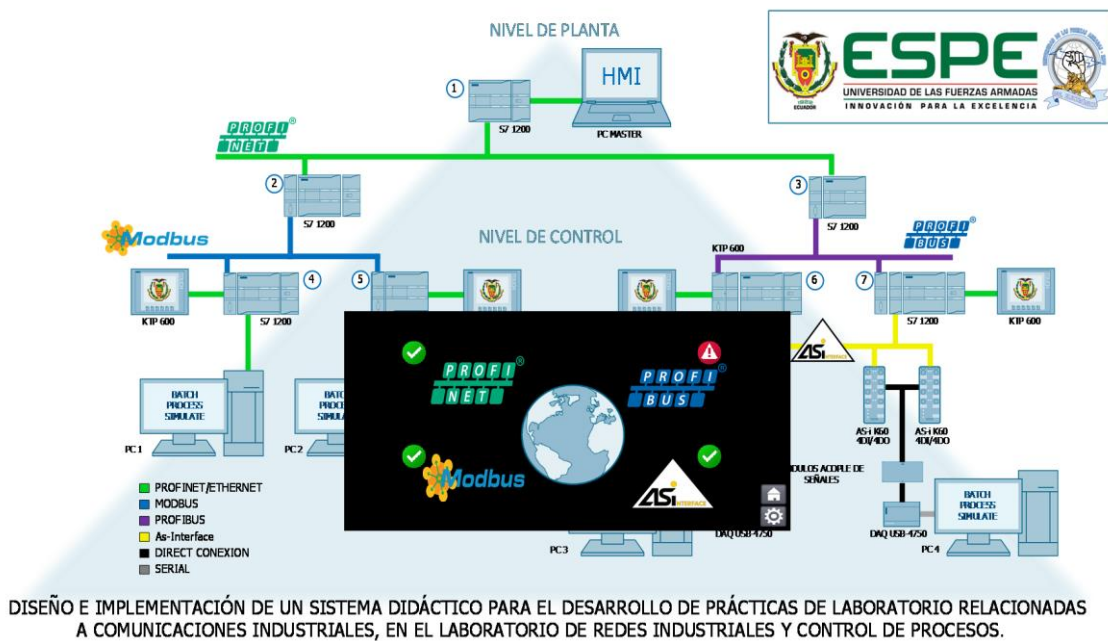
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

**Figura 108.** Falla Esclavo 1 Ethernet

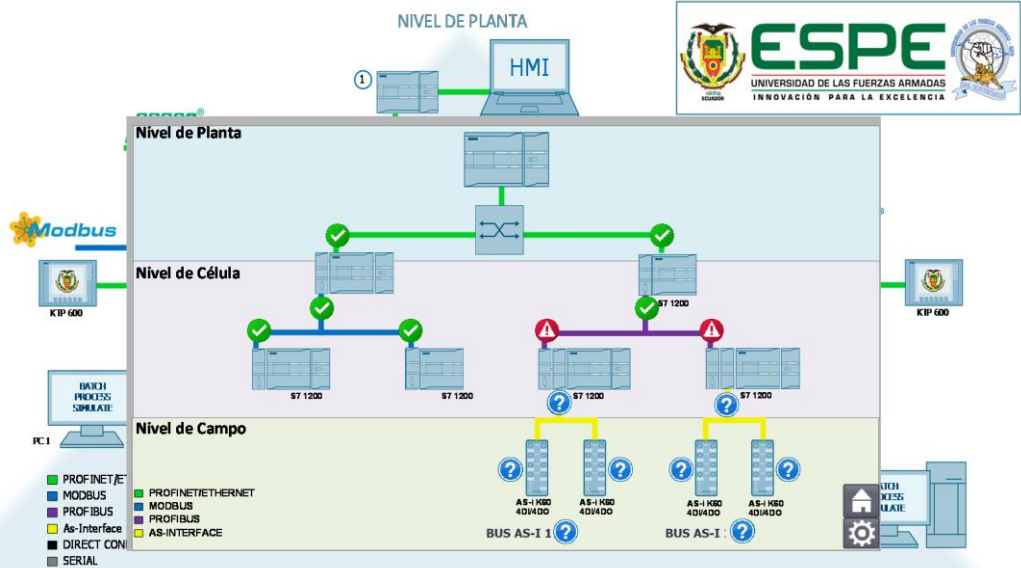
## 4.2. Estado de la Red Profibus

### 4.2.1. Análisis de Software

De igual manera que la red Ethernet Industrial se procede con la ventana emergente de diagnóstico para la observación de las fallas de comunicación existente en los elementos de la red, se puede observar con claridad el salto del bit de error generado con la función avanzada GET\_DIAG

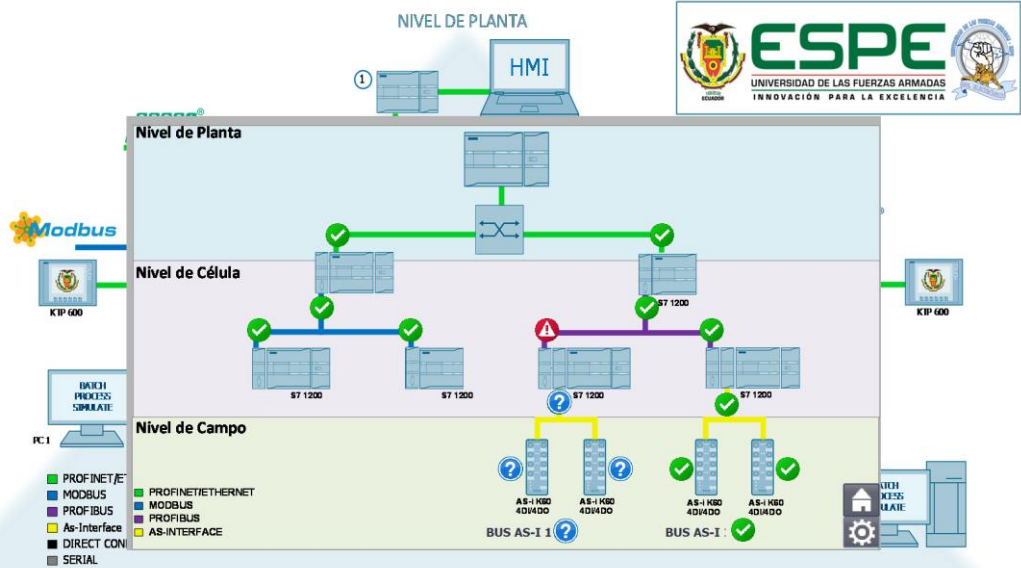


**Figura 109.** Diagnóstico de error por red - Profibus



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

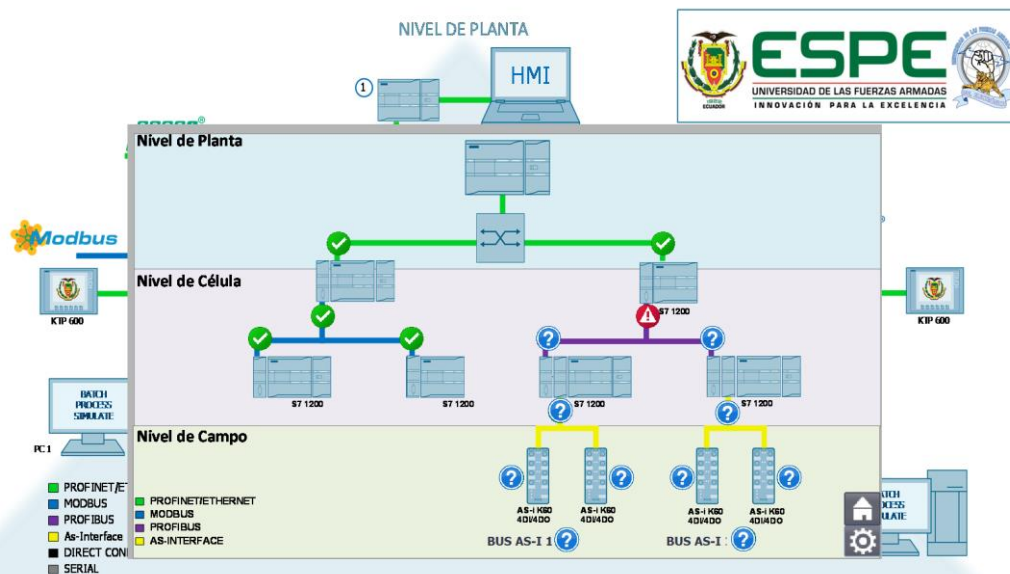
Figura 110. Falta por ausencia de Bus



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 111. Error en Esclavo Profibus 1

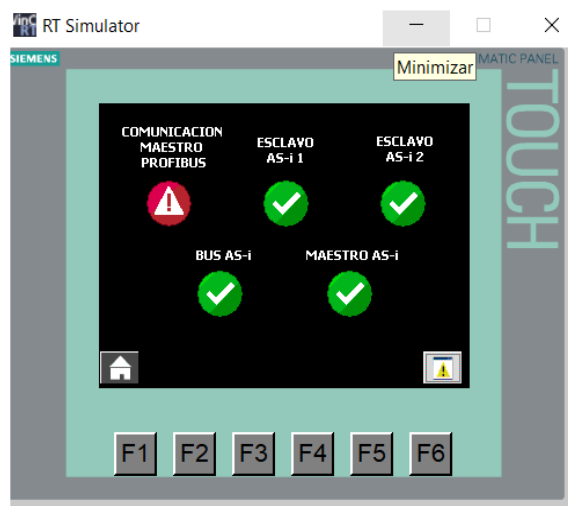




DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

**Figura 112.** Falla en Maestro Profibus

Además, el error presente dentro de la red Profibus se ve reflejada en su HMI local como un error de conexión hacia el maestro Profibus.



**Figura 113.** Presencia de falla en Maestro Profibus

#### 4.2.2. Análisis de Hardware

La operatividad de la Red de comunicación Profibus se evalúa en base a los indicadores disponibles en los módulos de comunicación como se presenta a continuación:

##### a) MAESTRO PROFIBUS CM 1243-5

- **DIAG:** Indicador del estado básico del módulo.
  - **Luz apagada:** Módulo de comunicación sin alimentación.
  - **Luz verde intermitente:**
    - Arranque del módulo.
    - Módulo parado sin errores.
    - No tiene datos de proyecto.
    - Actualización de firmware.
  - **Luz verde estática:** Módulo ejecutándose sin errores.
  - **Luz rojo intermitente:** Falla activa o error.
- **RUN/STOP:** Estado de servicio y comunicación de módulo.
  - **Luz verde estática:**
    - Módulo en ejecución.
    - Intercambio de datos con el módulo maestro.
  - **Luz amarillo estática:**
    - Módulo parado.
    - No existe datos de proyectos disponibles.
  - **Luz amarillo estática y verde intermitente:** Módulo arrancando (STOP→RUN).
  - **Luz verde intermitente:** Carga de firmware.
- **ERROR:** Alerta de avería o fallos.
  - **Luz rojo intermitente:** Error del sistema.

- Interrupción en la alimentación del Módulo de comunicación Módulo de comunicación no direccionado desde la CPU.
- Restablecimiento de ajustes por defecto desde la CPU.
- Versión de firmware incompleta.

**Tabla 36.**

Análisis de indicadores modulo maestro CM 1243-5 PROFIBUS

	DIAG		RUN/STOP		ERROR
<b>MAESTRO</b>	Luz apagada	<input type="checkbox"/>	Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>	Luz rojo intermitente <input type="checkbox"/>
	Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>	Luz amarillo estática	<input type="checkbox"/>	
	Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>	Luz amarillo estática /verde intermitente	<input type="checkbox"/>	
	Luz rojo intermitente	<input type="checkbox"/>	Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>	

Para la red Profibus en el módulo de comunicación maestro se puede observar en la Tabla 36 que los indicadores DIAG y RUN/STOP deben mantener una luz verde estática y ERROR debe estar apagado, indicando de esta manera que el modulo se encuentra en ejecución y no presenta ningún error.

#### b) ESCLAVO PROFIBUS CM 1242-5

- **DIAG:** Indicador del estado básico del módulo.
  - **Luz apagada:** Módulo de comunicación sin alimentación.
  - **Luz verde intermitente:**
    - Arranque del módulo.
    - No tiene datos de proyecto.
    - Actualización de firmware.
  - **Luz verde estática:** Módulo ejecutándose sin errores.
  - **Luz rojo intermitente:** Falla activa o error.
    - Módulo maestro parado.
    - Módulo esclavo con error.
    - Conexión no detectada entre el maestro y esclavo.

- **Luz roja estática:** Bus de comunicación Profibus desconectado o no detectado.
- **RUN/STOP:** Estado de servicio y comunicación de módulo.
  - **Luz verde estática:** Módulo en ejecución.
  - **Luz amarillo estática:**
    - Módulo parado.
    - No tiene datos disponibles del proyecto.
  - **Luz amarillo estática y verde intermitente:** Módulo arrancando (STOP→RUN).
  - **Luz verde intermitente:** Carga de firmware.
- **ERROR:** Alerta de avería o fallos.
  - **Luz apagada:** Sistema sin errores.
  - **Luz rojo intermitente:** Error del sistema.
    - Conexión no detectada entre el maestro y esclavo.
    - Bus de comunicación Profibus desconectado o no detectado.

**Tabla 37.**

Análisis de indicadores módulo esclavo CM 1242-5 PROFIBUS

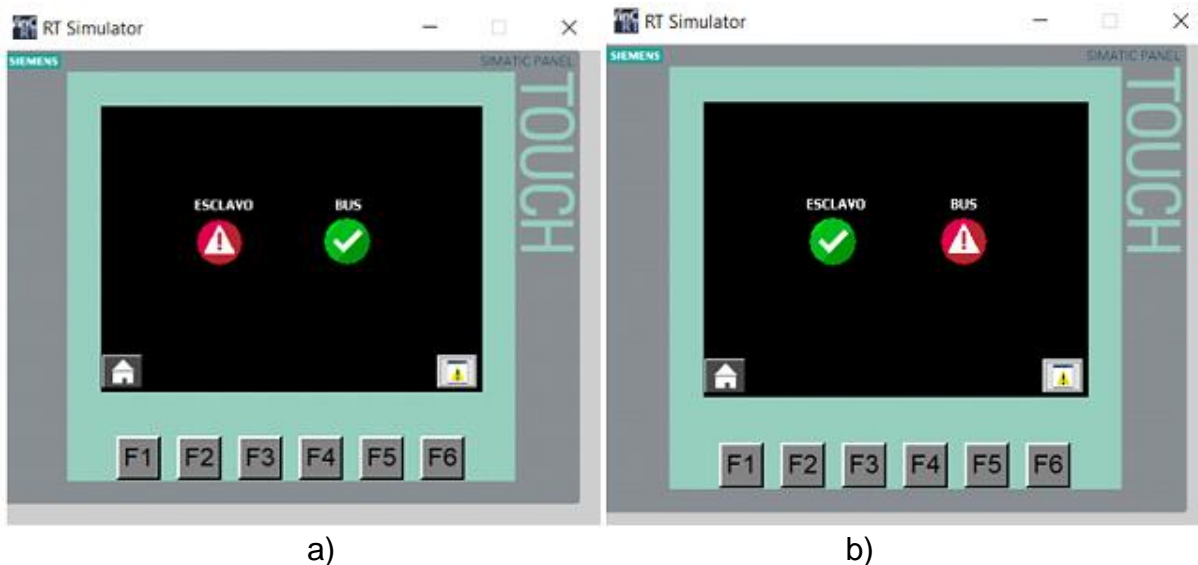
DIAG			RUN/STOP			ERROR		
ESCLAVO	1	2	ESCLAVO	1	2	ESCLAVO	1	2
● Luz apagada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	● Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	● Luz apagada	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
● Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	● Luz amarillo estática	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	● Luz rojo intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
● Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	● Luz amarillo estática y verde intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
● Luz rojo intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	● Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
● Luz roja estática	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						

Para la red Profibus en los módulos de comunicación correspondiente a los esclavos 1 y 2 se puede observar en la Tabla 37. que los indicadores DIAG y RUN/STOP deben mantener una luz verde estática y ERROR debe estar apagado, indicado que los módulos se encuentran en ejecución y no presentan ningún tipo de error.

### 4.3. Estado de la Red Modbus

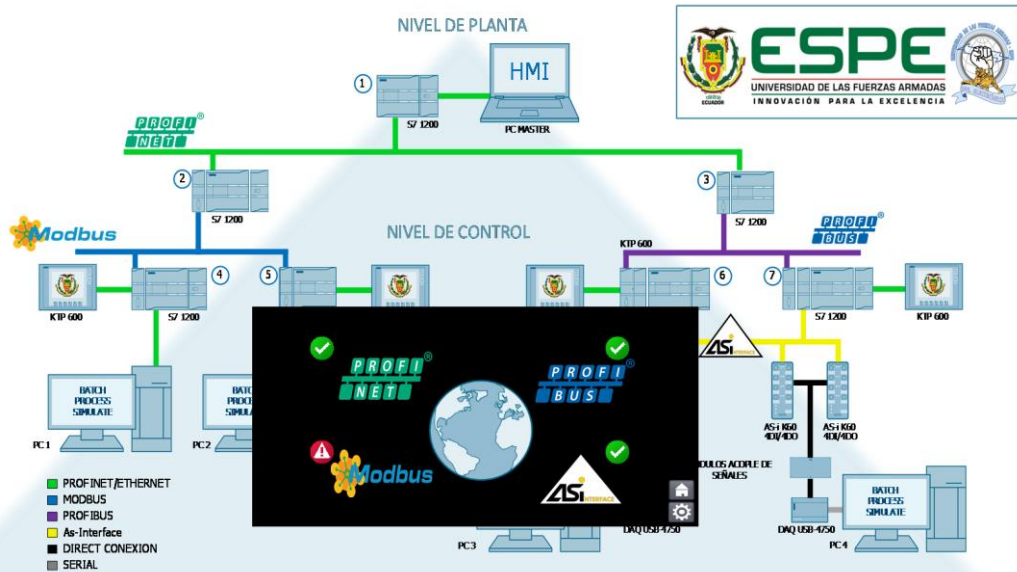
#### 4.3.1. Análisis Red Software

Para el diagnóstico de la red ModBus gracias al protocolo desarrollado con el análisis de tiempo de retardo de los requerimientos de comunicación podemos identificar la presencia de errores tanto en el bus como en el esclavo; con la presencia de error en el esclavo 1 genera un fallo de bus en el esclavo 2.



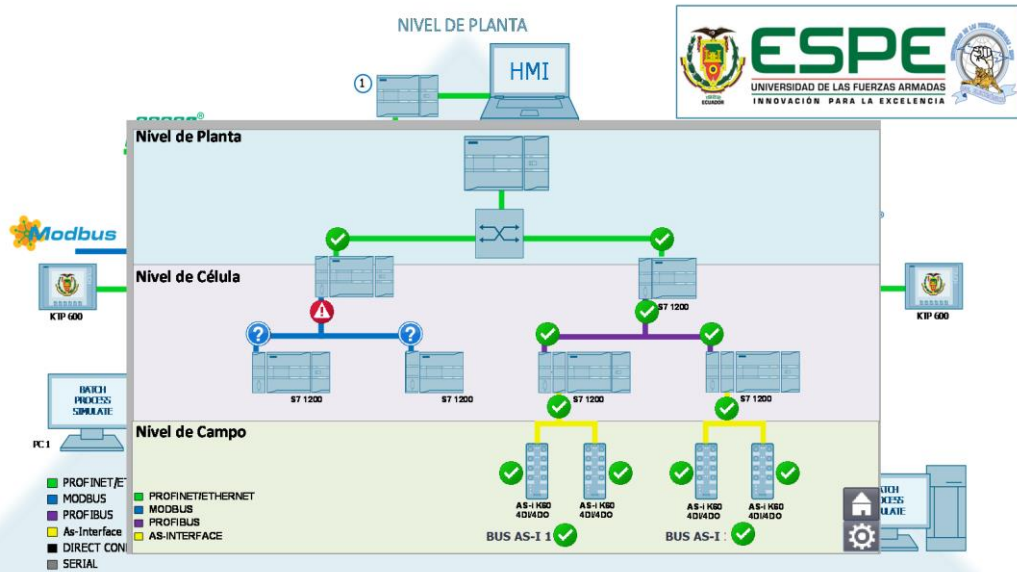
a) b)  
**Figura 114.** Errores en HMI a) Error de Esclavo. b) Error de Bus

En la ventana emergente de diagnóstico del HMI Remoto se puede observar con claridad la presencia de errores en el autómatas que funge la función de maestro ModBus quien detecta la ausencia de cualquiera de sus esclavos, de igual manera que los esclavos a través de un protocolo desarrollado a través del diagnóstico de la ocupación de canal y requerimiento.



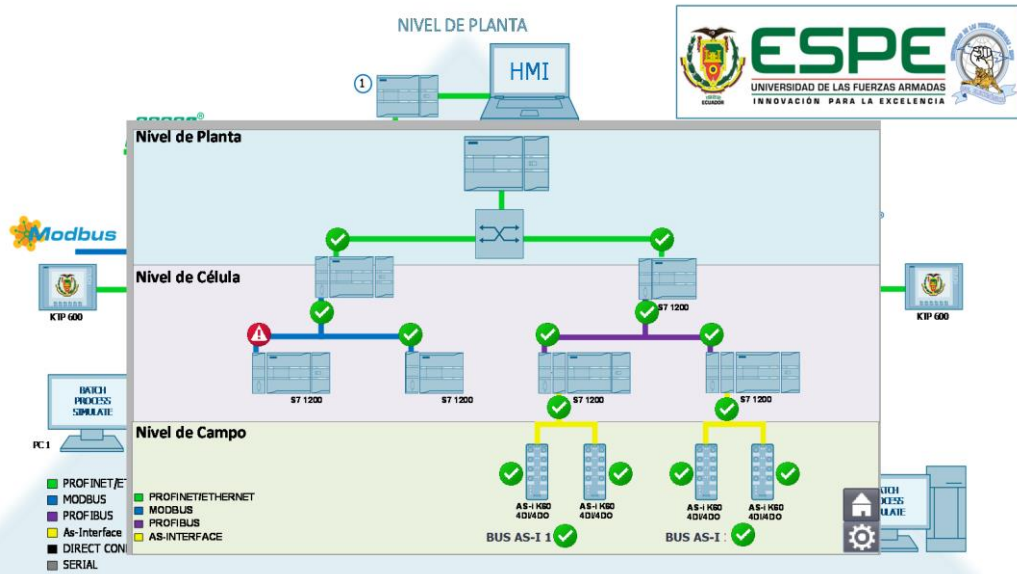
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 115. Diagnóstico de error por red - Error ModBus



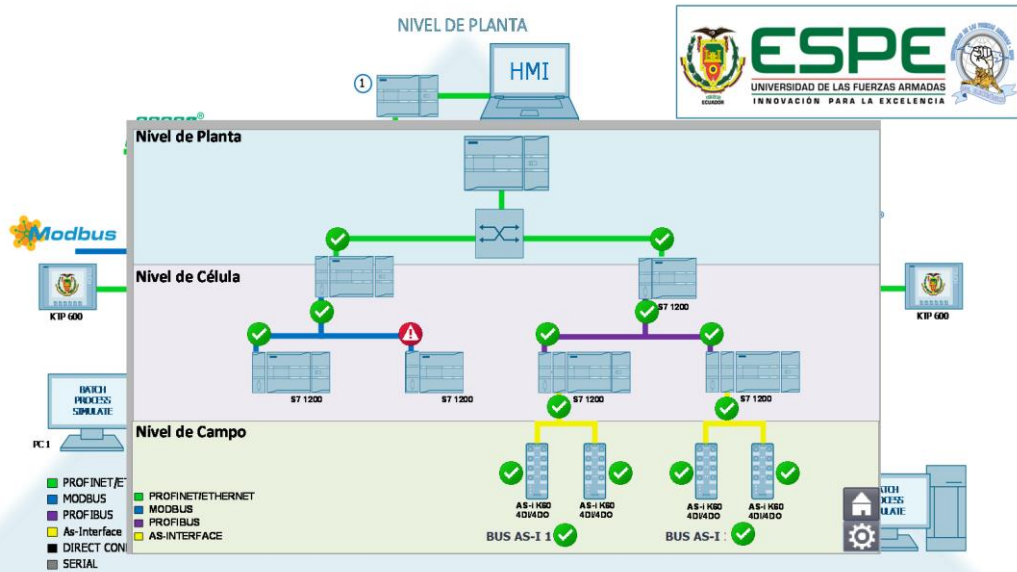
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 116. Falla en Maestro Modbus



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 117. Error en Esclavo ModBus 1



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 118. Error en Esclavo ModBus 2

### 4.3.2. Análisis Red Hardware

La operatividad de la Red de comunicación Modbus se evalúa en base a los indicadores disponibles en los módulos de comunicación del maestro y esclavo como se presenta a continuación:

#### a) MAESTRO Y ESCLAVO MODBUS CM 1241

- **DIAG:** Diagnostico del módulo de comunicación Modbus.
  - **Luz apagada:** Módulo sin alimentación.
  - **Luz rojo intermitente:** Módulo de comunicación esperando direccionamiento desde la CPU.
  - **Luz verde intermitente:** Módulo de comunicación direccionado esperando configuración.
  - **Luz verde estática:** Módulo de comunicación configurado desde la CPU.
- **TX: Indicador de Transmisión.**
  - **Luz apagada:** No existe transmisión de datos.
  - **Luz prendida:** Transmisión de datos por el puerto de comunicación.
- **RX: Indicador de Transmisión.**
  - **Luz apagada:** No existe recepción de datos.
  - **Luz prendida:** Recepción de datos por el puerto de comunicación.

**Tabla 38.**

Análisis de indicadores módulo maestro CM 1241 MODBUS.

MAESTRO					
DIAG		TX		RX	
• Luz apagada	<input type="checkbox"/>	• Luz apagada	<input type="checkbox"/>	• Luz apagada	<input type="checkbox"/>
• Luz rojo intermitente	<input type="checkbox"/>	• Luz prendida	<input checked="" type="checkbox"/>	• Luz prendida	<input checked="" type="checkbox"/>
• Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>				
• Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>				



Para la red Modbus en el módulo de comunicación maestro se puede observar en la Tabla 38. que el indicador DIAG debe mantenerse en luz verde estática, indicado que el modulo se encuentra configurado, TX y RX con luz encendida cuando realice una transmisión o recepción de datos respectivamente.

**Tabla 39.**

Análisis de indicadores módulo esclavo CM 1241 MODBUS

DIAG			TX			RX		
ESCLAVO	1	2	ESCLAVO	1	2	ESCLAVO	1	2
• Luz apagada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	• Luz apagada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	• Luz apagada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Luz rojo intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	• Luz prendida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	• Luz prendida	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
• Luz verde intermitente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>						
• Luz verde estática	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						

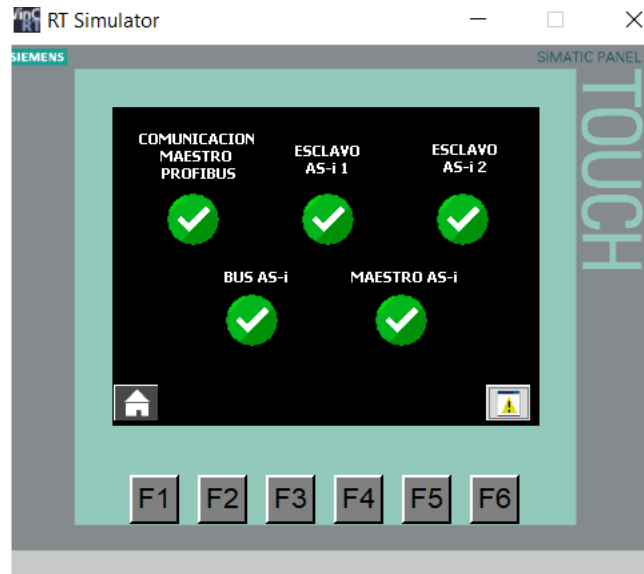
Para la red Modbus en los módulos de comunicación esclavos 1 y 2 se puede observar en la Tabla 39. que el indicador DIAG debe mantener una luz verde estática, indicado que los módulos se encuentran configurados, TX y RX con luz encendida cuando realice una transmisión o recepción de datos respectivamente para cada módulo.

#### 4.4. Estado de la Red AS-Interface

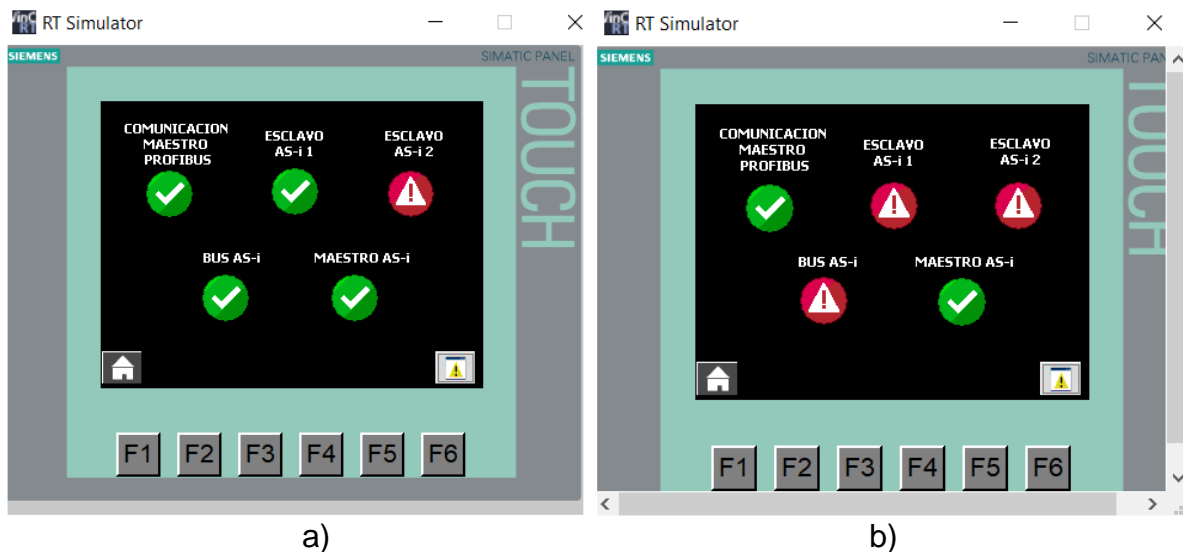
##### 4.4.1. Análisis de Software

Para el diagnóstico de la red AS-I, se procede de igual manera que en anteriores análisis el uso de la función avanzada GET\_DIAG con lo cual obtenemos un bit de error con la ausencia de comunicación de los elementos de la red al cual se está analizando. Estos bits son utilizados como indicadores en las HMI's locales y a su vez escalan a

través de las redes para ser representados en la ventana emergente de diagnóstico del HMI Remoto



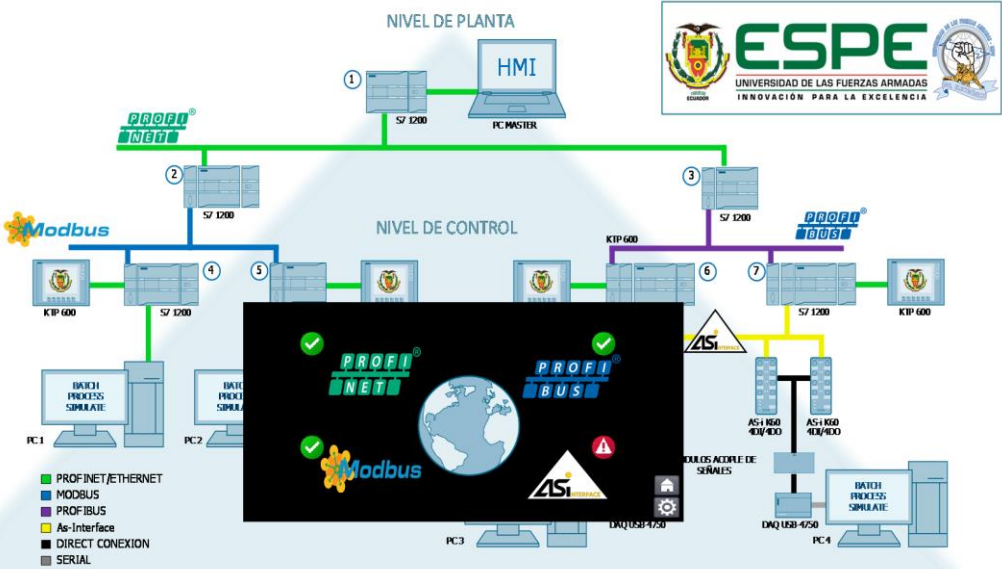
**Figura 119.** Red sin presencia de falla



a)

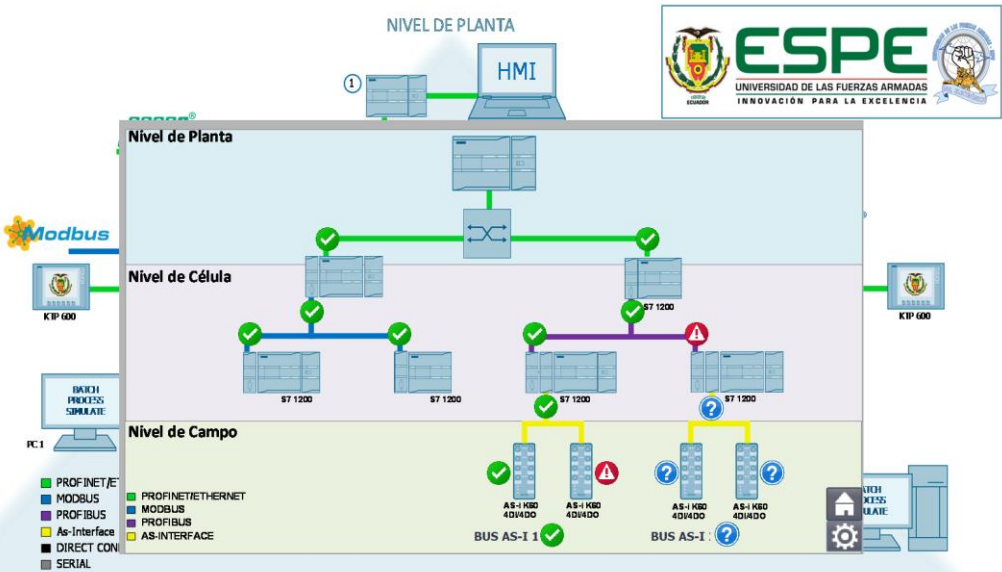
b)

**Figura 120.** a) Presencia de falla en un esclavo por error de direccionamiento.  
b) Presencia de falla en esclavos por falta de Bus AS-i



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 121. Diagnóstico de error por red - Error AS-I



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.

Figura 122. Diagnóstico de error general

#### 4.4.2. Análisis de Hardware

La operatividad de la Red de comunicación AS-I se evalúa en base a los indicadores disponibles en los módulos de comunicación como se presenta a continuación:

##### a) MAESTRO AS-I CM 1243-2

- **DIAG:** Diagnostico de la red AS-I.
  - **Luz apagada:** Bus de comunicación sin alimentación.
  - **Luz verde intermitente:** Maestro AS-I inicializándose o desconfigurado.
  - **Luz verde estática:** Maestro AS-I iniciado correctamente.
  - **Luz rojo intermitente:** Falla activa.
    - Alimentación AS-I sin tensión.
    - Falla interna o de periferia.
    - Error de configuración o parametrización.
- **AS-I:** Estado de AS- Interface.
  - **Luz apagada:** Maestro fuera de línea.
  - **Luz roja estática:** Tensión de alimentación baja o ausente.
  - **Luz roja intermitente:** Error de configuración en el esclavo AS-I.
  - **Luz verde permanente:** Sin fallos en el bus AS-I.
- **PF:** Alerta de fallos en la periferia.
  - **Luz roja estática:** Sobrecarga en las entradas y salidas estándar.
- **CM:** Modo de configuración.
  - **Luz verde estática:** Modo de configuración del maestro.
  - **Luz apagada:** Modo protegido del maestro.
- **CER:** Error en configuración para detección de esclavos.
  - **Luz amarilla estática:** Error de detección de esclavos en el bus de comunicación.

**Tabla 40.**

Análisis de indicadores módulo maestro CM 1243-2 AS-I

<b>MAESTRO</b>	<b>DIAG</b>		<b>AS-I</b>	
	Luz apagada <input type="checkbox"/>		Luz apagada <input type="checkbox"/>	
	Luz verde intermitente <input type="checkbox"/>		Luz roja estática <input type="checkbox"/>	
	Luz verde estática <input checked="" type="checkbox"/>		Luz roja intermitente <input type="checkbox"/>	
	Luz rojo intermitente <input type="checkbox"/>		Luz verde permanente <input checked="" type="checkbox"/>	
	<b>PF</b>	<b>CM</b>	<b>CER</b>	
	Luz roja estática <input type="checkbox"/>	Luz verde estática <input type="checkbox"/> Luz apagada <input type="checkbox"/>	Luz amarilla estática <input type="checkbox"/>	

Para la red AS-I en el módulo de comunicación maestro se puede observar en la Tabla 40 que los indicadores DIAG, AS-I deben mantener una luz verde estática, indicado que el modulo se encuentra configurado y para comunicarse con los módulos esclavos.

#### b) ESCLAVO AS-I 3RK1400-1CQ00-0AA3

- **AS-I / FAULT**

- **Luz verde estática / apagada:** Comunicación Normal AS-I.
- **Luz verde estática / roja estática:** Sin comunicación AS-I.
  - Maestro ausente o fuera de línea.
  - Configuración del esclavo ausente en el maestro.
  - Esclavo con dirección equivocada.
- **Luz verde estática / roja intermitente:** Esclavo en RESET.
- **Luz verde intermitente / roja estática:** Esclavo con dirección 0.
- **Luz verde intermitente / roja intermitente:** Sobrecarga en la salida.
- **Luz apagada / apagada:** Tensión AS-I baja o polaridad incorrecta.

- **AUX POWER:**

- **Luz apagada:** Ausencia de fuente auxiliar AS-I.
- **Luz verde estática:** Operación AS-I normal.

**Tabla 41.**

Análisis de indicadores módulo esclavo AS-I

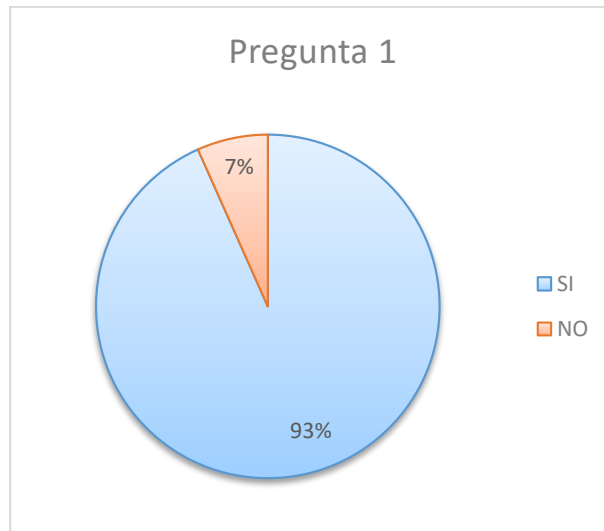
AS-I / FAULT			AUX POWER		
ESCLAVO	1	2	ESCLAVO	1	2
• Luz verde estática/apagada	■	■			
• Luz verde estática/roja estática	□	□			
• Luz verde estática/roja intermitente	□	□	• Luz apagada	□	□
• Luz verde intermitente/roja estática	□	□	• Luz verde estática	■	■
• Luz verde intermitente/roja	□	□			
• Luz apagada/apagada	□	□			

Para la red AS-I en el módulo de comunicación maestro se puede observar en la Tabla 41 que los indicadores AS-I/FAULT deben mantener una luz verde estática, indicado que el módulo se encuentra en funcionamiento normal adecuado y los indicadores AUX POWER deben mantener una luz verde estática indicando la operación normal del módulo.

#### 4.5. Comprobación de la Hipótesis

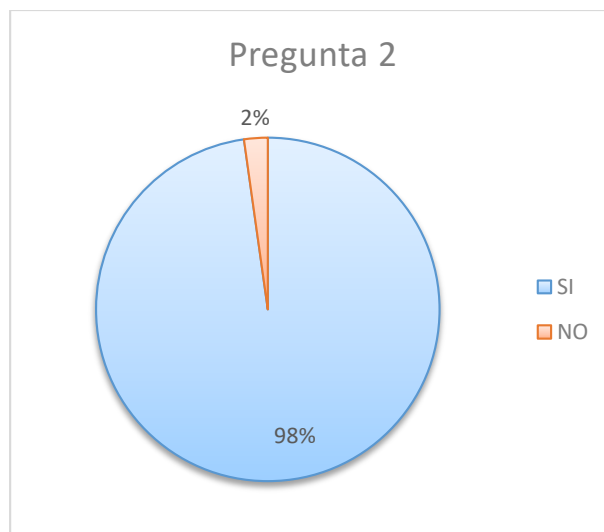
La eficiencia del módulo didáctico implementado es evaluada, mediante la aplicación de una encuesta a cuarenta y cinco usuarios, los mismos que poseen conocimientos previos en Redes y Comunicaciones Industriales. Este método de evaluación permitió determinar la eficiencia del sistema didáctico como una herramienta de entrenamiento para mejorar el aprendizaje en comunicaciones industriales a nivel del bus de campo, célula y planta. Los resultados de las encuestas realizadas, se presentan en las figuras a continuación:

1. ¿El sistema de entrenamiento de Redes Industriales es sencillo de utilizar?



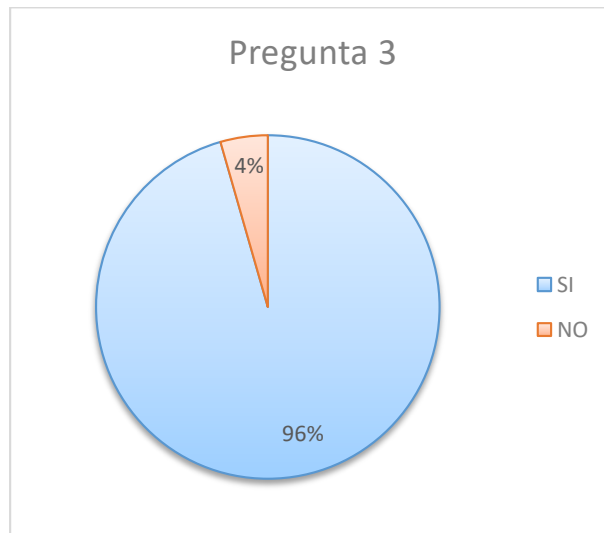
**Figura 123.** Resultados de la pregunta 1

2. ¿La interfaz gráfica de los procesos secuenciales simulados es amigable e intuitiva?



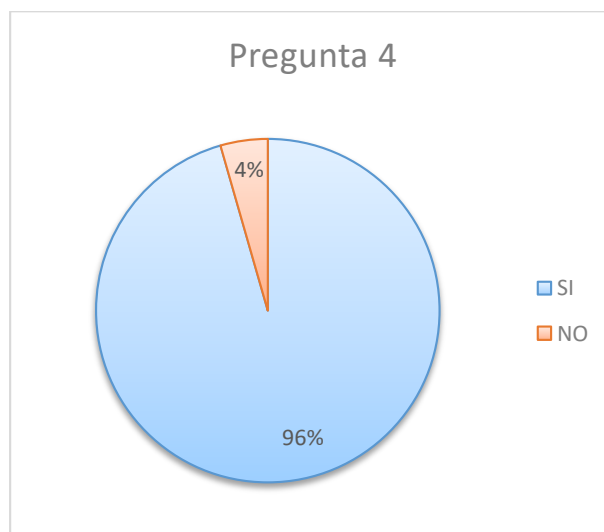
**Figura 124.** Resultados de la pregunta 2.

3. ¿Es capaz de realizar la implementación de las Redes Industriales disponibles en el sistema didáctico de entrenamiento?



**Figura 125.** Resultados de la pregunta 3.

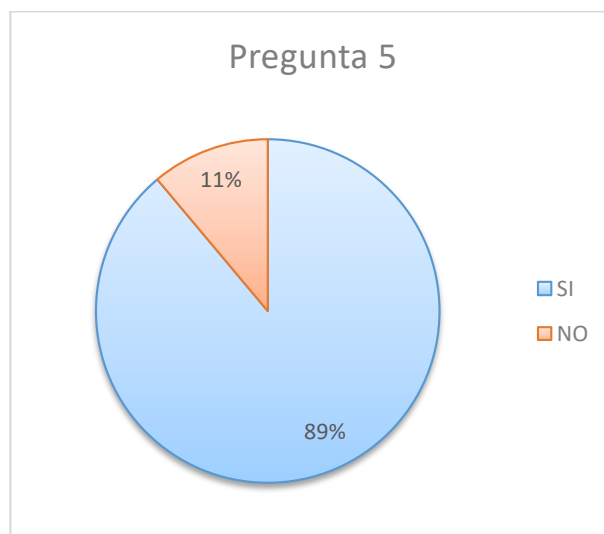
4. ¿El sistema didáctico contribuye al aprendizaje de Redes Industriales de una manera interactiva?



**Figura 126.** Resultados de la pregunta 4.

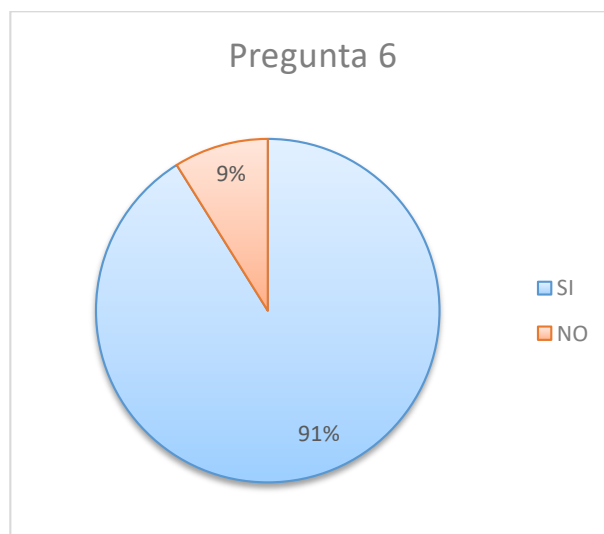


5. ¿Las guías entregadas le proporciona la información necesaria para facilitar la implantación óptima de las Redes Industriales?



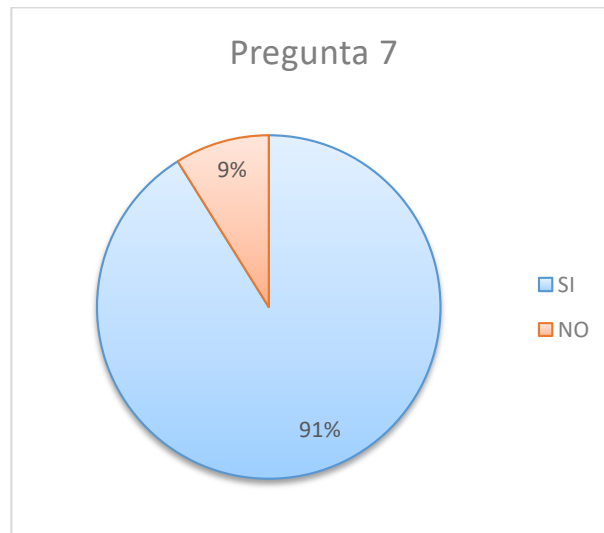
**Figura 127.** Resultados de la pregunta 5.

6. ¿Es capaz de diferenciar las Redes implementadas en el sistema de entrenamiento?



**Figura 128.** Resultados de la pregunta 6.

7. ¿El sistema didáctico le ayudo a identificar las Redes Industriales a nivel de campo, célula y planta?



**Figura 129.** Resultados de la pregunta 7.

#### 4.6. Alcances

A continuación, se detallan los alcances obtenidos en el transcurso del proyecto.

El sistema proporciona las características como:

- Facilidad de entendimiento de los procesos secuenciales debido a que cuentan con una interfaz gráfica amigable e intuitiva.
- Comodidad para la implementación de las Redes Industriales AS-I, Profibus, Modbus y Ethernet.
- Capacidad de comprensión del lenguaje de programación desarrollado para la implementación de las redes de comunicación industriales.

- Entendible para el operador debido a que la interfaz cuenta con la visualización de los estados de errores de las interfaces de comunicación implementados.
- Accesibilidad para la operación del módulo de entrenamiento, debido a que cuentan con las guías de operación.
- Factibilidad para la interconexión con unidades que manejen las interfaces de comunicación AS-I, Modbus, Profibus y Ethernet.

#### **4.7. Limitaciones**

A continuación, se detallan las limitaciones obtenidos en el transcurso del proyecto:

- La rapidez con la que el usuario pueda visualizar cambios en las interfaces de los procesos implementados en el módulo de entrenamiento dependerá de la complejidad de mismo, y la capacidad de trabajo de los equipos donde se esté ejecutando el simulador 3D de los procesos.
- Para implementar procesos de control adicionales a los que dispone se requiere de tarjetas de adquisición de datos y módulos AS-I, dependiendo de la complejidad que maneje el proceso.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- De la investigación realizada, se determinó el hardware, algoritmos de programación y procedimientos de configuración requeridos para realizar el levantamiento de los protocolos, así como establecer de manera clara el flujo de datos en los diferentes niveles de la pirámide de automatización.
- El sistema didáctico de comunicaciones industriales, proporciona una conectividad en tiempo real entre los buses de comunicación, permitiendo establecer un intercambio de datos desde el nivel de campo donde se tiene acceso a las señales de las estaciones de trabajo virtuales, hasta el nivel de planta donde se desarrolla un HMI remoto para el monitoreo y control de los procesos, así como también proporciona el diagnóstico de la red industrial.
- El desarrollo de las plantas virtuales 3D permite la simulación de procesos e integración al sistema didáctico, proporcionando un sistema de automatización con gran similitud a plantas industriales reales, generando en los usuarios más interés por el aprendizaje en comunicaciones industriales.
- Los módulos de comunicación que utilizan los protocolos: Profinet, Modbus, Profibus y AS-I implementados en el módulo didáctico, disponen de un panel con indicadores que muestran de manera visual y permiten tener un diagnóstico del

estado y funcionamiento de las redes, permitiendo que el usuario pueda determinar las posibles fallas y recuperar la operatividad del sistema en caso de un fallo.

- El diagnóstico completo del sistema didáctico fue posible con la utilización de equipos con firmware de versión 4.0, considerándose la importancia de las versiones de los equipos en los sistemas de comunicaciones industriales.
- La usabilidad del sistema didáctico fue validada mediante encuestas realizadas a los usuarios que han desarrollado prácticas de laboratorio, Obteniendo una aceptación del 93.43%, debido al adecuado diseño que posee la red, facilidad de uso y versatilidad con la que se enlazan los protocolos de comunicación.

## **5.2. Recomendaciones**

- Para realizar modificación en las arquitecturas como añadir estaciones, se recomienda desenergizar totalmente el sistema con la finalidad de salvaguardar los equipos y proteger al usuario que esté desarrollando las actividades.
- Recordar las limitaciones físicas que posee cada arquitectura implementada en el sistema didáctico al momento de realizar una variación en las mismas.
- Se debe revisar la compatibilidad de los equipos al momento de incrementar las estaciones de trabajo en los protocolos de comunicación del sistema didáctico.
- Para realizar una variación que requiere incremento de entradas y salidas en las estaciones de trabajo virtuales se debe revisar la disponibilidad física tanto en los módulos de comunicación AS-I como en las tarjetas de adquisición de datos que se comunican con el ordenador donde se ejecuta los procesos Batch.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Advantech Co., L. (1983). *Advantech*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2018, de [https://www.advantech-cl.com/products/1-2mlkno/usb-4750/mod\\_43dfaaf0-a44c-4437-a8c8-0f7460c30b26](https://www.advantech-cl.com/products/1-2mlkno/usb-4750/mod_43dfaaf0-a44c-4437-a8c8-0f7460c30b26)
- AG, S. (Marzo de 2014). *Industry Online Support*. Recuperado el 20 de Enero de 2019, de <https://cache.industry.siemens.com/dl/files/622/91696622/att>
- AG, S. (2015). *Information and Download Center*. Recuperado el 22 de Enero de 2019, de [https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/ic/Documents u20Catalogs/SIMATIC\\_NET\\_IKPI\\_chap\\_04\\_Spanish\\_2015.pdf](https://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/ic/Documents/u20Catalogs/SIMATIC_NET_IKPI_chap_04_Spanish_2015.pdf)
- AG, S. (2019). *SCE - Siemens Automation Cooperates with Education*. Recuperado el 9 de Febrero de 2019, de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce\\_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/Documentacion-Didactica/Documents/SIMATIC%20S71200R.pdf)
- AG, S. (2019). *Siemens Industry Mall*. Recuperado el 12 de Marzo de 2019, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7241-1CH32-0XB0>

- AG, S. (2019). *Software SIMATIC*. Recuperado el 1 de Abril de 2019, de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia\\_portal/pages/tia-portal.aspx](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/tia-portal/tia_portal/pages/tia-portal.aspx)
- AG, S. (2019). *TIA Portal*. Recuperado el 5 de Enero de 2019, de [https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce\\_educacion/soluciones/Documents/314%20SCE%20-%20CF%20-%20TIA%20Portal.pdf](https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/sce_educacion/soluciones/Documents/314%20SCE%20-%20CF%20-%20TIA%20Portal.pdf)
- Aparicio, D. A. (3 de Abril de 2019). *LEANMANUFACTURING10*. Obtenido de <https://leanmanufacturing10.com/sistema-de-produccion-por-lotes-ventajas-y-desventajas>
- Ávila, A., & Armendariz, J. (Julio de 2014). *Diseño e implementación de un sistema SCADA utilizando los protocolos industriales AS-Interface y ModBus con los controladores lógicos programables S7-1200 para el control y monitoreo de las estaciones de temperatura, nivel, presión y flujo*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/8792>
- Bahgat, M. M. (2017). Enhanced Terminal Automation Software System for Truck-Loading Fuels Terminals. *Proceedings of the International Conference on Microelectronics*, (pp. 89-92). Egipto.
- Boyer, S. (2004). *SCADA Supervisory Control And Data Adquisition*. ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society.

Castro, A. D. (2019). *Andrea Di Castro*. (MARCOMBO, Editor) Obtenido de Andrea Di Castro

Foundation, O. (2019). *OPC Foundation*. Recuperado el 15 de Mayo de 2019, de <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/>

Games, R. (2006). *Factory I/O*. Recuperado el 6 de Mayo de 2019, de <https://factoryio.com/docs/manual/drivers/advantech/>

Industrial, G. (2015). *IPC Station*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2018, de <https://www.ipcstation.net/advantech/usb-4750>

Manuel-Alonso Castro Gil, G. D. (2007). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES: SISTEMAS DISTRIBUIDOS Y APLICACIONES*. Madrid: UNED.

Nuria Oliva, A. (2013). *Redes de Comunicaciones Industriales*. Madrid: UNED.

Penin, A. R. (2007). *Comunicaciones Industriales Guía práctica*. Marcombo.

SIEMENS. (2016). *WinCC Advanced V14*. SIEMENS. Recuperado el 15 de Diciembre de 2018

Vicente Guerrero, R. L. (2009). *Comunicaciones industriales*. Marcombo.

WinCC, S. . (s.f.). *Industry Support SIEMENS*. Recuperado el 25 de Febrero de 2019, de

<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/hmi/Documents/De>



sc%C3%A1rguese%20el%20catalogo%20%E2%80%9C%20Sistema%20SCAD  
A%20SIMATIC%20WinCC%20.pdf

Yamada, T., Takano, M., Takayanagi, Y., & Ito, A. (2010). Energy efficiency requires information sharing on industrial networks. *SICE Annual Conference 2010*.  
Taipei.

# ANEXOS



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DIDÁCTICO PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO RELACIONADAS A COMUNICACIONES INDUSTRIALES, EN EL LABORATORIO DE REDES INDUSTRIALES Y CONTROL DE PROCESOS.**” Ha sido realizado por la señorita **ERAZO BASSANTES, YARITZA PAULINA** y el señor **NAVARRETE VILLAFUERTE, RÓMULO MAURICIO** el mismo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

En la ciudad de Latacunga al 1 día del mes de julio del 2019.

Aprobado por:

Ing. Edwin Pruna  
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Amparo Meyza  
DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca  
SECRETARIO ACADÉMICO

