



ESPE

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

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED
ETHERNET INDUSTRIAL BAJO ESTÁNDAR ABIERTO
PROFINET PARA CENTRALIZAR PROCESOS DE CONTROL
HIDRÁULICO PROPORCIONAL CON EL MÓDULO FESTO TP
702, UTILIZANDO PLC'S Y UNA PANTALLA HMI, PARA EL
LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA, DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN
LATACUNGA**

AUTORES:

EDWIN GEOVANNY HUILCAMAIGUA CHECA

LUIS ALFREDO VIRACUCHA MASABANDA

DIRECTOR: ING. WILSON SÁNCHEZ OCAÑA

LATACUNGA

2016



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET INDUSTRIAL BAJO ESTÁNDAR ABIERTO PROFINET PARA CENTRALIZAR PROCESOS DE CONTROL HIDRÁULICO PROPORCIONAL CON EL MÓDULO FESTO TP 702, UTILIZANDO PLC’S Y UNA PANTALLA HMI, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA, DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por los señores Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa y Luis Alfredo Viracucha Masabanda, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa y Luis Alfredo Viracucha Masabanda para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 12 Julio del 2016.

Atentamente,

Ing. Wilson Sánchez Ocaña.
DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTOTÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa con cédula de identidad N°: 0503056632 y Luis Alfredo Viracucha Masabanda con cédula de identidad N°: 0503074247, declaramos que este trabajo de titulación **“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET INDUSTRIAL BAJO ESTÁNDAR ABIERTO PROFINET PARA CENTRALIZAR PROCESOS DE CONTROL HIDRÁULICO PROPORCIONAL CON EL MÓDULO FESTO TP 702, UTILIZANDO PLC’S Y UNA PANTALLA HMI, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA, DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 12 Julio del 2016.

Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa
CC: 0503056632

Luis Alfredo Viracucha Masabanda
CC: 0503074247



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa y Luis Alfredo Viracucha Masabanda, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ETHERNET INDUSTRIAL BAJO ESTÁNDAR ABIERTO PROFINET PARA CENTRALIZAR PROCESOS DE CONTROL HIDRÁULICO PROPORCIONAL CON EL MÓDULO FESTO TP 702, UTILIZANDO PLC’S Y UNA PANTALLA HMI, PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA, DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 12 Julio del 2016.

Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa

CC: 0503056632

Luis Alfredo Viracucha Masabanda

CC: 0503074247

DEDICATORIAS

Quiero agradecer a toda mi familia por todo el apoyo recibido durante mi etapa académica, en especial a mis padres, hermanos y mi novia por compartir conmigo los buenos y malos momentos, por su apoyo demostrado durante todo este tiempo y por brindarme su incondicional cariño y comprensión.

Al Ingeniero Wilson Sánchez director de esta proyecto de tesis, que siempre me apoyo tanto a nivel profesional como personal durante la realización de este trabajo. Lejos de ser una relación profesional, he encontrado en sus consejos y comprensión a un buen amigo y compañero de trabajo. Gracias por lo tanto, por esa amistad y relación profesional sin la que estoy seguro que este trabajo no hubiese llegado a un buen término.

Luis Alfredo

El presente trabajo está dedicado a mis padres Vicente y Mérida por su infinita paciencia y comprensión, que han sabido brindarme para levantarme en cualquier circunstancia de la vida.

A mis hermanos Paúl, Mayra, y Miguel, que a pesar de los malos momentos que hemos pasado, pudimos demostrar que en conjunto podemos trascender.

Edwin Huilcamaigua Checa.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi padre José Viracucha, mi madre Aurora Masabanda a mis hermanos y a mi novia; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora.

Luis Alfredo

A mis padres, que desde el principio de esta etapa de mi vida supieron apoyarme incondicionalmente y en cualquier circunstancia, a mis hermanos que aunque no pude compartir mucho tiempo con ellos, supieron comprenderme y darme aliento para continuar.

A los amigos que llegaron y se quedaron, y serán para toda la vida.

La ESPE lugar donde adquirí conocimientos invaluable, y donde se tiene siempre ganas de regresar.

Los maestros de la ESPE, pilares fundamentales de mi formación, que por sobre los conocimientos otorgados, está la calidad persona que nos han sabido inculcar.

Edwin Huilcamaigua Checa.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIAS	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xxiii
ABSTRACT	xxiv

CAPÍTULO I

1 GENERALIDADES	1
1.1. Comunicaciones Industriales.....	2
1.1.1. Sistemas de Transmisión de Señal.....	2
a. Modos de transmisión de datos.....	2
b. Codificación de señales.....	3
c. Protocolos de Comunicación.....	4
d. Tipos de redes según forma (Topología).....	6

e.	Formas de comunicación.....	6
f.	Entradas y Salidas.....	9
g.	Tiempo real.....	9
h.	Modelo de referencia OSI.....	10
i.	Pirámide de la Automatización (CIM).....	13
1.2.	Redes de Comunicación Ethernet.....	16
1.2.1.	Topologías Ethernet.....	16
1.2.2.	Medios de Transmisión.....	20
a.	Cable Coaxial.....	20
b.	Par Trenzado sin apantallar – UTP.....	21
c.	Distancias.....	21
d.	El cable par.....	22
e.	La fibra óptica.....	24
1.2.3.	Elementos de Interconexión.....	25
a.	Hub.....	25
b.	Bridge.....	26
c.	Switch.....	27
d.	Router.....	28
1.2.4.	OSI – TCP/IP.....	29
a.	TCP/IP.....	30
b.	Direcciones en Ethernet.....	30
1.3.	Redes de Comunicación Profinet.....	32
1.3.1.	Introducción y Características de Profinet.....	32

a.	Objetivos y ventajas de PROFINET.....	32
b.	Arquitectura PROFINET.....	33
1.3.2.	Profinet en SIEMENS.....	34
a.	Ventajas de Profinet.....	35
b.	Integración de buses de campo en PROFINET.....	35
1.3.3.	Tipos de PROFINET.....	36
a.	Profinet IO.....	36
b.	Profinet CBA.....	38
c.	Optimización PROFINET.....	38
d.	Switch en Profinet.....	39
1.4.	Controladores Lógicos Programables (PLC).....	40
1.4.1.	PLC S7-1200.....	43
a.	Estados operativos de la CPU.....	46
b.	Memoria de la CPU.....	47
1.4.2.	PLC S7-1500.....	48
1.4.3.	Paneles de Operador (HMI).....	54
1.5.	Tía Portal.....	56
1.5.1.	Gestión de Datos.....	58

CAPÍTULO II

2	DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN.....	60
2.1	Diseño Mecánico del Módulo de Red Profinet.....	60

2.1.1.	Diseño de la Estructura del Módulo.....	61
a.	Parámetros de diseño.....	61
b.	Cálculo del esfuerzo.....	64
c.	Selección del material.....	65
d.	Cálculo del esfuerzo máximo.....	66
e.	Cálculo de los soportes de la Estructura.....	66
f.	Análisis de la deformación bajo carga axial.....	68
g.	Análisis de Esfuerzos en INVENTOR.....	69
2.1.2	Diseño del tablero eléctrico.....	72
a.	Parámetros de diseño.....	72
b.	Selección del material.....	74
2.2	Red Profinet.....	77
2.2.1	Topología Red Profinet.....	77
a.	Topología Estrella.....	77
2.2.2	Dispositivos de Red Profinet.....	78
a.	PLC S7-1200 CPU 1214C.....	79
b.	Simatic S7-1200, ANALOG I/O SM 1234.....	83
c.	Fuente SITOP PSU100S 24 V/10 A.....	85
d.	PLC Simatic S7-1500, CPU 1511-1 PN.....	87
e.	Panel Simatic HMI TP 700 COMFORT.....	95
f.	IE FC RJ45 Plug 180 (2x2).....	99
g.	IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A).....	100
h.	FL Switch SFNB 5TX.....	101

CAPÍTULO III

3	CONSTRUCCIÓN	104
3.1	Construcción del Sistema Mecánico.....	104
3.1.1	Construcción de la Estructura del Módulo.....	104
3.1.2	Construcción del tablero eléctrico.....	107
3.1.3	Construcción soporte panel HMI.....	109
a.	Construcción soporte Bomba Hidráulica.....	110
3.2	Instalación del sistema de control.....	111
3.2.1	Instalación de Dispositivos.....	112
3.2.2	Cableado e/s de Dispositivos.....	113
3.2.3	Cableado Red Profinet.....	114
a.	Conexión de Dispositivos.....	115
3.3	Configuración Tía Portal.....	117
3.3.1	Configuración de Dispositivos.....	118
3.3.2	Configuración Red Profinet.....	122
3.3.3	Configuración Maestro - Esclavo.....	124
3.3.4	Configuración PID.....	130
a.	Objeto tecnológico PID_Compact.....	131
b.	Configuración objeto tecnológico PID_Compact.....	134
c.	Poner en servicio PID_Compact.....	145

CAPÍTULO IV

4	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	156
4.1	Encendido del módulo de red profinet.....	156
4.2	Funcionamiento PLC S7-1500.....	158
4.2.1	Simatic Memory Card.....	158
a.	Inserción de la Simatic Memory Card.....	160
b.	Retirar la Simatic Memory Card.....	161
4.3	Pruebas de Comunicación Red Profinet.....	162
4.3.1	Prueba de Comunicación TIA PORTAL – Panel HMI.....	164
4.3.2	Prueba de Funcionamiento Sistema Hidráulico.....	167
4.4	Prácticas de Laboratorio.....	169

CAPÍTULO V

5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	171
5.1	Conclusiones.....	171
5.2	Recomendaciones.....	172
	BIBLIOGRAFÍA	174
	LINKOGRAFÍA	175
	ANEXOS	178

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DISPOSITIVOS SIEMENS.

- **Anexo A-1:** Especificaciones técnicas PLC S7-1200 CPU 1214C
- **Anexo A-2:** Especificaciones técnicas PLC S7-1500, CPU 1511-1 PN
- **Anexo A-3:** Especificaciones técnicas Panel SIMATIC HMI TP 700
- **Anexo A-4:** Especificaciones técnicas ANALOG I/O SM 1234
- **Anexo A-5:** Especificaciones técnicas FL SWITCH SFNB 5TX.
- **Anexo A-6:** Especificaciones técnicas FUENTE SITOP 24 V/10 A
- **Anexo A-7:** Especificaciones técnicas Conector IE FC RJ45
- **Anexo A-8:** Especificaciones técnicas Standard Cable GP 2 x 2.

ANEXO B: PLANOS DE COMPONENTES MECÁNICOS.

- **Anexo B-1:** Plano de la Estructura del módulo de red Profinet.
- **Anexo B-2:** Plano estructura del Tablero eléctrico.
- **Anexo B-3:** Plano tablero FESTO.
- **Anexo B-4:** Plano cajita panel HMI.
- **Anexo B-5:** Plano soporte estructura Bomba Hidráulica.
- **Anexo B-6:** Plano general Módulo de red Profinet.

ANEXO C: DIAGRAMAS DE CONEXIÓN.

- **Anexo C-1:** Diagrama Unifilar conexionado eléctrico del módulo.
- **Anexo C-2:** Diagrama de conexionado red Profinet.
- **Anexo C-3:** Diagrama módulo de red Profinet.

ANEXO D: PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

- **Anexo D-1:** Configuración Cliente – Servidor en una red Profinet para el control proporcional de un motor hidráulico.

- **Anexo D-2:** Configuración Cliente – Servidor en una red Profinet para el control secuencial de un cilindro hidráulico utilizado en un Contenedor de basura.
- **Anexo D-3:** Configuración de una red Profinet para el control proporcional de la velocidad de un motor hidráulico, cambio de sentido de giro y visualización de curvas de velocidad y presión.
- **Anexo D-4:** Configuración de una Red Profinet para el control de un PID de Presión utilizando un motor hidráulico.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Cables para red Ethernet.....	20
Tabla 2	Distancias según tipo de Cable.....	21
Tabla 3	Medio de Transmisión Profinet.....	34
Tabla 4	Módulos de señales y Signal Boards.....	45
Tabla 5	Características de Configuración PLC S7-1500.....	52
Tabla 6	Características de Conexión PLC S7-1500.....	53
Tabla 7	Propiedades mecánicas acero ASTM 500/A 500M.....	65
Tabla 8	Dimensiones de Tubos rectangulares.....	67
Tabla 9	Planchas de Acero ASTM A36.....	75
Tabla 10	Características PLC S7-1200, CPU 1214C.....	80
Tabla 11	Características módulo SM 1234.....	83
Tabla 12	Características Fuente SITOP PSU100S 24 V/10 A.....	86
Tabla 13	Principales características PLC SIMATIC S7-1500.....	88
Tabla 14	Reglas de Cableado PLC S7-1500.....	90
Tabla 15	Información de estado de la CPU.....	92
Tabla 16	Denominación de Submenú.....	93
Tabla 17	Características Conector IE FC RJ45.....	99
Tabla 18	Características TP Standard Cable (Type A).....	100
Tabla 19	Características FL SWITCH SFNB 5TX.....	101
Tabla 20	Distribución de puertos al Switch.....	115
Tabla 21	Limites del valor de salida.....	141
Tabla 22	Datos Obtenidos de Pruebas.....	167

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Codificación Manchester.....	4
Figura 2	Configuración Maestro – Esclavo.....	8
Figura 3	Tiempo de ciclo.....	10
Figura 4	Niveles OSI.....	10
Figura 5	Pirámide de Automatización CIM.....	13
Figura 6	Red Ethernet.....	16
Figura 7	Topología Ethernet, bus.....	17
Figura 8	Topología Ethernet, Estrella.....	18
Figura 9	Topología Ethernet, Árbol.....	18
Figura 10	Topología Ethernet, Anillo simple.....	19
Figura 11	Asignación de pines RJ45 macho.....	22
Figura 12	Cable RJ45 recto.....	23
Figura 13	Cable RJ45 cruzado.....	23
Figura 14	Cables para conexión de dispositivos.....	24
Figura 15	Conector de fibra óptica.	25
Figura 16	Red Ethernet con HUB.....	26
Figura 17	Bridge, conexión de subredes.....	27
Figura 18	Switch en red Ethernet.....	28
Figura 19	Router en Internet.....	29
Figura 20	Equivalente TCP/IP – OSI.....	30
Figura 21	Clases de direccionamiento IP.....	31
Figura 22	Enlace entre una red Profibus y una red PROFINET.....	36

Figura 23	Profinet IO.....	37
Figura 24	Unión de una red de campo y una de oficinas.....	39
Figura 25	Comunicación segura en Profinet.....	40
Figura 26	Estructura básica de un PLC.....	41
Figura 27	Componentes del PLC S7-1200.....	44
Figura 28	Módulo de Señales.....	45
Figura 29	Módulo de Comunicación.....	46
Figura 30	Sistema de Automatización S7-1500.....	49
Figura 31	Perfil de soporte.....	49
Figura 32	CPU PLC S7-1500.....	50
Figura 33	Módulos de periferia.....	51
Figura 34	Conector U.....	51
Figura 35	Fuente de alimentación PLC S7-1500.....	52
Figura 36	Configuración del Hardware PLC S7-1500.....	54
Figura 37	SIMATIC HMI Comfort Panels.....	55
Figura 38	Carga proyecto en el panel Operador.....	56
Figura 39	Conducción del proceso.....	56
Figura 40	Proceso de automatización con TIA PORTAL.....	57
Figura 41	Sistema de ingeniería unitario TIA PORTAL.....	58
Figura 42	Direccionamiento Simbólico global.....	59
Figura 43	Placa perfilada de aluminio FESTO.....	62
Figura 44	Soporte de la estructura sometida a una carga axial.....	68
Figura 45	Estructura del módulo a construir.....	70

Figura 46	Dimensiones del PLC S7-1200.....	72
Figura 47	Dimensiones PLC S7-1500.....	73
Figura 48	Dimensiones Fuente de alimentación.....	73
Figura 49	Dimensiones perfil de soporte S7-1500.....	74
Figura 50	Diseño del tablero eléctrico a construir.....	75
Figura 51	Topología Estrella a implementar.....	78
Figura 52	PLC S7-1200, CPU 1214C.....	79
Figura 53	Diagrama de Conexionado S7-1200, CPU 1214C.....	81
Figura 54	Entradas/Salidas del PLC S7-1200.....	82
Figura 55	Modulo Analógico SM 1234.....	83
Figura 56	Diagrama de conexión Modulo SM 1234.....	84
Figura 57	Fuente de Alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A.....	85
Figura 58	Pines de Conexión SITOP PSU100S 24 V/10 A.....	86
Figura 59	PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN.....	87
Figura 60	Montaje de la CPU.....	88
Figura 61	Conexión de alimentación PLC S7-1500.....	90
Figura 62	Pantalla del PLC S7-1500, CPU 1511-1 PN.....	91
Figura 63	Teclas de manejo.....	94
Figura 64	Croquis acotado PLC S7-1500, CPU 1511.1 PN.....	94
Figura 65	Panel SIMATIC HMI TP 700.....	95
Figura 66	Vista posterior PANEL HMI TP 700.....	95
Figura 67	Interface Panel HMI TP700.....	96
Figura 68	Montaje vertical del Panel HMI TP 700.....	96

Figura 69	Conexión fuente de alimentación – Panel TP 700.....	97
Figura 70	Conexión Panel TP 700 a una PC.....	98
Figura 71	Croquis acotado PANEL HMI TP 700.....	98
Figura 72	Conector IE FC RJ45.....	99
Figura 73	IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A).....	100
Figura 74	SWITCH SFNB 5TX.....	101
Figura 75	Pines de Alimentación SWITCH SFNB 5TX.....	102
Figura 76	Conector RJ45.....	103
Figura 77	Dimensiones del SWITCH SFNB 5TX.....	103
Figura 78	Construcción estructura del Módulo.....	105
Figura 79	Sujeción del tablero FESTO.....	106
Figura 80	Implementación de ruedas para desplazamiento.....	106
Figura 81	Proceso de perforado tablero de control.....	107
Figura 82	Tablero eléctrico luego del proceso de doblado.....	108
Figura 83	Instalación del tablero eléctrico en la estructura del módulo.....	108
Figura 84	Tablero eléctrico construido.....	109
Figura 85	Construcción soporte panel HMI.....	110
Figura 86	Soporte Bomba hidráulica.....	110
Figura 87	Módulo de red Profinet.....	111
Figura 88	Disposición de Equipos - Tablero de Control.....	112
Figura 89	Cableado PLC S7-1200 y Módulo SM 1234.....	113
Figura 90	Cableado de Dispositivos.....	113

Figura 91 Entradas / Salidas de los Dispositivos.....	114
Figura 92 Ensamble Cable para conexión Profinet.....	115
Figura 93 Cableado Profinet de Dispositivos.....	116
Figura 94 Sistema de Red Profinet instalado.....	116
Figura 95 Módulo de red Profinet terminado.....	117
Figura 96 Ventana de Creación de Proyectos.....	118
Figura 97 Opciones para Agregar Dispositivos.....	118
Figura 98 Agregar dispositivo CPU 1200 sin especificar.....	119
Figura 99 Determinar dispositivo Conectado.....	119
Figura 100 Detección del dispositivo requerido.....	120
Figura 101 Detección del PLC S7-1200, Módulo SM1234.....	120
Figura 102 PLC S7-1500. Detectado.....	121
Figura 103 Detección Pantalla HMI TP 700.....	121
Figura 104 Panel HMI TP 700. Detectado.....	122
Figura 105 Configuración de Dispositivos.....	123
Figura 106 Vista Topológica.....	123
Figura 107 Configuración Red Profinet.....	124
Figura 108 Dispositivos para configuración Maestro – Esclavo.....	125
Figura 109 Configuración PLC Maestro.....	125
Figura 110 Función TSEND_C.....	126
Figura 111 Ventana Parámetros de Conexión TSEND_C.....	126
Figura 112 Parámetros de Bloque TSEND_C.....	127
Figura 113 Configuración PLC Esclavo.....	128

Figura 114	Función TRCV_C.....	128
Figura 115	Ventana Parámetros de Conexión TRCV_C.....	129
Figura 116	Parámetros de bloque TRCV_C.....	130
Figura 117	Lazo de Regulación PID.....	130
Figura 118	Objeto tecnológico PID_Compact.....	132
Figura 119	Agregar Objeto tecnológico.....	132
Figura 120	Agregar Interrupción Cíclica.....	133
Figura 121	Agregar PID_Compact en Interrupción Cíclica.....	133
Figura 122	Tipo de regulación PID.....	134
Figura 123	Parámetros de EntradaSalida PID.....	135
Figura 124	Escalado valor real.....	138
Figura 125	Monitorización valor real.....	139
Figura 126	Límites del valor real.....	140
Figura 127	Limitaciones PWM.....	141
Figura 128	Límites del valor de salida.....	142
Figura 129	Parámetros PID.....	143
Figura 130	Ventana de puesta en servicio PID.....	145
Figura 131	Dispositivo encendido módulo.....	151
Figura 132	Dispositivos encendidos en el módulo.....	151
Figura 133	PLC S7-1500 en estado STOP.....	152
Figura 134	SIMATIC Memory Card.....	153
Figura 135	Rotulación SIMATIC Memory Card.....	154
Figura 136	Ranura para la SIMATIC Memory Card.....	155

Figura 137 Pantalla PLC S7-1500, estado RUN.....	156
Figura 138 Red Profinet en TIA PORTAL V13.....	163
Figura 139 Configuración Red Profinet.....	163
Figura 140 Protocolo IP en los dispositivos.....	164
Figura 141 Comunicación TIA PORTAL – Panel HMI.....	165
Figura 142 Envío de la variable DATO al Servidor.....	166
Figura 143 Recepción de variable “RECIBIDO” en el Servidor.....	166
Figura 144 Funcionamiento proceso.....	167
Figura 145 Curva Velocidad – Voltaje.....	168
Figura 146 Curva Velocidad – Corriente.....	169

RESUMEN

El presente proyecto de investigación consistió específicamente en el análisis e implementación de una red industrial con estándar PROFINET, para centralizar procesos de control hidráulico proporcional utilizando dispositivos pertenecientes al módulo FESTO TP- 702, existentes en el laboratorio de hidrónica y neutrónica, para lo cual se procedió de la siguiente manera, previamente se realizó el diseño y simulación de un prototipo de estructura para alojamiento y conexión entre equipos hidráulicos, eléctricos y de control, posteriormente se realizó la construcción de dicho modelo que está formado por varias piezas de tubería estructural metálica rectangular, un tablero metálico perforado donde se instalaron los equipos de control, una placa perfilada de aluminio FESTO, detalles en madera decorativa tipo MDF, sostenidas mediante pernos, tornillos, y pintado con pintura electrostática. Para la red PROFINET, se dimensionó y adquirió PLC's SIEMENS S7-1200, CPU S7-1500, pantalla HMI TP 700 Comfort SIEMENS, IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Tipo A), conectores IE FC RJ45 SIEMENS, SWITCH SFNB 5TX, Módulos Analógicos SM 1234 SIEMENS, y una fuente de Alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A SIEMENS. La configuración de la red y programación de equipos se realizó mediante el software TIA PORTAL V13, finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento para control proporcional hidráulico y control PID. Las pruebas realizadas fueron registradas en guías para estudios y tienen un enfoque netamente educativo.

PALABRAS CLAVE:

- **RED PROFINET**
- **HIDRÓNICA Y NEURÓNICA**
- **CONTROL HIDRÁULICO PROPORCIONAL**
- **CENTRALIZAR PROCESOS**
- **PINTURA ELECTROSTÁTICA**
- **SOFTWARE TIA PORTAL**

ABSTRACT

This research project consisted specifically in the analysis and implementation of an industrial network with PROFINET standard, to centralize processes using proportional hydraulic control devices belonging to FESTO TP 702, existing in the laboratory and neutron hydronic module for which he proceeded as follows previously the design and simulation of a prototype structure for housing and connection between hydraulic, electrical and control equipment was performed subsequently performed the construction of the model consists of several pieces of metal structural tubing rectangular a metal pegboard where control equipment, a profiled aluminum plate FESTO, details MDF decorative wood type, supported by bolts, screws, and painted with electrostatic painting were installed. For the PROFINET network is dimensioned and acquired PLC's SIEMENS S7-1200, S7-1500 CPU, screen HMI TP 700 Comfort SIEMENS, IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A), connectors IE FC RJ45 SIEMENS SWITCH SFNB 5TX , SM Analog Modules SIEMENS 1234, and PSU100S SITOP 24 V / 10 A SIEMENS. The network configuration and programming equipment was performed by TIA PORTAL V13 software finally performance testing for hydraulic proportional control and PID control is performed. The tests were recorded in study guides and have a purely educational approach.

KEYWORDS:

- **PROFINET NETWORK**
- **HYDRONIC AND NEUTRONIC**
- **PROPORTIONAL HYDRAULIC CONTROL**
- **CENTRALIZE PROCESSES**
- **ELECTROSTATIC PAINTING**
- **TIA PORTAL SOFTWARE**

CAPÍTULO I

1.- GENERALIDADES

A partir del año de 1970, época en la que hace su aparición la red más popular y difundida en el mundo de las comunicaciones, como lo es Ethernet, que en un principio fue enfocada para redes de oficina, es decir exclusiva para redes de área local LAN (Local Área Network). Desde entonces Ethernet ha evolucionado ya que por sus bastas prestaciones a la hora de enviar grandes cantidades de datos y protocolos de comunicación amigables, esta fue adaptada en años posteriores al ámbito industrial. La constante necesidad de automatizar los procesos en las industrias, ha ocasionado que varias empresas desarrollen estándares y equipos, que pueden ayudar con este fin, en un inicio se consideraron equipos como contactores electromagnéticos, relés temporizadores, y a medida que pasaba el tiempo estos fueron reemplazados por otros más sofisticados como los Controladores Lógicos Programables (PLCs), es aquí donde surge la necesidad de integrar y monitorear los procesos asociados, y surgen varias redes industriales entre ellas, Ethernet Industrial, basada en estándares IEEE 802.3. (Torres, 2011)

En la industria moderna, las comunicaciones de datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de los pilares fundamentales para que ésta se encuentre en un nivel de competitividad exigida en los procesos productivos actuales. En un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos. (Torres, 2011)

1.1.- COMUNICACIONES INDUSTRIALES

La aparición de los autómatas programables (PLC, Programmable Logic Controllers) permitió reducir en gran medida la cantidad de material necesario para conseguir controlar una máquina; los controles se programan en su interior y las modificaciones de funcionamiento no significan necesariamente cambios físicos y, además, el tiempo necesario para el mantenimiento se reduce. Las señales entre periferia y control, inicialmente de tipo analógico y de punto a punto, gracias al desarrollo de la electrónica digital y el auge de los microprocesadores, se convierten en un conjunto de señales capaces de transportar esa información mediante un único medio de transmisión (Bus de Campo) y un Protocolo de Comunicación que permitió que esa señal (por ejemplo, sensor activado) pueda hacerse llegar donde interese. La posibilidad de conectar los autómatas entre sí, además, permite eliminar casi todo el cableado de control entre máquinas, quedando solamente una línea de comunicación entre ellas, a través de la cual se podía coordinar el funcionamiento de todos los componentes de un sistema. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 3)

1.1.1.- SISTEMAS DE TRANSPORTE DE SEÑAL

A la hora de conseguir un intercambio de información entre dos equipos, se necesita un medio de transporte para la energía que contendrá esta información. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 4)

a.- Modos de transmisión de datos.

Paralelo.- Esta forma de transmisión permite el envío de información a gran velocidad. El inconveniente es la cantidad de líneas de comunicación y la distancia máxima a la cual se puede realizar ésta. Actualmente es la única opción válida para los sistemas con microprocesadores (el “bus local” del PC). Se mide

en bits, o líneas de comunicación (pistas de circuito impreso). Así tenemos buses de 8, 16, 32, 64, 128 bits. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 12)

Serie.- Mediante un sistema clásico de transmisión de señal, por niveles de tensión, por ejemplo, el sistema transmisor hace variar los niveles de señal entre dos valores o estados. El sistema receptor debe ser capaz de identificar esos cambios de estado, e interpretarlos correctamente para poder traducirlos a bits. Este método exige que, tanto emisor como receptor, estén sincronizados. Para sincronizar emisor y receptor se pueden utilizar dos métodos. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 12)

Asíncronos.- Emisor y receptor trabajan a la misma velocidad y con el mismo número de bits por mensaje. Una señal determinada (start bit) indica el inicio del mensaje, y el receptor comienza el muestreo de la señal presente en el medio. Este método requiere precisión en las operaciones de muestreo (periodos de reloj constantes en el tiempo). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 12)

Síncronos con reloj.- Una señal de reloj adicional indica al receptor los instantes de muestreo de señal. Este método requiere una línea de comunicación adicional. La ventaja de este método es que el receptor solo debe seguir los flancos de la señal de reloj, y éste no tiene por qué ser preciso. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 12)

b.- Codificación de señales.

Una vez definido el modo de transmisión de la información hay que determinar la forma de la misma, o cómo hacer que los bits que representan la información que queremos transmitir se pueden enviar a la mayor velocidad

posible sobre la línea de transmisión escogida. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 13)

Uno de los modelos más extendidos es la codificación ASCII. Es una forma de transmisión síncrona, que delimita cada carácter mediante un bit de inicio y uno de final, y un cierto control de error mediante el llamado bit de paridad. Una mejora sustancial en cuanto a efectividad se consigue con la codificación del tipo Manchester mostrado en la Figura 1, que permite la sincronización entre emisor y receptor. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 13)

Este código divide cada bit en dos subintervalos, definiendo el nivel lógico del bit mediante el sentido del flanco entre el primer y segundo intervalo.

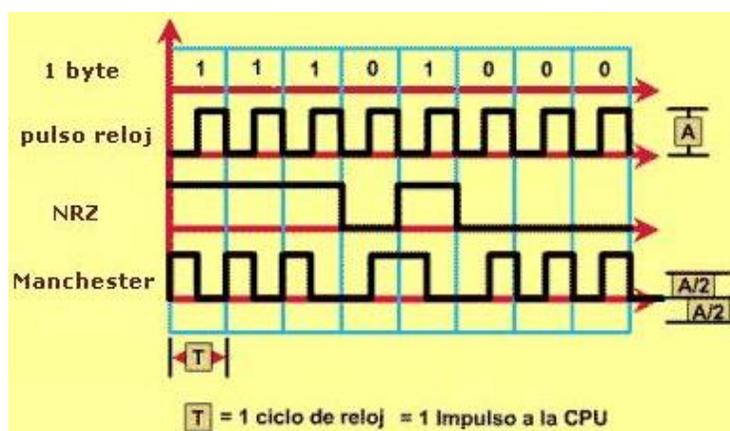


Figura 1 Codificación Manchester.

Fuente: (Wikipedia, 2014)

c.- Protocolos de Comunicación.

Una vez definido el soporte físico y las características de la señal a transmitir, hay que determinar la forma en la cual se va a realizar el intercambio de información (sincronización entre los extremos de línea, detección y corrección de errores, gestión de enlaces de comunicación, etc.). El protocolo de comunicación engloba todas las reglas y convenciones que deben seguir dos

equipos cualesquiera para poder intercambiar información. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 13)

La estandarización es un punto de conflicto entre intereses técnicos y comerciales, pues cada fabricante realiza sus investigaciones encaminadas a que sus equipos cubran determinadas necesidades y, por supuesto, pretende después de estas utilidades se conviertan en estándares pues, por supuesto, son las mejores soluciones del mercado. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 14)

Este tipo de soluciones tienen denominaciones tales como:

- Hart
- Profibus
- Modbus
- AS-i
- Profinet
- Can

Prácticamente cualquier protocolo puede integrarse, en mayor o menor medida, en cualquier nivel de la famosa Pirámide de Automatización (CIM, Computer Integrated Manufacturing), pero la gracia está en encontrar la relación prestaciones/precio ideal, y el equilibrio entre varias tecnologías que permitan complementarse unas a otras. No hay un bus mejor que otro, sino que, dependiendo de la aplicación, hay unos buses más adecuados que otros. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 14)

A la hora de seleccionar uno u otro bus, se debe tener en cuenta, algunos de los siguientes puntos:

- Costo por nodo de bus.
- Costo de programación (o desarrollo).

- Tiempos de respuesta.
- Fiabilidad.
- Robustez (tolerancia a fallos).
- Modos de funcionamiento (Maestro esclavo, acceso remoto).
- Medios Físicos (Cable, Fibra óptica, radio...).
- Topologías permitidas.
- Gestión.
- Interfaces de Usuario.

d.- Tipos de redes según forma (Topología).

La topología define la disposición de los diferentes equipos alrededor del medio de transmisión de datos, determinando unas estructuras de red características: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 14)

Redes Centralizadas (Clustered Systems).- Todos los equipos están supeditados a un equipo central (Host) que controla todo el sistema. El Host debe ser un equipo potente para gestionar el tráfico de datos con eficiencia. El fallo de un terminal no afecta al funcionamiento de la red, pero si el fallo es en el Host, se paraliza todo. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 14)

Redes Distribuidas (Distributed Systems).- En este tipo de red, los equipos pueden ser máquinas sencillas que comparten las cargas de trabajo, los recursos y comunicaciones. El fallo de un Terminal no afecta al resto de equipos. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 14)

Hay varias configuraciones básicas:

- Anillo.
- Estrella.
- Bus.

- Árbol.
- Red.

e.- Formas de Comunicación.

La forma de comunicación utilizada se puede observar desde el punto de vista de la frecuencia con la que se intercambian los datos entre los equipos, pudiendo ser de dos maneras: Cíclicas (Periódicas) o Acíclicas (Aperiódicas). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 18)

Comunicaciones Cíclicas.- A la hora de transmitir vía Bus de Campo, interesa que el tiempo empleado en enviar y recibir todos los datos entre estaciones (tiempo de “scan”), sea lo más corto posible. En un caso ideal no debería haber retraso. Por ejemplo, entre pulsar un botón de paro de estación en el sistema de visualización del Maestro, y el paro real de la misma. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 18).

Es inevitable que transcurra un tiempo determinado entre estos dos sucesos:

- El Maestro tiene un ciclo de trabajo de una duración determinada (ciclo de scan).
- El sistema de comunicaciones tarda un tiempo en enviar-recibir todos los datos programados.
- El Esclavo tiene su ciclo de scan propio.

Centrándonos en las comunicaciones, una manera de reducir el tiempo de emisión-recepción, sin variar la velocidad de transmisión, es reducir la cantidad de datos a gestionar por el sistema de transmisión, enviando únicamente los datos necesarios (marcha, paro, alarmas, etc). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 18)

Comunicaciones Acíclicas.- En el caso del intercambio de grandes cantidades de información “no crítica” (piezas producidas, tiempo de funcionamiento, visualización de algunas variables analógicas, etc.), se puede optar por realizar en envío de la misma en momentos determinados del proceso, o sólo cuando se solicite ésta. Así como la comunicación Cíclica se realiza de forma automática, la lectura y estructura de datos en modo Acíclico debe ser realizada mediante la ejecución de instrucciones específicas de comunicación (lectura y escritura). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 19)

Modos de Diálogo.- Según el tipo de enlace, aparecen tres posibilidades de diálogo: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 19)

- Simplex.
- Half Duplex.
- Full Duplex.

Organización de Nodos.- Los nodos de una red pueden clasificarse también en torno a su forma de gestionar la información, en relación a los otros nodos: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 20)

- Maestro – Esclavo.
- Cliente – Servidor.
- Productor – Consumidor.

Maestro – Esclavo.- Al organizar las comunicaciones, generalmente se establece una jerarquía entre los equipos, en la que uno de ellos tiene el control de las comunicaciones (de forma temporal o permanente). Es lo que se conoce como relación Maestro – Esclavo mostrado en la Figura 2. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 20)

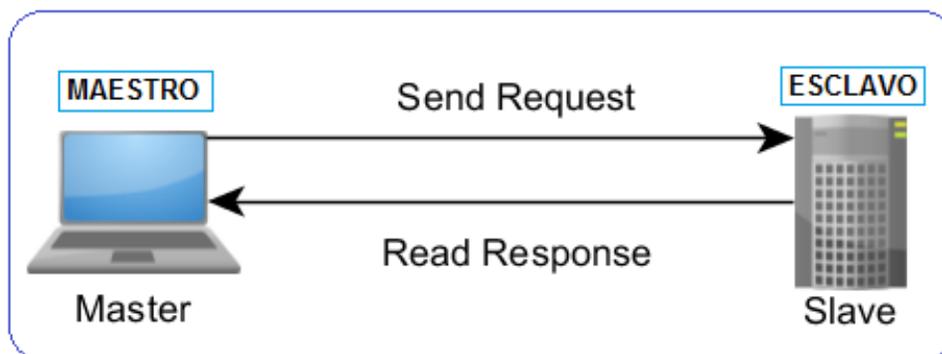


Figura 2 Configuración Maestro – Esclavo.

Fuente: (instruments, 2015)

En el entorno industrial, el Maestro es un autómatas que pueden leer o escribir sobre los esclavos de la red que controla, mientras que el esclavo recibe los mensajes enviados por el maestro y emite hacia éste cuando le llega la orden de hacerlo. Dentro de los Esclavos hay dos categorías: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 20)

Esclavos Activos.- Son equipos con un PLC que recibe órdenes y ejecuta un programa propio. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 21)

Esclavos Pasivos.- Se comportan como terminales “tontos”, no ejecutan programa alguno y realizan la función de Entradas – Salidas remotas del autómatas Maestro. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 21)

f.- Entradas y Salidas.

Cuando hay un bus de comunicaciones, hay que distinguir dos tipos de señales de Entradas – Salidas:

Locales.- Son las E/S cableadas al PLC. Por tanto, cuando hablamos de E/S locales de un maestro o de un esclavo, nos estamos refiriendo a las Entradas – Salidas cableadas a su PLC. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 21)

Remotas.- Son entradas y salidas lógicas (no existe físicamente) que conectan punto a punto el maestro con los esclavos. Es decir, las salidas de bus del maestro están conectadas directamente a las entradas de bus de campo de los esclavos; a su vez, las salidas de bus de los esclavos están conectadas de bus del maestro. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 22)

g.- Tiempo real.

Es una medida relativa, como ocurre con los decibelios. Debemos compararla con algo. Por ejemplo, máquinas o equipos diferentes de un mismo sistema pueden tener necesidades diferentes de tiempo real en función del trabajo que realicen. Equipos para control de movimiento deben ser capaces de dar tiempos de respuesta de unos 50 microsegundos, con unas variaciones máximas (jitter) de unos 10 microsegundos (Para exigencias más grandes, debe utilizarse equipo especial). Para un PLC, el inicio típico está por debajo de los 10 milisegundos, y las variaciones pueden llegar a ser de milisegundos. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 22)

Cuando el tiempo de respuesta es menor que el tiempo en el que una variable o condición determinada tardan en provocar un cambio en el sistema, se dice que el sistema de control opera en tiempo real. En la Figura 3 se muestra, de forma general, todos los elementos involucrados en el control de una señal, desde su origen hasta la orden que ésta origina en el sistema de control. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 22)

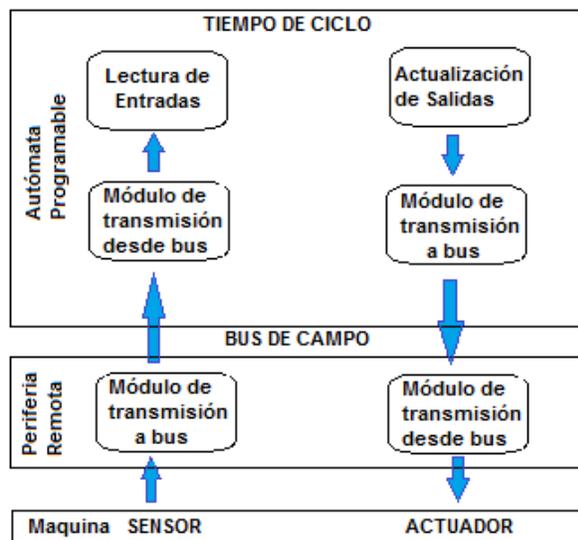


Figura 3 Tiempo de ciclo.

Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 22)

h.- Modelo de referencia OSI.

Básicamente, cada nivel se comunica con su nivel homólogo de otro sistema, haciendo servir de intermediarias las capas que tiene por debajo, creando una serie de canales que codifican (envío) y decodifican (recepción) la información. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 23)

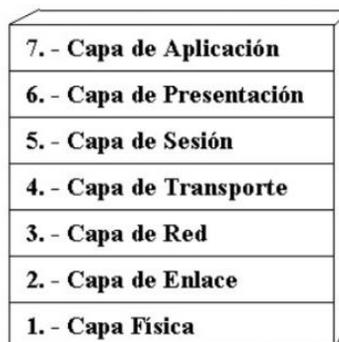


Figura 4 Niveles OSI.

Fuente: (Adrián, 2011)

Nivel 1: Capa Física.- Especifica las características mecánicas y eléctricas del sistema físico de transporte (cable de par trenzado, cable coaxial, fibra óptica etc.), y de las interfaces que permiten la conexión física de los equipos a dicho sistema de transporte (tarjetas de red) y define: las topologías aceptadas, el modo de emisión (forma de la señal) y el soporte de transmisión (Banda Base o Señal Portadora). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 25)

Nivel 2: Capa de Enlace de Datos.- Establece la forma de agrupar los datos en paquetes de longitud adecuada y añade los mecanismos necesarios para poder controlar la transmisión de información y poder detectar y corregir errores que pueden aparecer (CRC, Cyclic Redundance Code). Debe realizar el control de envío y recepción de información en el bus, teniendo en cuenta que puede haber más de un interlocutor, y debe garantizar el acceso a todos los equipos conectados a la red. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 25). El acceso al medio (bus) puede ser:

Controlado por un equipo único.- Reparte el derecho de transmisión con los demás equipos (técnica de polling). Este sistema se denomina Maestro – Esclavo, o Centralizado. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 25)

Condicionado por un derecho.- El derecho de acceso lo proporciona un “testigo”. Su poseedor puede emitir un mensaje y a continuación transmitir el testigo al equipo siguiente. Sistema descentralizado (Profibus). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 25)

Aleatorio o descentralizado.- El equipo que quiere emitir verificar que la línea de transmisión está libre. Si dos equipos emiten de forma simultánea, se origina una colisión (los mensajes se destruyen). La capa de Enlace define el comportamiento a seguir por ambos equipos (prioridad a uno o retrasmisión tras un retardo). Son los protocolos de tipo CSMA (Carrier Sense Multiple Access).

Se emplea principalmente en Ethernet. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 26)

Nivel 3: Capa de Red.- Esta capa se ocupa del direccionamiento a través de sistemas mediante técnicas de encaminamiento (routing), y del control de flujo. Aquí se aplican algoritmos de control de tráfico y optimización, de manera que un mensaje puede estar fragmentado en varios paquetes que no tienen por qué seguir el mismo camino. Cada paquete seguirá el camino óptimo determinado por los controladores de la red, atendiendo a variables tales como la disponibilidad de equipos y el estado del tráfico de la red en cada momento. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 28)

Nivel 4: Capa de Transporte.- Tiene la misión de garantizar un enlace fiable entre terminales. Divide la información en paquetes manejables por el sistema de transmisión. Controla la gestión de los paquetes de información (orden de envío y recepción, formatos de transmisión, peticiones de reenvío en caso de error, etc.). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 29)

Esta capa no es indispensable en el caso de un bus de campo, pues sus servicios ya los soportan las capas 1,2 y 3.

Nivel 5: Capa de Sesión.- Administra las comunicaciones entre equipos (organización y sincronismo en el intercambio de datos). Se ocupa de coordinar las comunicaciones mediante el establecimiento de comunicación, su mantenimiento y su finalización de una forma ordenada. Al igual que la capa cuatro, en el caso de un bus de campo sus servicios ya los soportan las capas 1, 2 y 3. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 29)

Nivel 6: Capa de Presentación.- Realiza la conversión de datos a un formato común, entendible por todos los equipos (compatibilizando ficheros, impresoras, etc.). Lenguaje propio del equipo para transmitir y recibir. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 29)

Encriptación y codificación de datos: En este nivel debería situarse las normas que definen los “Aparatos Virtuales” (Virtual Devices), que respetarían las mismas órdenes y la misma codificación de las variables, haciendo la aplicación transparente al Usuario (todos los elementos de red serían idénticos, representados de la misma manera). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 29)

Nivel 7 – Capa de Aplicación.- El departamento de lingüística se localiza en este punto. Esta capa es un campo de libre utilización para fabricantes y usuarios. Localiza las funciones de usuario y los servicios de comunicación. Presta servicios al usuario, que comprenden la interacción directa con los procesos de aplicación, manejando las transferencias de ficheros, base de datos, correo electrónico, etc. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 29)

i.- Pirámide de la Automatización (CIM).

En entornos complejos es frecuente recurrir a arquitecturas por niveles. En este caso se habla de la “pirámide de la automatización CIM” Figura 5, en el cual se identifica diferentes niveles dentro del proceso industrial. (Andrés Garcia Higuera & Castillo Garcia, 2007).

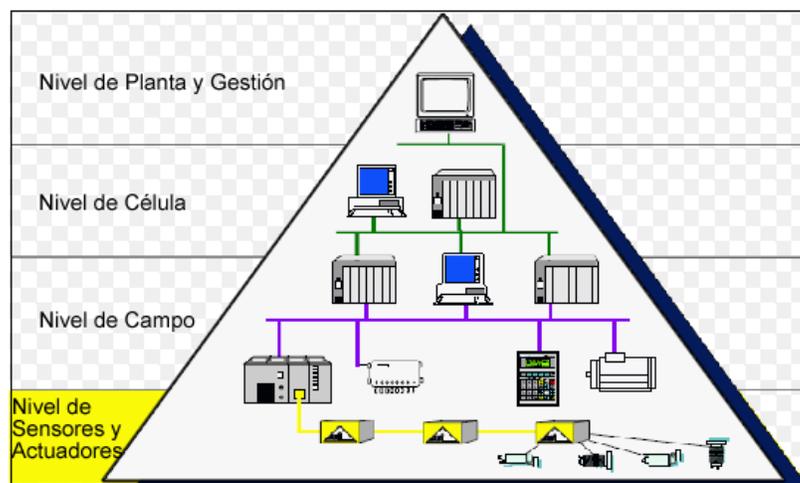


Figura 5 Pirámide de Automatización CIM.

Fuente: (CHAVEZ & VILLA PLAZAS , 2009)

Nivel de Gestión.- Procesa tareas de tipo corporativo que implica, generalmente, grandes cantidades de información (administración). Se puede acceder a todos los puntos de la red para, por ejemplo, recoger datos de proceso y transmitir nuevas consignas de producción. Puede haber cientos de puestos de trabajo (estaciones). Los equipos que aparecen aquí son Ordenadores personales (PC), mini computadores y grandes equipos informáticos. Desde aquí se accede al exterior mediante redes de área amplia (WAN). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 36)

Nivel Célula.- Procesa las tareas de automatización. Aquí aparecen los Automatas, PC's y equipos de visualización. La transferencia de información es considerable, aumentando el tamaño de los paquetes de información y el tiempo de tránsito necesario para la transmisión de éstos. Ya no es tan importante la rapidez, prima más la seguridad del envío. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 36)

Nivel de Campo.- Realiza la unión entre las instalaciones y los equipos que las controlan. Permite la comunicación entre los equipos de control de maquinaria y los equipos del nivel de célula. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 36)

La periferia distribuida en planta, compuesta por módulos de Entradas/Salidas, medidores, sistemas de control de velocidad, válvulas o pantallas de Operador, utiliza técnicas de transmisión muy eficientes, capaces de trabajar en tiempo real mediante comunicaciones cíclicas o acíclicas. Las redes de bus de campo (niveles superiores) incorporan la Capa de Aplicación, que permite implementar rutinas de control en el elemento situado en planta o en el controlador. Además proporcionan seguridad intrínseca para los elementos utilizados en zonas peligrosas. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 37)

Nivel Actuador/Sensor.- En cualquier aplicación automatizada tenemos multitud de elementos que requiere uno o algunos bits de información (de entrada o salida) para trabajar (pulsadores, selectores, sensores, pilotos). Esta característica es la que define el nivel Actuador/Sensor (pocos bits) dentro de un sistema automatizado. Este nivel es el peldaño más bajo dentro de la jerarquía de los sistemas automatizados. Trabaja con poca información, y su gestión es relativamente sencilla. Se transmiten cantidades reducidas de información (pocos bits) a gran velocidad. Las interfaces utilizan técnicas de instalación sencillas y de bajo costo, haciendo servir el mismo medio para alimentar a los elementos de campo y para transmitir la información mediante comunicaciones cíclicas. Es posible utilizar sistemas de bus existentes, pero el costo de material y puesta en marcha sería excesivo, trabajaríamos con recursos sobredimensionados y poco eficientes: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 37)

- Sistema de transmisión inadecuado o de costo elevado (cables de fibras de vidrio, apantalladas o demasiado rígidas).
- Protocolos de transmisión estocásticos (aleatorios como Ethernet), que podría echar por tierra el concepto, necesario, de “tiempo real”, proporcionado por los sistemas determinísticos.
- Electrónica sobredimensionada y, por tanto, cara.
- Instalación compleja y laborista, que necesita operarios con experiencia.

La red que buscamos a este nivel nos deben proporcionar una relación bits transmitidos/costo, lo más ajustada posible. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 37). Esto será posible gracias a:

- Un cableado sencillo y económico (dos hilos, sin apantallar).
- Flexibilidad en el tendido del cableado (cualquier topología imaginable).
- Comunicaciones robusta (inmune a interferencias).

- Protocolo de transmisión que garantice la respuesta en “tiempo real” (determinístico y rápido).
- Interfaces adaptados a cada necesidad (electrónica de bajo costo).
- Conocimientos técnicos mínimos para realizar la instalación.
- Protección IP elevada (IP 65 como mínimo).
- Resistencia a amplios márgenes de temperatura (-25°C a + 85°C).

1.2.- REDES DE COMUNICACIÓN ETHERNET

Cualquier sistema de trabajo compuesto por dos o más ordenadores que abarquen desde una única oficina a múltiples equipos que intervengan en un proceso productivo, necesita unos medios que permitan la comunicación entre estos equipos y que se puedan intercambiar información. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 155). La Figura 6 muestra una red Ethernet industrial.

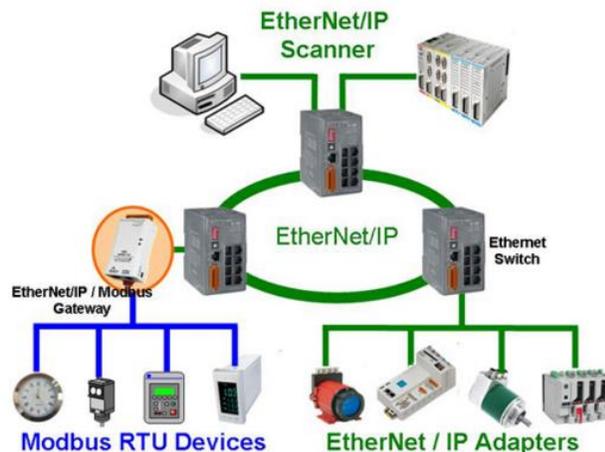


Figura 6 Red Ethernet.

Fuente: (Fernández M. , 2012)

La interconexión de estos equipos se realiza mediante las denominadas redes de comunicación que, tradicionalmente se denominan redes en el ámbito de gestión, y buses de comunicación en el ámbito industrial. En el caso de utilizar

Ethernet, se habla de Redes de Área Local (LAN, Local Area Network) como aquellas que permiten la interconexión de equipos próximos. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 155)

1.2.1.- TOPOLOGÍAS ETHERNET

Ethernet emplea todas las topologías de conexionado de sistemas de comunicación, apareciendo estructuras donde se ven conexiones en bus, árbol, estrella y anillo. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 155).

En vista de esto aparecen sistemas de conexionado que permiten:

- Aumentar las distancias entre dispositivos.
- Aumentar el número de dispositivos conectados.
- Aislar y controlar los flujos de información.
- Dividir los grupos de conexiones (redes) e intercambio de información.
- Implementar políticas de seguridad.

Bus.- Es la topología base de una red Ethernet, todos los equipos se conectan mediante derivaciones a la línea principal (Figura 7), compuesta por un cable coaxial con derivaciones y resistencias de terminación en los extremos. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 155)

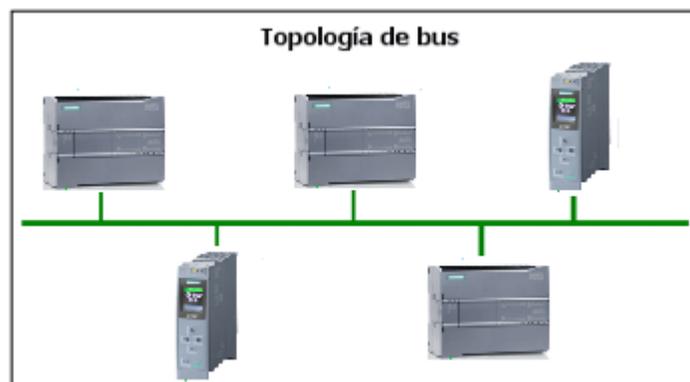


Figura 7 Topología Ethernet, bus.

Estrella.- Esta topología (Figura 8) es una de las más extendidas debido a su bajo costo y su sencillez de instalación. Los dispositivos de red se conectan a un elemento central que se ocupa de distribuir la información a todos los equipos conectados (HUB O SWITCH). Para aumentar el número de equipos o su alcance, es posible conectar varios elementos centrales en cascada. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 156)



Figura 8 Topología Ethernet, Estrella.

En esta topología, el fallo de un nodo (ordenador) no afecta al resto, pero el de un concentrador elimina a todos los equipos que tengan conectados.

Árbol.- Esta topología combina las características de las topologías de bus y estrella. Su idea básica es la conexión de grupos de estaciones, conectados en estrella, a un bus principal o Backbone mostrado en la Figura 9. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 157)



Figura 9 Topología Ethernet, Árbol.

Anillo.- La topología de anillo (Figura 10) es más compleja de implementar pero, presenta una serie de ventajas inherentes a su tecnología. Los requerimientos de cable son mínimos, similares a los de la topología bus.

Es un bus relativamente sencillo de instalar. Los equipos sólo necesitan una tarjeta de red y un cable coaxial que las una. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 157)

- Se basa en una serie de conexiones punto a punto de una estación con la siguiente.
- El tráfico de información va en un sentido único a lo largo del soporte de transmisión.
- Es una estructura activa, la señal se regresa en cada nodo.
- En este tipo de redes está muy extendido el uso de la fibra óptica, lo cual hace el anillo completamente inmune a todo tipo de interferencias electromagnéticas.

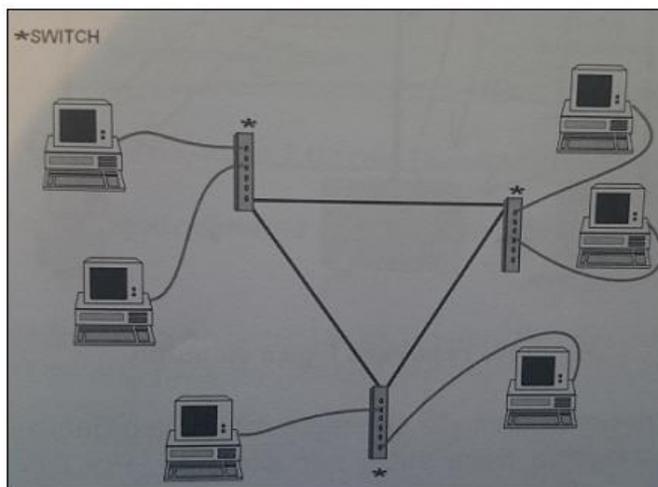


Figura 10 Topología Ethernet, Anillo simple.

Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 157)

Para aumentar las características de seguridad, es posible implementar anillos redundantes.

1.2.2.- MEDIOS DE TRANSMISIÓN.

Ethernet presenta tres tipos de soporte habituales: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 159)

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

En la Tabla 1 se muestra un extracto de cableado aconsejado por Siemens para las diversas soluciones con cable UTP y fibra óptica. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 159).

Tabla 1
Cables para red Ethernet.

TYPE	DATA RATE	CABLE TYPE	DISTANCIA	CONECTOR TYPE
10 BASE -T	10 Mbit/s	CAT 3 - UTP	100 m	RJ45
100 BASE - TX	100 Mbit/s	CAT 5 - UTP	100 m	RJ45
1000 BASE - T	1 Gbit/s	CAT 5 - UTP	100 m	RJ45
10 BASE 2	10 Mbit/s	COAXIAL	185 m	Conector T
10 BASE F	10 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	ST
100 BASE FX	100 Mbit/s	Fibra óptica	2000 m	ST / SC
1000 BASE SX	1000 Mbit/s	Fibra óptica	550 m	SC / LC
1000 BASE LX	1000 Mbit/s	Fibra óptica	5000 m	LC

Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 159)

Dentro del par de cobre, aparecen tres categorías principales:

a.- Cable Coaxial.

10 BASE 5 (Cable grueso).- Un hilo central de cobre con cuádruple capa de blindaje (el alto nivel de blindaje hace al cable 10 BASE 5 muy resistente a ruido eléctrico. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 159)

10 BASE 2 (Cable fino, RG - 58 A/U).- Un hilo central de cobre con una sola capa de blindaje. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 159)

b.- Par Trenzado sin apantallar – UTP (*Unshielded Twisted Pair*).

Categoría 3.- Adecuado para aplicaciones 10 BASE – T de capacidad limitada.

Categoría 4.- Cable de calidad para instalaciones 10 BASE – T.

Categoría 5.- Cable de Calidad que sólo puede ser usado para instalaciones 100 BASE – TX. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 160)

Par Trenzado – Blindado – SFTP.- Cada par es blindado individualmente y el conjunto también. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 160)

c.- Distancias.

En función de cada estándar Ethernet, aparecen una serie de recomendaciones para el diseño de redes en función del tipo de cable a utilizar. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 160).

En principio, para definir una arquitectura determinada, se recomienda respetar dos puntos:

- Longitud máxima de los segmentos.
- Diámetro máximo de la red.

En la Tabla 1-2 se muestra las distancias según del tipo de cable utilizado.

Tabla 2

Distancias según tipo de Cable.

Type	Maximum segment length	Maximum segment length (offered by connexium devices)	Maximum number of hubs in cascade	Maximum number of switches in cascade
10 BASE -T	100 m	100 m	4	Unlimited
100 BASE - TX	100 m	100 m	2	Unlimited
1000 BASE - T	100 m	100 m		Unlimited
10 BASE - FL	2000 m	3100 m	11 (fiber ring)	
100 BASE FX	412 m/2000 m	4000 m con multimodo, 32500 m con monomode		Unlimited
1000 BASE SX	275 m			Unlimited

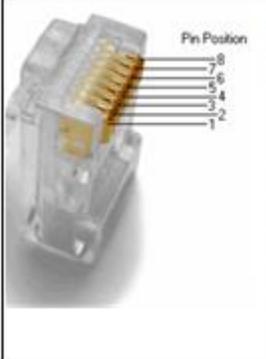
Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 160)

d.- El cable par.

Ethernet ha estandarizado el cable de cuatro pares y terminales RJ45. Generalmente se conecta todos los hilos, pero solamente son necesarios los

pinos 1, 2, 3, y 6 (el resto de pines se utilizan en telefonía o en alimentación por Ethernet). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 160)

La asignación de pines es fácil de recordar siguiendo la indicación: Sosteniendo el conector RJ45 macho frente, con la pestaña de seguridad hacia arriba, el pin 1 corresponde al lado izquierdo como se muestra en la Figura 11. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 161)



Pin	Name	Description	Cable Color
1	TX_D1+	Tranceive Data+	 white/green
2	TX_D1-	Tranceive Data-	 green
3	RX_D2+	Receive Data+	 white/orange
4	BI_D3+	Bi-directional Data+	 blue
5	BI_D3-	Bi-directional Data-	 white/blue
6	RX_D2-	Receive Data-	 orange
7	BI_D4+	Bi-directional Data+	 white/brown
8	BI_D4-	Bi-directional Data-	 brown

Figura 11 Asignación de pines RJ45 macho.

Fuente: (CICLOSINFORMATICA, 2016)

En función de la conexión que se quiera realizar, hay dos tipos de cable Ethernet:

Cable directo.- Permite conectar dispositivos de gestión de red (HUB) con dispositivos de exploración de red (Ordenador) se muestra en la Figura 12. La distribución de los pines en los dos extremos del cable es idéntica, pin a pin, y está normalizada en cuanto al código de colores según las especificaciones EIA / TIA – 568A y EIA / TIA – 568B. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 161).

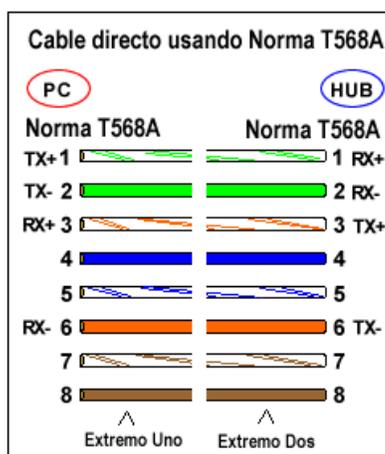


Figura 12 Cable RJ45 directo.

Fuente: (Zermeño, 2013)

Cable Cruzado.- Permite conectar dispositivos de categorías similares como, por ejemplo, dos ordenadores. La distribución de los pines en los dos extremos del cable realiza el cruce entre el par de emisión y el de recepción (Figura 13). Está igualmente normalizada en cuanto al código de colores según las especificaciones EIA / TIA – 568A y EIA / TIA – 568B. (Básicamente, un cable cruzado tiene la especificación 568A en un extremo y 568B en el otro). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 161)

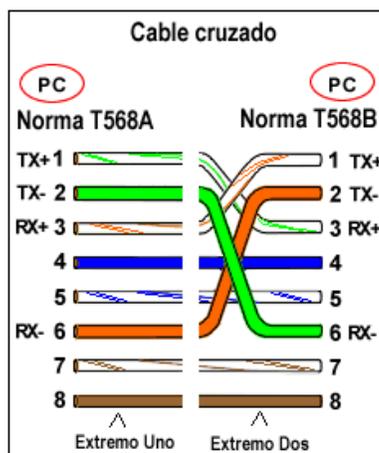


Figura 13 Cable RJ45 cruzado.

Fuente: (Zermeño, 2013)

En la Figura 14 se muestra una representación de las conexiones básicas por tipo de cable y dispositivo.

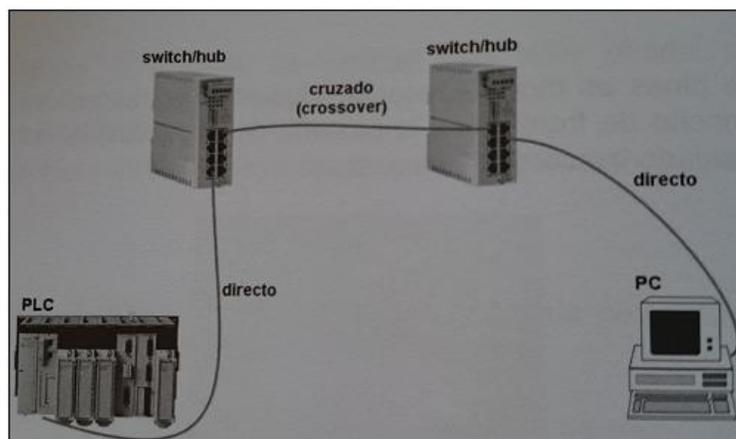


Figura 14 Cable para conexión de dispositivos.

Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 162)

e.- La fibra óptica.

La fibra óptica es el medio para todo tipo de aplicaciones industriales al ser inmune a cualquier tipo de radiación electromagnética. Además, permite aumentar las distancias entre los elementos, salvando la barrera de los 100 m y llegando a varios kilómetros. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 162). En función de su tecnología, hay dos tipos:

Multimodo.- La primera en comercializarse, más económica y sencilla de trabajar. Adecuada para distancias cortas y con un ancho de banda reducido. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 162)

Monomodo.- Permite una tasa de transferencia muy elevada en comparación con las multimodo. Son más difíciles de manejar al requerir unas tolerancias mecánicas muy bajas en los sistemas de conexionado. Adecuadas para grandes distancias. En la Figura 15 se muestra conectores comunes de fibra óptica. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 162)



Figura 15.- Conectores de fibra óptica.

Fuente: (juanmaperezmicroinformatica, 2015)

1.2.3.- ELEMENTOS DE INTERCONEXIÓN.

Cuando un sistema crece empieza a ser necesario, ya sea por requerimientos físicos (diferentes oficinas o plantas de fabricación) o lógicos (separa los ordenadores de gestión de los de producción). Al aparecer subredes, pueden ocurrir que tengan distinto medio de transmisión (cable, fibra óptica, radio), que la información no tenga la misma estructura en todas (Profibus, AS-i, Modbus, Profinet), que cambie la velocidad, o que pueda haber varios caminos para enviar información. Para solucionar todos los problemas que plantea la conectividad de una red de ordenadores, se han desarrollado una serie de dispositivos con características de funcionamiento específicas. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 162)

a.- Hub.

El HUB o Concentrador (Figura 16) es el elemento de interconexión más simple dentro de los elementos de red. Trabaja a nivel de la Capa Física (copia los bits y los reenvía sin ningún tipo de modificación la información). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 163)

Es un dispositivo sin capacidad de gestión alguna y consiste en una serie de puntos de conexión (puertos, 8 ó 12 generalmente) donde se conectan los equipos de red siguiendo la topología de estrella. Los puertos de un HUB son bidireccionales y su función es la de reenvío de los paquetes de información que le llegan por un puerto cualquiera hacia el resto de puertos. Generalmente disponen de sistemas de negociación de velocidad en sus puertos, con lo que permite interconectar equipos que trabajen a diferentes velocidades (por ejemplo, 10 MB/s y 100 Mb/s). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 163).

En función del tratamiento que dan a la señal, se pueden dividir en dos tipos:

Activos.

- Amplifican y regeneran la señal recibida.
- Realizan la función de repetidor.
- Permiten conectar equipos a distancias de hasta 609 metros.

Pasivos:

- No realizan ningún tipo de modificación en la señal (son repartidores).
- Permiten conectar equipos a distancias de hasta 30 metros.

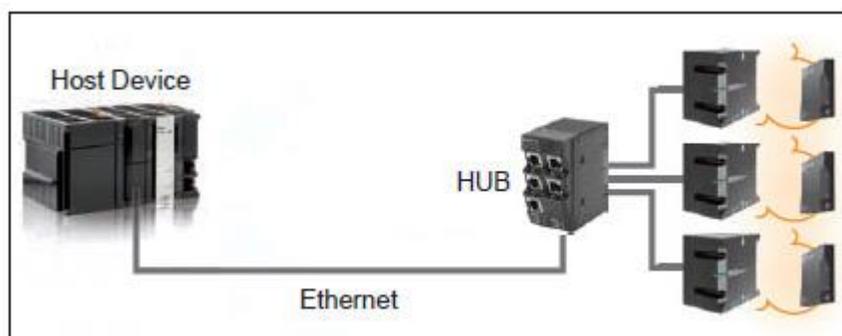


Figura 16 Red Ethernet con HUB.

Fuente: (Sierra, 2014).

b.- Bridge.

El Bridge, o puente (Figura 17), es un dispositivo que trabaja sobre la capa de enlace del modelo OSI y, por lo tanto, trabaja con las direcciones físicas de los equipos. Su función es la de interconectar varias redes y asegurar el paso de la información de un elemento de red hacia el de otra siempre que sea necesario. De esta manera se reduce el tráfico de red y aumenta la eficiencia de la misma. Cuando recibe un trama la transmite hacia la Capa de Enlace, donde se verifica la integridad y coherencia del mensaje (códigos de redundancia, direcciones). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 164)

Durante el proceso se analizan las direcciones físicas del equipo emisor y el destinatario (dirección MAC) y se almacena en una tabla en qué red se encuentra cada equipo. A continuación, la trama se reenvía hacia la dirección del destinatario a través de la capa física por el puerto de salida correspondiente a la red del destinatario (el Puente no hace nada si los dos equipos están en el mismo "lado"). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 165)

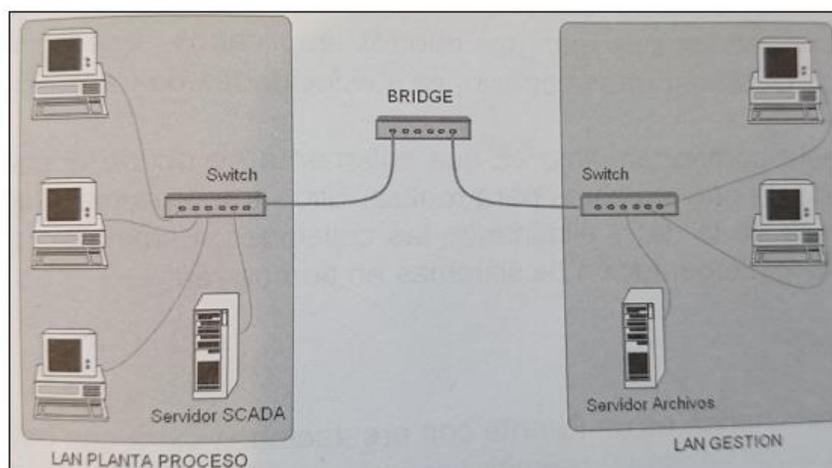


Figura 17 Bridge, conexión de subredes.

Fuente: (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 165)

c.- Switch.

El Switch o conmutador, es una evolución del HUB. Filtra y regenera los paquetes Ethernet para permitir alcanzar mayores distancias de transmisión y un mayor número de equipos conectados. Realmente es un puente con múltiples puertos. Analiza las tramas que le llegan y genera unas tablas de tráfico que le permiten dirigir cada trama únicamente al puerto de salida donde se encuentre el equipo destinatario (de aquí viene el nombre de conmutación de redes o conmutación de paquetes). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 165)

Cuando un Switch empieza a trabajar en una red, memoriza todas las direcciones MAC de los paquetes que recibe y las asocia el puerto de entrada, reenviando los paquetes por todos los puertos, como si de un HUB se tratase. En el momento en que todas las MAC están “localizadas” en los puertos correspondientes, cambia su comportamiento y activa su tabla de correspondencias, enviando ahora cada paquete únicamente por el puerto al cual está conectado el destinatario. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 166)

Además, el Switch dispone de una memoria interna, o buffer, que permite independizar las velocidades de emisión y recepción de cada equipo, pues la información solamente circula por los puertos implicados, quedando el resto de puertos libres para gestionar otras conexiones y velocidades de transmisión. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 166)

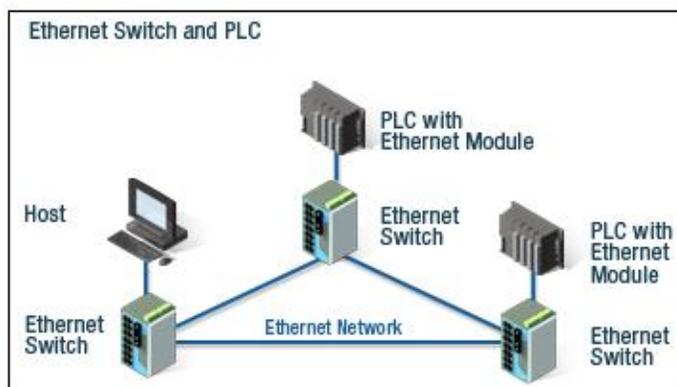


Figura 18 Switch en red Ethernet.

Fuente: (Fernández J. , 2014)

d.- Router.

El Router, o Encaminador (Figura 19), es un Puentes con prestaciones extra que trabaja a nivel de la Capa de Red almacenando y remitiendo paquetes. Se utilizan para interconectar redes diferentes (LAN y WAN habitualmente) y pueden determinar las rutas más eficientes que deberán seguir la información. Cuando llega un paquete a un Router, éste lee la dirección del destinatario y envía el paquete al siguiente nodo más próximo a la dirección de destino (por ejemplo, otro router que realizará el mismo proceso). Esto es posible debido a que el router guarda el equivalente a un mapa de carreteras que le permite determinar qué caminos puede seguir la información. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 166)



Figura 19 Router en Ethernet.

1.2.4.- OSI – TCP/IP.

Ethernet – IP, al igual que el resto de buses de campo, intenta simplificar el método de transmisión mediante el uso de los recursos mínimos suficientes para garantizar el funcionamiento del sistema. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 177).

En la Figura 20 se muestra el equivalente TCP/IP – OSI. El modelo de capas para TCP/IP se compone de cuatro niveles:

- Capa servicio de Aplicación: Asegura la funcionalidad de las capas de Aplicación, Presentación y Sesión.
- Capa Proveedor de acceso: Se corresponde con la Capa de Transporte ISO.
- Capa inter-red: Se corresponde con la Capa de Red OSI.
- Capa sub-red: Incluye las capas Enlace y Física del modelo OSI. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 177)

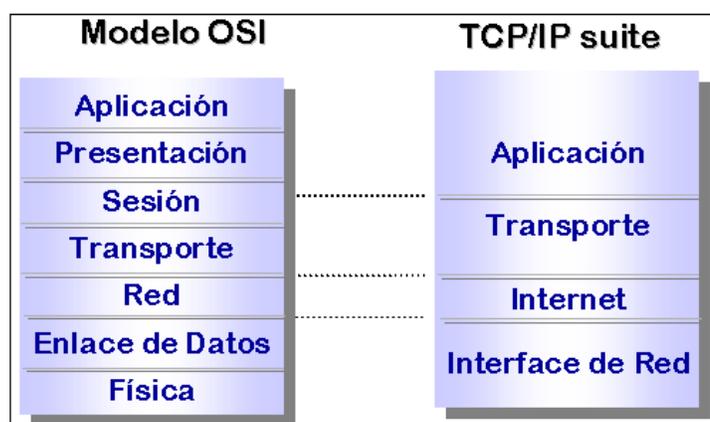


Figura 20 Equivalente TCP/IP – OSI.

Fuente: (Tanenbaum, 1997)

a.- TCP/IP.

Es un conjunto de protocolos desarrollados para hacer posible el intercambio de información entre controladores y centro de control (donde se hallarían los sistemas de supervisión), donde el intercambio de información no es crítico. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 181)

- IP (*Internet Protocol*) se ocupa del tráfico de datos entre nodos mediante la utilización de la “dirección IP”, formada por cuatro bytes.
- TCP (*Transmission Control Protocol*) monitoriza el estado de la información. Garantiza la correcta entrega en destino y las acciones a tomar ante fallos de transmisión.

b.- Direcciones en Ethernet.

Todos los dispositivos de una red tienen que poder identificarse de manera inequívoca. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 182). Para ello se pueden emplear dos tipos de dirección:

Dirección MAC (física).- Se trata de un número de identificación único de 6 bytes que identifica al fabricante de los equipos. Todos los elementos de red tendrán una dirección MAC, o dirección física, única. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 182). Su formato es del estilo:

08:00:20.09:E3:D8

Las direcciones IEEE 802.3, o Ethernet, están codificadas en grupos de 6 bytes (48 bit). La IEEE reserva unos espacios de dirección (los 3 primeros bytes) para distinguir a cada fabricante Ethernet, el resto de la dirección (los tres bytes restantes) servirán para identificar cada interface Ethernet de ese fabricante. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 182)

Dirección IP (lógica).- Se trata de un número de identificación de 4 bytes que sirve para identificar un equipo en una red local Ethernet, en Internet, o una intranet. Estas direcciones pueden cambiar. (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 182). Su formato es del estilo:

192.158.125.202

La otra posibilidad de distinguir una estación de otra dentro de una red es la del direccionamiento IP. Cada equipo en una red Ethernet tiene una dirección codificada en 4 bytes que permiten identificar las direcciones de red y de equipo según los protocolos IPv4 (direcciones de 32 bits). (Penin, Comunicaciones Industriales, Mayo 2008, pág. 183).

En la Figura 21 se muestra las clases de direccionamiento IP.

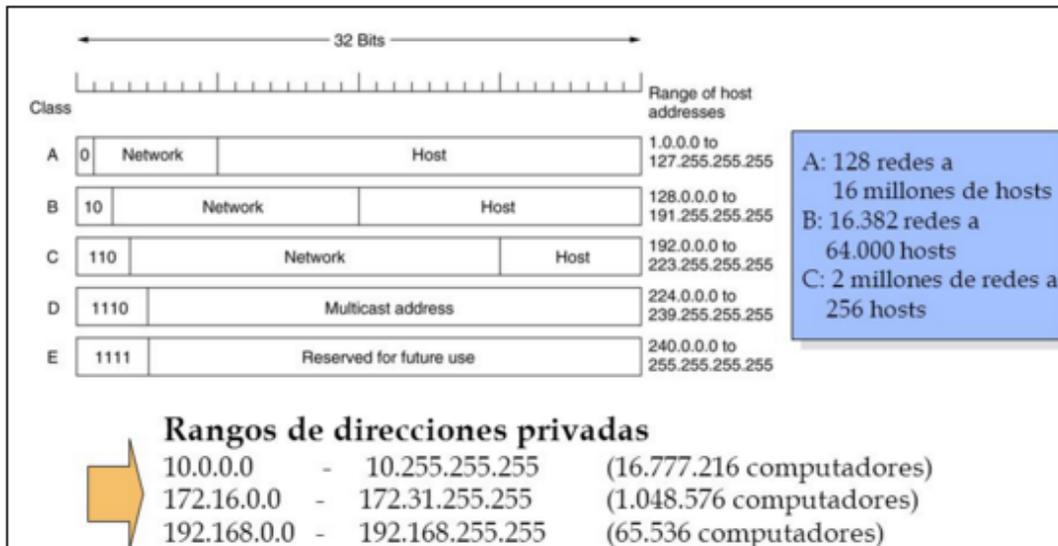


Figura 21.- Clases de direccionamiento IP.

Fuente: (Angelfire, 2014)

1.3.- REDES DE COMUNICACIÓN PROFINET

Basado en Industrial Ethernet, PROFINET permite la comunicación directa de equipos de campo con controladores, así como la solución de aplicaciones isócronas de control de movimiento. Además, PROFINET permite la automatización distribuida con ayuda de la tecnología de componentes. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012)

1.3.1.- INTRODUCCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE PROFINET.

En el contexto de Totally Integrated Automation (TIA), PROFINET es la evolución lógica del bus de campo Profibus DP y de Industrial Ethernet. La experiencia de ambos sistemas ha sido y está siendo integrada en PROFINET. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 299)

- PROFINET, como estándar de automatización, está basado en Ethernet.
- Profibus International (Profibus User Organisation) define así un modelo abierto de comunicación e ingeniería.

a.- Objetivos y Ventajas de PROFINET.

Los objetivos de PROFINET son:

- Ser un estándar abierto para la automatización basado en Industrial Ethernet.
- Que los componentes de Industrial Ethernet y Standard Ethernet puedan utilizarse conjuntamente, aunque los equipos de Industrial Ethernet sean más robustos y, por consiguiente, más apropiados para el entorno industrial (temperatura, seguridad de funcionamiento, etc.). (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 299)

- Usar estándares TCP/IP y de tecnologías de la información.
- Automatización con Ethernet en tiempo real.
- Integrar de forma directa sistemas con bus de campo.

PROFINET especifica las funciones para la realización de una solución total de automatización desde la instalación de la red hasta el diagnóstico basado en la web. Gracias a su estructura modular, PROFINET puede ampliarse fácilmente con funciones futuras. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 299)

De todo lo escrito anteriormente, podemos deducir las siguientes ventajas:

- Flexibilidad gracias al empleo de Ethernet y de los acreditados estándares IT.
- Ahorro de ingeniería y puesta en marcha gracias a la modularización.
- Protección de la inversión para equipos y aplicaciones Profibus.
- Más rápido que los actuales buses especiales en el ámbito de Motion Control.
- Amplio abanico de productos disponibles en el mercado.

b.- Arquitectura PROFINET.

La Profibus International ha tenido en cuenta principalmente los siguientes aspectos para la arquitectura de PROFINET: (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 299)

- Comunicación entre aparatos de campo como por ejemplo: los aparatos de la periferia y los accionamientos.
- Las arquitecturas Profibus existentes pueden integrarse dentro de PROFINET. De este modo, se protege la inversión para equipos Profibus y aplicaciones.

- Comunicación entre autómatas como componentes de sistemas distribuidos.
- La estructura modular técnica es una garantía de ahorro tanto en la ingeniería como en el mantenimiento.
- Técnica de instalación con conectores y componentes de red estandarizados. Así se aprovecha el potencial innovador de Ethernet y de los estándares de TI.

1.3.2.- PROFINET EN SIEMENS.

Han realizado los aspectos de la arquitectura PROFINET de la forma siguiente:

La comunicación entre los autómatas y los aparatos de campo se realiza con PROFINET IO. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 299)

- La comunicación entre autómatas como componentes de sistemas distribuidos se realiza mediante PROFINET CBA (Component Based Automation).
- La técnica de instalación y los componentes de red se comercializan con la marca SIMATIC NET.

Los dispositivos PROFINET de la familia de productos SIMATIC disponen de interfaces PROFINET con y sin switch integrado. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 300).

En la Tabla 3, vemos las especificaciones técnicas de la interfaz Profinet.

Tabla 3
Medio de Transmisión Profinet.

Propiedad Técnica de Física	Tipo de cable / Medio de transmisión Estándar.	Velocidad de transferencia / Servicio.	Long. Máx segmento.	Ventajas.
Eléctrica Conector RJ45 ISO / IEC 61754-24	100 BASE -TX. Cable de cobre de par trenzado 2x2, simétrico y apantallado e exigencia de transmisión CAT 5 IEC 61158.	100 Mbit/s /Dúplex	100 m	Conexión de cable simple y económica

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 300)

a.- Ventajas de Profinet.

La interfaz PROFINET con dos o más puertos permite configurar el sistema con una arquitectura en línea sin necesidad de switches externos adicionales. Todo dispositivo PROFINET puede ser identificado en la red de forma unívoca a través de su interfaz PROFINET. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 301). Para ello, cada interfaz PROFINET dispone de:

- Una dirección MAC (ajustada de fábrica).
- Una dirección IP.
- Un nombre (Name of Station).

b.- Integración de buses de campo en PROFINET.

PROFINET ofrece la posibilidad de integrar sistemas de bus de campo ya existentes (por ejemplo: Profibus, AS-i, etc.) en PROFINET a través de un Proxy. Ello permite configurar sistemas mixtos a partir de subsistemas basados en buses de campo y Ethernet. De este modo se consigue una transición continua de las tecnologías a PROFINET. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 301)

Gracias a las diferentes interfaces, podemos acoplar una red PROFINET con otra red. De este modo es posible integrar en PROFINET configuraciones de otras redes ya existentes. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 301).

Tipos de acoplamientos de redes:

- Acoplamiento de Profibus con PROFINET a través del IE/PB Link (Figura 22).
- Acoplamiento de Profibus DP con PROFINET a través de una red Industrial Wireless LAN a través de un LAN/PB-Link inalámbrico.
- Acoplamiento de AS-Interface y PROFINET a través de un IE/AS-i-Link PN IO.

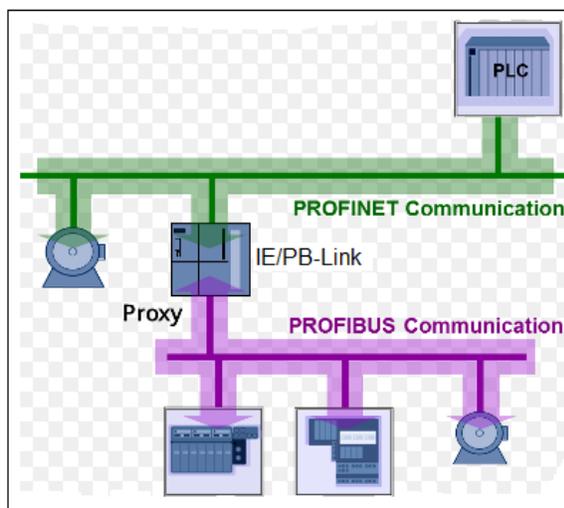


Figura 22 Enlace entre una red Profibus y una red PROFINET.

Fuente: (Gonzales, 2015)

1.3.3.- TIPOS DE PROFINET.

a.- Profinet IO.

Profinet IO se basa en 15 años de experiencia con Profibus DP y combina las propiedades de uso habituales en Profibus con la incorporación de innovadores

conceptos de la tecnología Ethernet. Con ello se garantiza la migración sin problemas de Profibus DP al entorno PROFINET. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 302)

PROFINET IO define un modelo abierto de comunicación, automatización e ingeniería.

Con PROFINET IO se aplica una tecnología de conmutación que permite a cualquier estación acceder a la red en todo momento. Así, la red permite un uso mucho más efectivo gracias a la transmisión de datos simultánea de varias estaciones. El modo dúplex del sistema Switched Ethernet permite transmitir y recibir simultáneamente. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 302). Se muestra en la Figura 23.

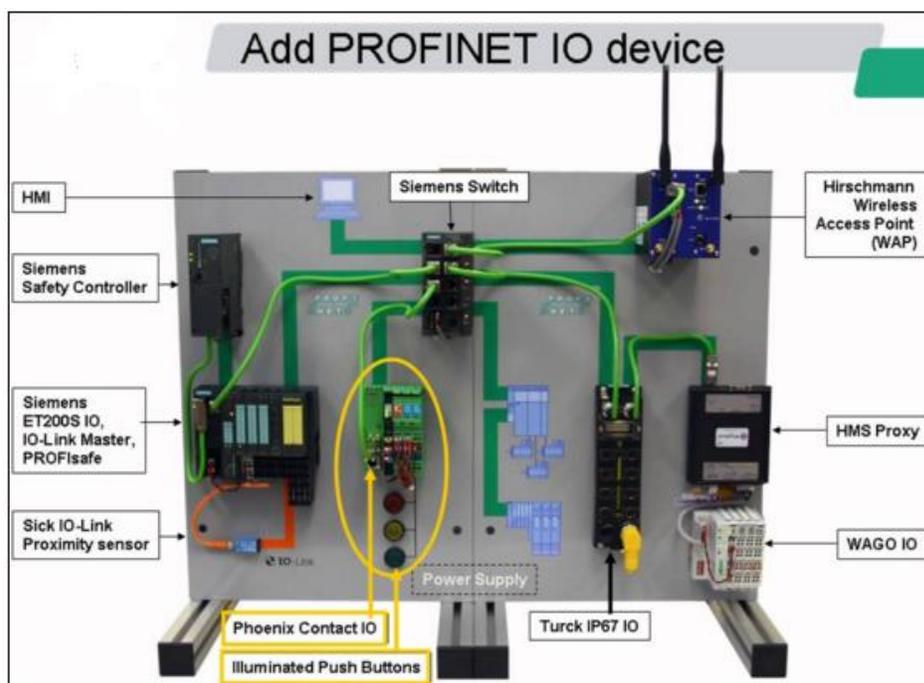


Figura 23 PROFINET IO.

Fuente: (Miranda, 2015)

PROFINET IO se basa en Switched Ethernet con modo dúplex y un ancho de banda de 100 Mbits/s. A la hora de desarrollar PROFINET IO, se ha puesto especial cuidado en proteger la inversión de los usuarios y los fabricantes de

dispositivos. La migración a PROFINET IO se desarrolla manteniendo el modelo de aplicación de Profibus. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 302)

Comparando con Profibus DP, la vista de los datos del proceso se conserva plenamente en cuanto a:

- Datos I/O (acceso a datos de periferia a través de direcciones lógicas).
- Registros (almacenamiento de parámetros y datos).
- Integración en un sistema de diagnóstico (notificación de eventos de diagnósticos, buffer de diagnóstico).

Eso significa que en el programa de usuario se utiliza la vista habitual para el acceso a los datos de proceso. Esto nos permite continuar utilizando todos los conocimientos de programación que ya tenemos. Lo mismo ocurre en perfiles de dispositivos, como PROFIsafe, PROFIdrive, etc., que también continúan disponibles en PROFINET IO. En el contexto de PROFINET, PROFINET IO es un concepto de comunicación para la realización de aplicaciones modulares descentralizadas. PROFINET IO nos permite crear soluciones de automatización como hasta ahora en Profibus. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 302).

PROFINET IO se implementa con el estándar PROFINET para sistemas de automatización.

Por otra parte, también es posible utilizar dispositivos IO que soportan una frecuencia de envío de 1ms en un controlador IO que funcione con una frecuencia de envío de 250us. El tiempo mínimo de actualización de los dispositivos IO en cuestión será entonces de, como mínimo, 1ms. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 303)

b.- Profinet CBA.

Dentro de PROFINET, PROFINET CBA (Component Based Automation) es un concepto de automatización con los siguientes puntos centrales: (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 303)

- Realización de aplicaciones modulares.
- Comunicación entre máquinas.

PROFINET CBA nos permite crear una solución de automatización distribuida basada en componentes y soluciones parciales preparadas. Este concepto responde a las exigencias de tener una mayor modulación en la ingeniería de máquinas e instalaciones mediante una máxima descentralización del procesamiento inteligente. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 303)

c.- Optimización PROFINET.

Para optimizar una red PROFINET y permitir unas buenas prestaciones, hay que seguir las siguientes directrices: (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 304)

- Hemos de colocar un router o un SCALANCES (switch de seguridad) entre la red de oficinas y el sistema PROFINET (Figura 24). A través del router puede definir exactamente quién puede acceder a su sistema PROFINET. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 304)
- Siempre que podamos, hemos de montar el sistema PROFINET con una topología en estrella.
- Reducir al máximo la profundidad en el encadenamiento de los switches. De este modo veremos más claro el sistema PROFINET.

- Hemos de conectar nuestro supervisor IO cerca del interlocutor (por ejemplo: PG e interlocutor conectados al mismo switch).

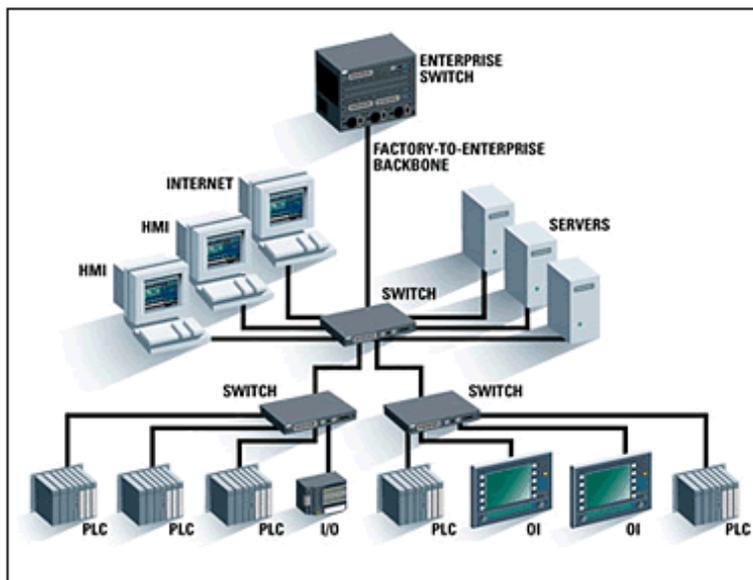


Figura 24.- Unión de una red de campo y una de oficinas.

Fuente: (Zapata, 2014)

d.- Switch en Profinet.

Los switches de sistemas PROFINET IO están disponibles en dos variantes constructivas: como switches externos con carcasa o como componentes de una CPU S7 o de un CP S7, o bien de un sistema de periferia descentralizada ET 200 como switch integrado (Figura 25). Si una estación debe ser conectada con varios interlocutores, dicha estación se conecta al puerto de un switch. A los demás puertos del switch se pueden conectar entonces otras estaciones u otros switches. La conexión entre una estación y el switch es una conexión punto a punto. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 305)

Un switch tiene la tarea de regenerar y distribuir las señales recibidas. El switch “aprende” la dirección Ethernet de un dispositivo PROFINET conectado o

de otros switches y transmite sólo las señales que van dirigidas al dispositivo PROFINET o al switch conectado. La conexión de las redes industriales con intranet e internet requiere soluciones para protegerla de peligros internos y externos. (Guerrero, Yuste, & Martínez, Noviembre 2012, pág. 305)

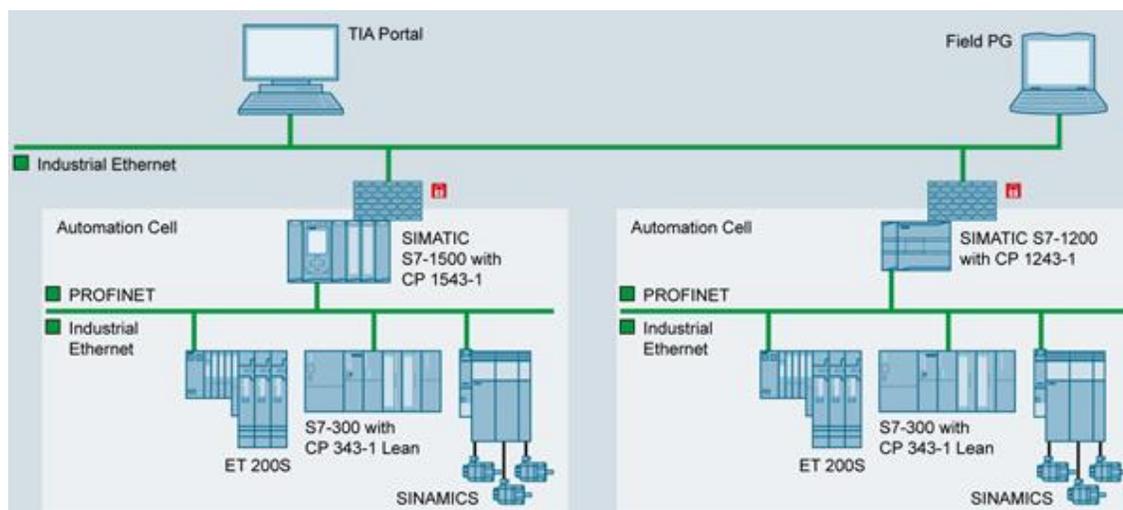


Figura 25 Comunicación segura en Profinet.

Fuente: (Gonzales, 2015)

1.4.- CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC).

Un Controlador Lógico Programable, también llamado PLC, es un aparato digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas, a saber: lógicas, secuencias, temporizados, conteos y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. (Perez, 2013)

La estructura básica de un PLC se puede ejemplificar con la siguiente Figura 26.

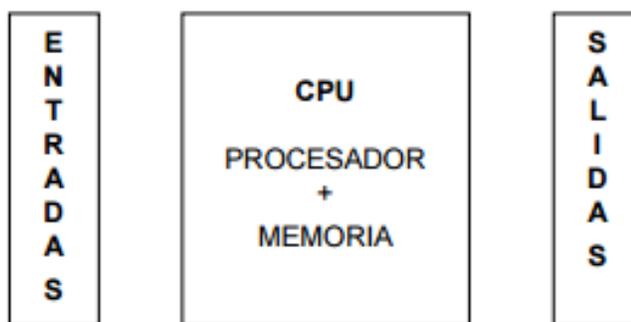


Figura 26 Estructura básica de un PLC.

Fuente: (Perez, 2013)

CPU: La CPU es el cerebro del PLC, es responsable de la ejecución del programa desarrollado por el usuario. Está formado por dos partes fundamentales: el o los procesadores y las memorias. También puede contener otros elementos como puertos de comunicaciones, circuitos de diagnóstico, fuentes de alimentación, etc. (Perez, 2013, pág. 205)

Procesador: Tiene como labor principal la de ejecutar el programa realizado por el usuario, pero además tiene otras tareas: la de administrar la comunicación y ejecutar los programas de auto diagnóstico. Para poder realizar todas estas tareas, el procesador necesita un programa escrito por el fabricante, llamado sistema operativo. Este programa no es accesible por el usuario, y se encuentra grabado en la memoria no volátil que forma parte de la CPU. Todas las tareas que realiza el procesador son ejecutadas en forma secuencial y cíclica mientras esté alimentado con tensión. A cada ciclo se lo denomina Barrido o Scan. El tiempo que demanda al PLC completar un ciclo se denomina “tiempo de barrido” o “Scan Time”. En general, los fabricantes brindan el tiempo de barrido para ejecutar 1024 (1K) instrucciones de lógica booleana. (Perez, 2013, pág. 208)

Memoria: El sistema operativo, el programa de aplicación, las tablas de entradas y salidas, los registros internos, están asociados a distintos tipos de

memoria. La capacidad de almacenamiento de una memoria suele cuantificarse en bits, bytes o words. El sistema operativo viene grabado por el fabricante, y como debe permanecer inalterado y el usuario no debe tener acceso a él, se guarda en una memoria como las ROM, EPROM o EEPROM, que son memorias cuyo contenido permanece inalterable en ausencia de alimentación. El programa construido por el usuario debe permanecer estable durante el funcionamiento del equipo, y además debe ser fácil de leer, escribir o borrar. Por eso, es que se usa para su almacenamiento memorias tipo RAM o EEPROM. (Perez, 2013, pág. 210)

Entradas y salidas: Las entradas y salidas son los elementos del PLC que lo vinculan al campo. En el caso de las entradas, deben ser adecuadas a las tensiones y corrientes que maneja el procesador para que éste las pueda reconocer. Y en el caso de las salidas, las señales del procesador deben ser modificadas para actuar sobre algún dispositivo del campo. (Perez, 2013, pág. 212)

A continuación, se expone una clasificación de las entradas y salidas:

- **Discretas:** También llamadas binarias, lógicas, digitales u on-off. Son las que pueden tomar solamente dos estados.
- **Analógicas:** Pueden tomar una cantidad de valores intermedios dentro de un rango. Por ejemplo: de 4 a 20 mA, 0 a 5Vcc o 0 a 10 Vcc.
- **Especiales:** Son variantes de las analógicas como ser las entradas de pulsos de alta velocidad, termocuplas, RTD, etc.

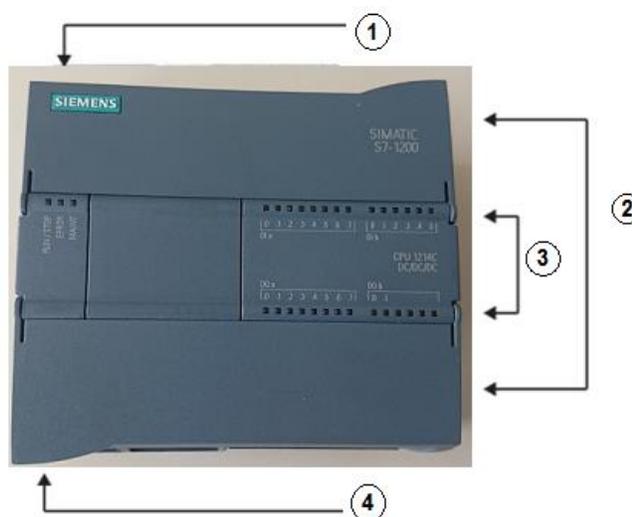
1.4.1.- PLC S7-1200

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas

de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC. Una vez cargado el programa en la CPU, ésta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

La Figura 27 muestra los componentes principales de un PLC S7-1200.



Número	DESCRIPCIÓN
1	Conector de Alimentación
2	Conectores para el cableado de usuario / Ranura para Memory Card
3	LEDs de estado para las E/S integradas
4	Conector PROFINET (en el lado inferior de la CPU).

Figura 27.- Componentes del PLC S7-1200.

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

Numerosas funciones de seguridad protegen el acceso tanto a la CPU como al programa de control:

- Toda CPU ofrece protección por contraseña que permite configurar el acceso a sus funciones.
- Es posible utilizar la "protección de know-how" para ocultar el código de un bloque específico.

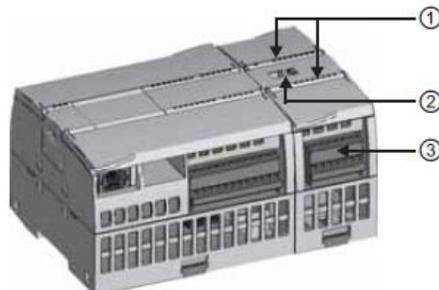
La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Los módulos de comunicación están disponibles para la comunicación en redes RS485 o RS232. Los diferentes modelos de CPUs ofrecen una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones. La gama S7-1200 ofrece una gran variedad de módulos de señales y Signal Boards que permiten ampliar las prestaciones de la CPU (Tabla 4). También es posible instalar módulos de comunicación adicionales para soportar otros protocolos de comunicación. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

Tabla 4
Módulos de señales y Signal Boards.

Módulo		Sólo entradas	Sólo salidas	Entradas y salidas
Módulo de señales (SM)	Digital	8 entradas DC	8 salidas DC	8 entradas DC/8 salidas DC
			8 salidas de relé	8 entradas DC/8 salidas de relé
		16 entradas DC	16 salidas DC	16 entradas DC/16 salidas DC
			16 salidas de relé	16 entradas DC/16 salidas de relé
	Analógico	4 entradas analógicas	2 salidas analógicas	4 entradas analógicas/2 salidas analógicas
		8 entradas analógicas	4 salidas analógicas	
Signal Board (SB)	Digital	-	-	2 entradas DC/2 salidas DC
	Analógico	-	1 salida analógica	-
Módulo de comunicación (CM)				
• RS485				
• RS232				

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 13)

Módulos de Señales.- Los módulos de señales (Figura 28) se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)



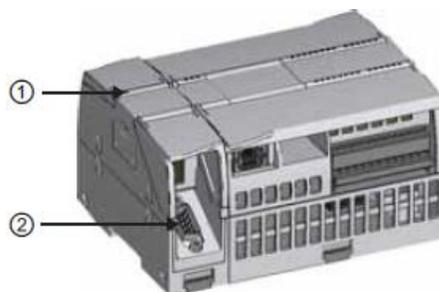
NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	LEDs de estado para las E/S del módulo de señales
2	Conector de bus.
3	Conector extraíble para el cableado de usuario.

Figura 28 Módulo de Señales.

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 13)

Módulos de Comunicación.- La gama S7-1200 provee módulos de comunicación (CMs) que ofrecen funciones adicionales para el sistema (Figura 29). Hay dos módulos de comunicación, a saber: RS232 y RS485. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 14)

- La CPU soporta como máximo 3 módulos de comunicación.
- Todo CM se conecta en lado izquierdo de la CPU (o en lado izquierdo de otro CM)



NÚMERO	DESCRIPCIÓN
1	LEDs de estado del módulo de comunicación
2	Conector de comunicación

Figura 29 Módulo de Comunicación.

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 14)

a.- Estados Operativos de la CPU

La CPU tiene tres estados operativos, a saber: STOP, ARRANQUE y RUN. Los LEDs de estado en el frente de la CPU indican el estado operativo actual. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 44)

- En estado operativo STOP, la CPU no ejecuta el programa. Entonces es posible cargar un proyecto en la CPU.
- En estado operativo ARRANQUE, los OBs de arranque (si existen) se ejecutan una vez. Los eventos de alarma no se procesan durante la fase de arranque del estado operativo RUN.
- El ciclo se ejecuta repetidamente en estado operativo RUN. Los eventos de alarma pueden ocurrir y procesarse en cualquier fase del ciclo del programa.

En estado operativo RUN no es posible cargar proyectos en la CPU.

La CPU soporta el arranque en caliente para pasar al estado operativo RUN.

El arranque en caliente no incluye la inicialización de la memoria. Los datos de sistema no remanentes y los datos de usuario se inicializan en un arranque en caliente. Se conservan los datos de usuario remanentes. El borrado total borra toda la memoria de trabajo, así como las áreas de memoria remanentes y no remanentes. Además, copia la memoria de carga en la memoria de trabajo. El borrado total no borra el búfer de diagnóstico ni tampoco los valores almacenados

permanentemente de la dirección IP. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 44)

b.- Memoria de la CPU

La CPU provee las áreas de memoria siguientes para almacenar el programa de usuario, los datos y la configuración:

- La memoria de carga permite almacenar de forma no volátil el programa de usuario, los datos y la configuración. Cuando un proyecto se carga en la CPU, se almacena primero en el área de memoria de carga. Esta área se encuentra bien sea en una Memory Card (si está disponible) o en la CPU. Esta área de memoria no volátil se conserva incluso tras una pérdida de potencia. La Memory Card ofrece mayor espacio de almacenamiento que el integrado en la CPU. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)
- La memoria de trabajo ofrece almacenamiento volátil para algunos elementos del proyecto mientras se ejecuta el programa de usuario. La CPU copia algunos elementos del proyecto desde la memoria de carga en la memoria de trabajo. Esta área volátil se pierde si se desconecta la alimentación. La CPU la restablece al retornar la alimentación. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)
- La memoria remanente permite almacenar de forma no volátil un número limitado de valores de la memoria de trabajo. El área de memoria remanente se utiliza para almacenar los valores de algunas posiciones de memoria durante una pérdida de potencia. Si ocurre un corte de alimentación, la CPU dispone de suficiente tiempo de retención para respaldar los valores de un número limitado de posiciones de memoria definidas. Estos valores remanentes se restablecen al retornar la alimentación. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

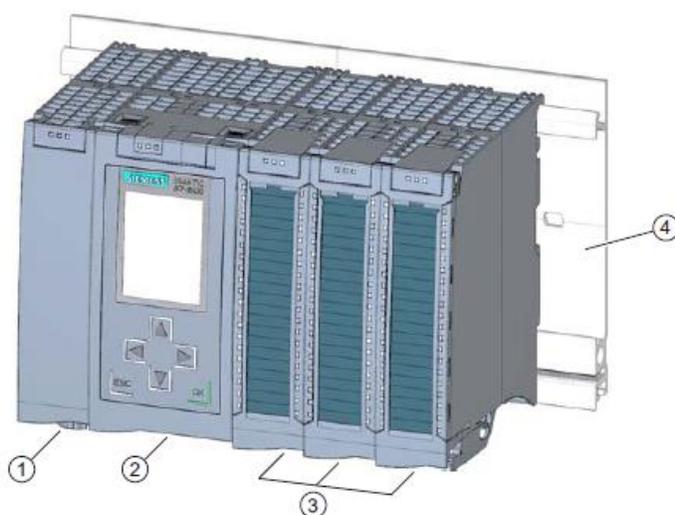
1.4.2.- PLC S7-1500

El SIMATIC S7-1500 es el perfeccionamiento de los sistemas de automatización SIMATIC S7-300, S7-400 y S7-1200. Mediante la integración de numerosas características de rendimiento, el sistema de automatización S7-1500 ofrece al usuario una excelente manejabilidad y el máximo rendimiento. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 15). Las nuevas características de rendimiento son:

- Mayor rendimiento del sistema.
- Funcionalidad Motion Control integrada.
- PROFINET IO IRT.
- Pantalla integrada para el manejo y diagnóstico a pie de máquina.
- Innovaciones de lenguaje STEP 7 manteniendo las funciones probadas

El sistema de automatización S7-1500 ofrece la flexibilidad y el rendimiento necesarios para el elevado ancho de banda de aplicaciones de control de la construcción de instalaciones y máquinas. La estructura escalable permite adaptar el controlador a las exigencias a pie de proceso. El sistema de automatización S7-1500 está homologado para el tipo de protección IP20 y para el montaje en un armario eléctrico. El sistema de automatización S7-1500 se monta en un perfil de soporte y puede estar compuesto de un máximo de 32 módulos. Los módulos se conectan entre sí mediante conectores U. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

La Figura 30 ilustra un ejemplo de configuración de un sistema de automatización S7-1500.



Número	DESCRIPCIÓN
1	Módulo de alimentación del sistema
2	CPU
3	Módulos de Periferia
4	Perfil soporte con perfil DIN integrado

Figura 30 Sistema de Automatización S7-1500.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

Perfil de soporte.- El perfil soporte (Figura 31) es el porta módulos del sistema de automatización S7-1500. Los componentes conformes con la norma EN 60715 (módulos de la gama S7-1200 y ET 200SP, bornes, fusibles automáticos, pequeños contactores y componentes similares) pueden montarse directamente en el perfil DIN estándar integrado que hay en la parte inferior del perfil soporte. Durante el montaje puede utilizar toda la longitud del perfil soporte. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)



Figura 31 Perfil de soporte.

CPU.-La CPU (Figura 32) ejecuta el programa de usuario y, con la fuente de alimentación del sistema integrada, alimenta la electrónica de los módulos agregados a través del bus de fondo. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013). Otras características y funciones de la CPU:

- Comunicación Ethernet.
- Comunicación vía PROFIBUS/PROFINET.
- Comunicación HMI.
- Servidor web integrado.
- Tecnología integrada.
- Diagnóstico de sistema integrado.
- Seguridad integrada



Figura 32 CPU PLC S7-1500.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

Módulo de periferia.- Los módulos de periferia (Figura 33) constituyen la interfaz entre el controlador y el proceso. A través de los sensores y actuadores conectados, el controlador detecta el estado actual del proceso y dispara las reacciones correspondientes. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013). Los módulos de periferia se clasifican en los siguientes tipos:

- Entrada digital (DI).
- Salida digital (DQ).
- Entrada analógica (AI).
- Salida analógica (AQ).
- Módulo tecnológico (TM).
- Módulo de comunicaciones (CM).
- Procesador de comunicaciones (CP).

El volumen de suministro de todos los módulos de periferia es un conector U.



Figura 33.- Módulos de periferia.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 19)

Conector U.- El conector U (Figura 34) sirve para conectar los módulos del sistema de automatización S7-1500. El conector U establece la conexión mecánica y eléctrica entre los módulos. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)



Figura 34 Conector U.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 19)

Fuente de alimentación.- Una fuente de alimentación de carga (Figura 35) se encarga de la alimentación del sistema de automatización S7-1500 a través de un conector frontal de la CPU. Para el uso de fuentes de alimentación de carga recomendamos los dispositivos de la serie SIMATIC. Estos dispositivos se pueden montar en el perfil soporte. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013). Las fuentes de alimentación de carga están disponibles en distintas variantes:

- PM 70W 120/230V AC
- PM 190W 120/230V AC



Figura 35 Fuente de alimentación PLC S7-1500

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 19)

En las Tablas siguientes se recogen las características del PLC S7-1500.

Tabla 5

Características de Configuración PLC S7-1500

Características de la configuración	Significado
Configuración escalable	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro de espacio gracias a la libre disposición de los módulos • Montaje a lo largo de todo el perfil soporte (posibilidad de montaje sin márgenes)
Amplio abanico de módulos	<ul style="list-style-type: none"> • Campo de aplicación flexible y universal
Configuración con conectores U	<ul style="list-style-type: none"> • Conexión rápida y sencilla de los módulos
Realización de segmentos de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Sencilla ampliación del sistema mediante la conexión de fuentes de alimentación del sistema adicionales

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 20)

Tabla 6
Características de Conexión PLC S7-1500.

Características del sistema de conexión	Significado
Conector frontal giratorio	Sustitución más rápida del módulo en caso mantenimiento (el canal para cables permanece cerrado)
Posición de precableado	Mejora del uso, ya que el cableado del módulo es fácilmente accesible Cambio de un módulo sin necesidad de aflojar el cableado El módulo no puede sufrir daños eléctricos porque todavía no está conectado eléctricamente
Formación de grupos de potencial mediante inserción de puentes	Menos trabajo de cableado en el conector frontal
Sistema CEM integrado (elemento de alimentación, abrazadera de pantalla y clip pantalla)	Reducción de la emisión de perturbaciones optimización de la inmunidad a perturbaciones
Idéntico conector frontal de 40 polos para los módulos con un ancho constructivo	Pedido simplificado
Dos posiciones de enclavamiento para la frontal	Más espacio para cables
Codificación automática de los módulos de periferia/conectores frontales	Mayor seguridad en el cambio de módulo
Amplia superficie para etiquetado	Espacio suficiente para una identificación clara y una inscripción específica p. ej. direcciones simbólicas

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 21)

Configuración de hardware.- La estructura de un sistema de automatización S7-1500 consiste en una configuración en una fila (Figura 36), con todos los módulos montados en un perfil soporte. Los módulos se conectan entre sí mediante un conector U, formando así un bus de fondo autoinstalable. Un sistema de automatización S7-1500 se compone de un máximo de 32 módulos que ocupan los slots 0 a 31. El sistema de automatización S7-1500 admite una

configuración en una fila, con todos los módulos montados en un perfil soporte. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

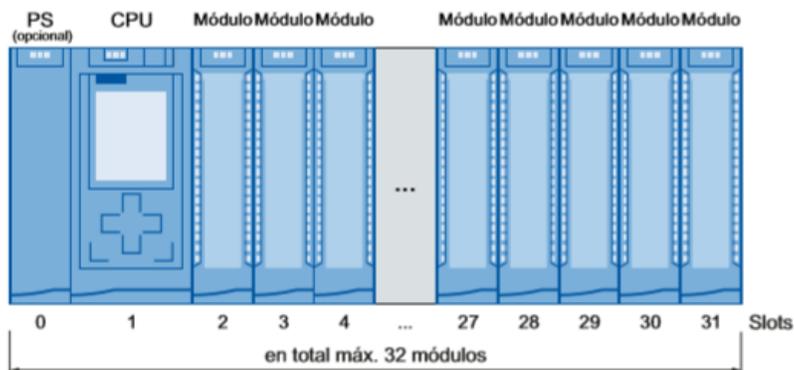


Figura 36 Configuración del Hardware PLC S7-1500.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 33)

1.4.3.- PANELES DE OPERADOR (HMI).

La visualización de procesos cada vez más se ha convertido en un componente estándar de máquinas o sistemas de automatización, por lo que se ha recurrido a elementos adicionales para la visualización, que sirve para el control y supervisión de los procesos. Para aplicaciones sencillas bastará el uso de paneles de operador con funciones básicas. (Industry S. , Simatic HMI, 2012)

Los SIMATIC HMI Comfort Panels (Figura 37) son una línea de productos totalmente nueva desarrollada a partir de paneles táctiles y paneles con teclado. La línea de productos engloba las siguientes variantes: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 13)

- Cinco Key Panels (manejo con teclado) con pantallas de 4", 7", 9", 12" y 15".

- Seis Touch Panels (manejo con pantalla táctil) con pantallas de 7", 9", 12", 15", 19" y 22".
- Un Key&Touch Panel (manejo con teclado y pantalla táctil) con pantalla de 4".

Todos los dispositivos disponen de las mismas funciones y se configuran exclusivamente con el innovador software HMI WinCC. El software está integrado en el Engineering Framework "Totally Integrated Automation Portal". (Industry S. , Simatic HMI, 2012)



Figura 37 SIMATIC HMI Comfort Panels.

Fuente: (Holman, 2014)

Manejo de paneles táctiles.- La mayoría de paneles de operador HMI Basic están equipados con una pantalla táctil y teclas de funciones para el manejo y control del panel o del proyecto que se ejecute. Algunos de los proyectos requieren amplios conocimientos, por lo que los paneles deben ser manejados por personal técnico especializado. Como medida de seguridad el manejo del panel HMI únicamente debe ser con el dedo o un lápiz táctil, puesto que el uso de objetos puntiagudos o afilados puede dañar la superficie de plástico del panel. (Industry S. , Simatic HMI, 2012).

Configuración.- Durante la configuración se crean interfaces de usuario para manejar y observar el proceso operador en un PC de configuración con WinCC. (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 22). La configuración abarca:

- Crear datos de proyecto.
- Guardar datos de proyecto.
- Probar datos de proyecto.
- Simular datos del proyecto.

Tras compilar la configuración se carga el proyecto en el panel de operador (Figura 38).

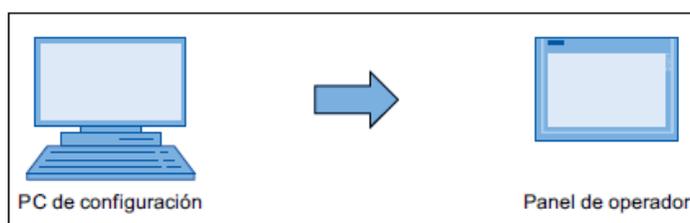


Figura 38 Carga proyecto en el panel Operador.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 22)

Conducción del proceso.- La conducción del proceso se caracteriza por la comunicación recíproca entre el panel de operador y el autómeta (Figura 39).

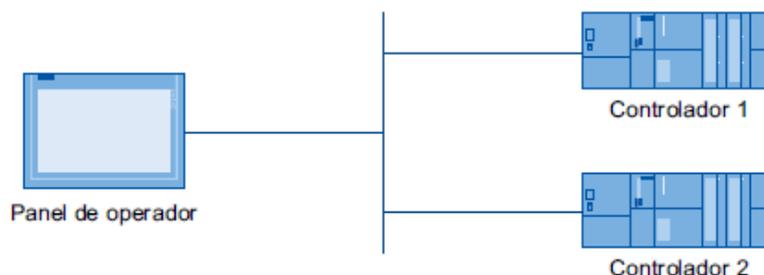


Figura 39 Conducción del proceso.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 22)

Desde el panel operador se maneja y observa el proceso.

1.5.- TIA PORTAL

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que le permitirá aumentar la productividad y la eficiencia del proceso (Figura 1-40). Dentro del TIA Portal, los productos TIA interactúan entre sí, ofreciéndole soporte en todas las áreas implicadas en la creación de una solución de automatización. (Industry S. , 2012, pág. 9)

Una solución de automatización típica abarca lo siguiente:

- Un controlador que controla el proceso con la ayuda del programa.
- Un panel de operador con el que se maneja y visualiza el proceso.

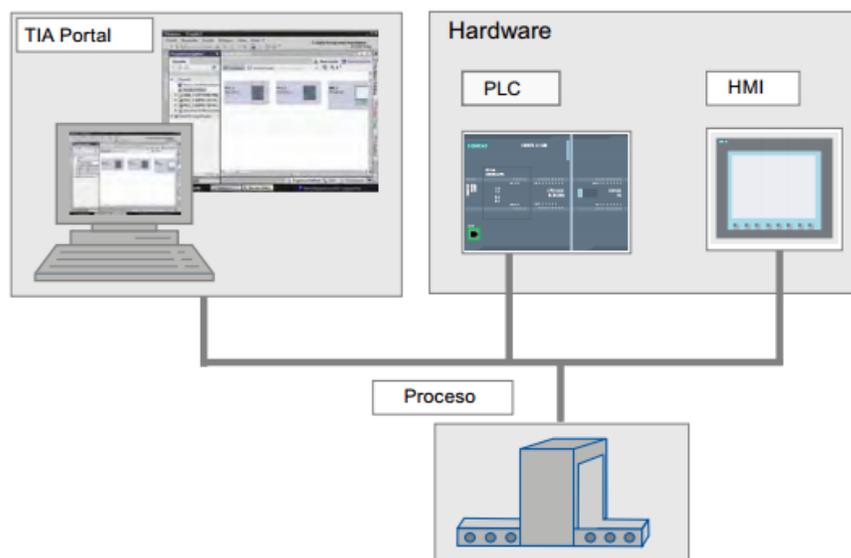


Figura 40 Proceso de automatización con TIA PORTAL.

Fuente: (Industry S. , 2012, pág. 9)

El TIA Portal le ayuda a crear una solución de automatización. (Industry S. , 2012). Los principales pasos de configuración son:

- Creación del proyecto.
- Configuración del hardware.
- Conexión en red de los dispositivos.
- Programación del controlador.
- Configuración de la visualización.
- Carga de los datos de configuración.
- Uso de las funciones Online y diagnóstico

El TIA Portal ofrece las siguientes ventajas:

- Gestión conjunta de los datos.
- Manejo unitario de los programas, los datos de configuración y los datos de visualización.
- Fácil edición mediante Drag & Drop.
- Comodidad de carga de los datos en los dispositivos.
- Manejo unitario.
- Configuración y diagnóstico asistidos por gráficos

Con el TIA Portal se configuran tanto el control como la visualización en un sistema de ingeniería unitario (Figura 41).

Todos los datos se guardan en un proyecto. Para todas las tareas se utiliza una interfaz de usuario común desde la que se accede en todo momento a todas las funciones de programación y visualización. (Industry S. , 2012, pág. 10)

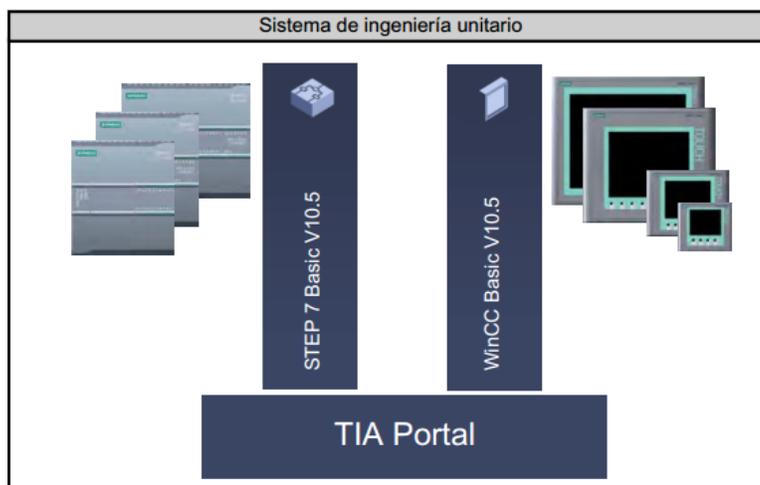


Figura 41 Sistema de ingeniería unitario TIA PORTAL.

Fuente: (Industry S. , 2012, pág. 10)

1.5.1.- GESTIÓN DE DATOS.

Gestión de datos Centralizada: Todos los datos se guardan en un proyecto del TIA Portal. Los cambios en los datos de aplicación, como por ejemplo las variables, se actualizan automáticamente en todo el proyecto, abarcando incluso varios dispositivos. (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 11)

Direccionamiento Simbólico Global: Si se utiliza una variable de proceso en varios bloques de distintos controladores y en imágenes HMI, dicha variable puede crearse o modificarse desde cualquier punto del programa. No importan ni el bloque ni el dispositivo en el que se realice la modificación. El TIA Portal ofrece las posibilidades siguientes para definir variables PLC: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 11).

En la Figura 42 se muestra un direccionamiento simbólico global.

- Definición en la tabla de variables PLC.

- Definición en el editor de programas.
- Definición mediante conexión con las entradas y salidas del controlador.

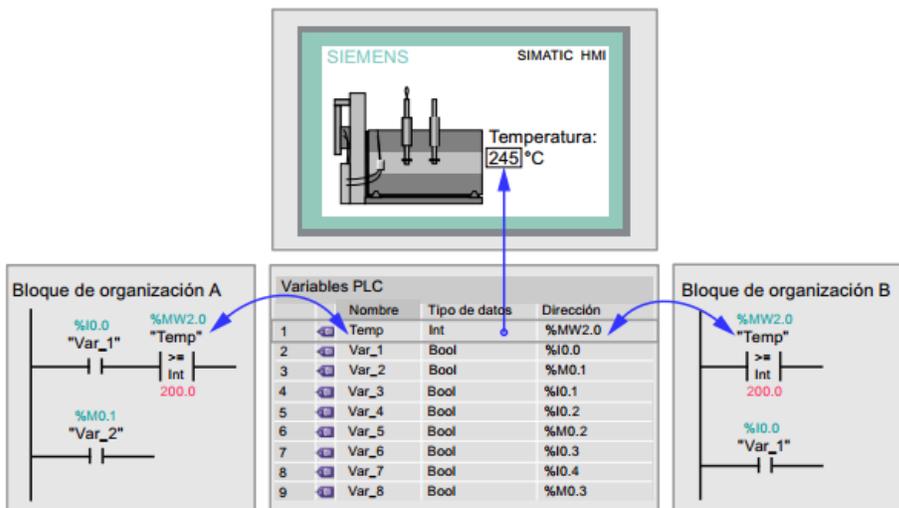


Figura 42 Direccionamiento Simbólico global.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 11)

Todas las variables PLC definidas aparecen en la tabla de variables PLC, donde se pueden editar. Las modificaciones se realizan de forma centralizada y se actualizan continuamente. Gracias a la gestión de datos coherente, ya no es necesario que los diferentes participantes de un proyecto se sincronicen, por ejemplo el programador y el diseñador HMI. (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 11)

CAPÍTULO II

2.- DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN.

El diseño, cálculo y la selección, tanto para el sistema mecánico del módulo como para el sistema de red Profinet a implementar se realizan mediante la aplicación de los conceptos teóricos analizados en el capítulo anterior.

2.1.- DISEÑO MECÁNICO DEL MÓDULO DE RED PROFINET

El sistema mecánico del módulo de red PROFINET a diseñar consta:

- De la construcción de una estructura para la implementación un tablero FESTO adquirido en el mercado local.
- La construcción de un tablero eléctrico adecuado para la red PROFINET, esta red se diseña con Controladores Lógicos Programables PLCs Siemens y una pantalla HMI.
- La estructura debe proveer el adecuado soporte para el sistema hidráulico a implementar.

El módulo de red industrial PROFINET estará ubicado en el laboratorio de hidráulica y neumática lo cual permite fortalecer las competencias de los estudiantes sobre redes industriales, permitirá contar con módulos didácticos modernos acorde a las exigencias tecnológicas actuales, y realizar prácticas de control proporcional hidráulico considerando procesos complejos cercanos a la realidad industrial.

2.1.1.- DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL MÓDULO

La estructura del módulo de red PROFINET es el elemento mecánico principal de dicho módulo en el cual se aloja el tablero Festo, el tablero eléctrico y los elementos hidráulicos requeridos. Esta estructura se diseña de acuerdo al módulo FESTO TP 702 existente en el laboratorio de hidrónica y neutrónica.

a.- Parámetros de Diseño.

Los parámetros de diseño de la estructura están tomados en base al tablero FESTO adquirido en el mercado local para la implementación del módulo.

Placa perfilada de aluminio 700 x 700.- La placa perfilada en aluminio forma la base de todos los equipos de formación de módulos Festo Didactic. Todos los componentes se fijan de forma segura en las ranuras de la placa perfilada. Hay ranuras en cada lado y, si es necesario, pueden montarse componentes en ambos lados. Las ranuras son compatibles con el sistema de perfiles y equipos Festo. Las placas se suministran con tapas para los laterales.

Dimensiones: (Didactic, 2016)

- **Alto:** 32 mm.
- **Retícula (de ranura a ranura):** 50 mm.
- **Ancho:** 700 mm.
- **Largo:** 700 mm

Se recomienda el uso de pies de goma adecuados para el montaje encima de mesas o de tableros.

En la Figura 43 se muestra la placa perfilada de aluminio 700 mm x 700 mm tomada como base para el diseño de la estructura del módulo de red Profinet.

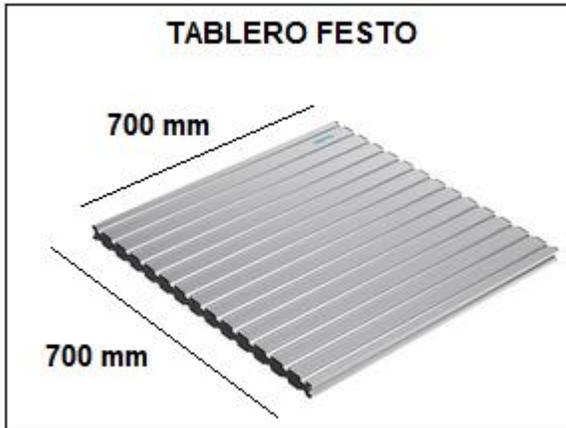


Figura 43 Placa perfilada de aluminio FESTO.

Fuente: (Didactic, 2016)

Diseño.- Con base en las dimensiones de la placa perfilada de aluminio FESTO se diseña la estructura del módulo (Figura 45). En el Anexo B-1 se muestra las dimensiones de la estructura.

Cálculo del peso a soportar por la estructura.- La estructura debe soportar el peso del tablero Festo, el tablero eléctrico con los PLCs y los elementos hidráulicos

- Peso del Tablero Festo W_1 : 3 Kgf. Peso obtenido de los datos de fabricante.

$$W_1 = 3Kgf * \frac{9.8Newton}{1Kgf}$$

$$W_1 = 29,4Newton$$

- Peso estimado del tablero eléctrico a construir W_2 : 2 Kgf.

$$W_2 = 2Kgf * \frac{9.8Newton}{1Kgf}$$

$$W_2 = 19,6Newton$$

Peso estimado de los PLCs a implementar W3: 2.5 Kgf. Dato obtenido de los datos de los fabricantes (Anexo A).

$$W_3 = 2,5Kgf * \frac{9.8Newton}{1Kgf}$$

$$W_3 = 24,5Newton$$

Peso de los elementos hidráulicos W4: 3.5 Kgf. Dato de peso obtenido por medición utilizando un dinamómetro.

$$W_4 = 3.5Kgf * \frac{9.8Newton}{1Kgf}$$

$$W_4 = 34,3Newton$$

Cálculo del peso total W_T que la estructura del módulo debe soportar.

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

$$W_T = 29,4N + 19,6N + 24,5N + 34,3N$$

$$W_T = 107,8Newton$$

Dimensión de la estructura a diseñar.- La dimensión de la estructura depende de las dimensiones del tablero FESTO a implementar.

Por fines constructivos (sujeción del tablero Festo) se adicionan 200 mm en el largo del diseño de la estructura.

- **Ancho:** 700 mm

- **Largo:** 700 mm + 200 mm = 900 mm

Dimensiones de la estructura a diseñar = 900mm * 700mm

Cálculo del área de la mesa A :

$$A = 900mm * 700mm = 630,000mm^2$$

b.- Cálculo del esfuerzo.

La fuerza aplicada por los elementos a la estructura se la considera como una carga Estática.

$$F = 107,8Newton$$

$$A = 630.000mm^2$$

Considerando un material dúctil y una carga estática; se establece un Factor de diseño (seguridad) $N = 2$.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_d = \frac{S_y}{2}$$

Entonces S_y requerida es: $S_y = 2\sigma_d$

Donde:

- S_y = Resistencia a la cedencia de un material.

- σ_d = Esfuerzo de diseño máximo.

Se calcula el esfuerzo aplicado a la sección de la estructura, utilizando la ecuación básica de esfuerzo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{107,8 \text{ Newton}}{630,000 \text{ mm}^2} = 1.71 * 10^{-4} \text{ MPa}$$

Resistencia máxima requerida en el material:

$$S_y = 2\sigma = 2(1.71 * 10^{-4} \text{ MPa})$$

$$S_y = 3,42 * 10^{-4} \text{ MPa}$$

La resistencia máxima requerida en el material a implementar en la construcción de la estructura del módulo, debe satisfacer la resistencia de $S_y = 3.42 * 10^{-4} \text{ MPa}$, calculada.

c.- Selección del material.

Requerimientos:

- Acero de buenas propiedades anticorrosivas.
- Resistencia máxima requerida: $S_y = 3,42 * 10^{-4} \text{ MPa}$
- Buenas propiedades de soldabilidad.
- De fácil adquisición en el mercado local.
- Costo moderado.

El material que cumple los requerimientos establecido es el acero ASTM 500/A 500M grado A. Las propiedades mecánicas del acero ASTM 500/A 500M grado A se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Propiedades mecánicas acero ASTM 500/A 500M.

NORMA TECNICA	Límite de Fluencia			Resistencia a la Tracción			Elongación
	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Kg/mm ²	ksi	Mpa	Probeta 2"
ASTM A 500/A 500M grado A	27 min	39 min	269 min	31 min	45 min	310 min	25 % min
ASTM A 500/A 500M grado B	32 min	46 min	317 min	40 min	58 min	400 min	23 % min

Fuente: (Fiorela, 2015)

- Límite de fluencia: $27 \frac{kg}{mm^2}$

d.- Cálculo del esfuerzo máximo.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \sigma_d = \frac{S_y}{2}$$

$$S_y = 27 \frac{kg}{mm^2} * \frac{9.8N}{kg} = 264,6MPa$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2} = \frac{264,6MPa}{2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 132,3MPa$$

e.- Cálculo de los soportes de la Estructura.

Datos:

- $F = 107,8Newton$, de carga estática, esta fuerza se divide para los cuatro soportes de la mesa: $F = \frac{107,8N}{4} = 26,95N$
- $\sigma_{m\acute{a}x} = 132,3MPa$ Esfuerzo de diseño máximo.

Se calcula el área requerida en los soportes de la estructura, utilizando la ecuación básica de esfuerzo.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}} = \frac{26,95N}{132,3 \frac{N}{mm^2}} = 203,70mm^2$$

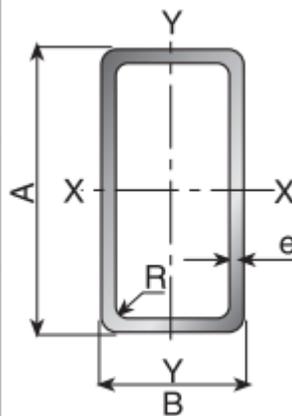
$$A = 203,70mm^2 * \frac{pulg^2}{(25.4mm)^2}$$

$$A = 8pulg^2 = 2.037cm^2$$

Por medio del cálculo del área, se realiza la selección de un tubo rectangular de acuerdo a la Tabla 8 donde se muestra dimensiones de tubos rectangulares.

Tabla 8
Dimensiones de Tubos rectangulares

Dimensiones nominales			Peso teórico	Area A	Eje X-X			Eje Y-Y		
A	B	e			I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	10	1,0	0,42	0,53	0,25	0,25	0,69	0,08	0,17	0,39
	10	1,5	0,59	0,75	0,32	0,32	0,66	0,10	0,21	0,37
25	15	1,0	0,58	0,73	0,59	0,48	0,90	0,27	0,36	0,60
	15	1,5	0,83	1,05	0,80	0,64	0,87	0,35	0,47	0,58
15	2,0	1,05	1,34	0,95	0,76	0,84	0,41	0,55	0,56	
	20	1,0	0,73	0,93	1,15	0,77	1,11	0,61	0,61	0,81
20	1,5	1,06	1,35	1,58	1,05	1,08	0,84	0,84	0,79	
	2,0	1,36	1,74	1,93	1,28	1,05	1,01	1,01	0,76	
40	20	1,0	0,89	1,13	2,33	1,17	1,43	0,79	0,79	0,84
	20	1,5	1,30	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	2,0	1,68	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79	
	30	1,5	1,53	1,95	4,37	2,19	1,50	2,80	1,87	1,20
30	2,0	1,99	2,54	5,48	2,74	1,47	3,50	2,33	1,17	
	50	20	1,5	1,53	1,95	5,76	2,31	1,72	1,35	1,35
20	2,0	1,99	2,54	7,22	2,89	1,69	1,66	1,66	0,81	
	30	1,0	1,20	1,53	5,28	2,11	1,86	2,41	1,61	1,25
30	1,5	1,77	2,25	7,53	3,01	1,83	3,41	2,27	1,23	
	30	2,0	2,31	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16	



Fuente: (CINTAC, 2007)

f.- Análisis de la deformación bajo carga axial.

En la Figura 44 se muestra uno de los soportes de la estructura sometida a una carga axial, producto de la cual tendrá una deformación.

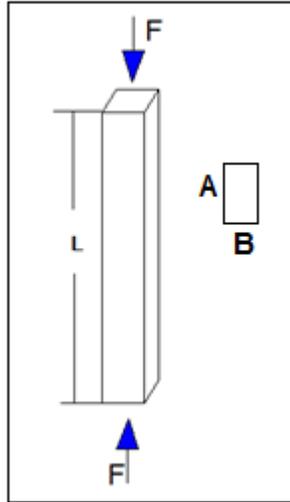


Figura 44.- Soporte de la estructura sometida a una carga axial.

Donde:

La fuerza aplicada a la estructura se divide para los 4 soportes.

$$F = \frac{107,8N}{4} = 26,95N$$

La longitud de los soportes $L = 150 \text{ mm}$ (dato obtenido de acuerdo a las dimensiones planteadas para la dimensión del módulo).

Del tubo rectangular propuesto:

- $A = 50 \text{ mm}$ (dato tomado de la Tabla 8).
- $B = 20 \text{ mm}$ (dato tomado de la Tabla 8).

A = Área del miembro sometido a carga axial.

$$A = Ax B$$

$$A = (50mm) * (20mm) = 1000mm^2$$

E = Módulo de elasticidad del acero $E = 200GPa$ (dato tomado de la Tabla 7).

Se calcula la deformación del miembro sometido a carga axial, utilizando la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{FL}{EA}$$

$$\delta = \frac{26,95N * 150mm}{200 * 10^9 \frac{N}{mm^2} * 1000mm^2}$$

$$\delta = 2,017 * 10^{-11} mm$$

La deformación obtenida es casi despreciable, por lo que se puede concluir que el tubo de acero rectangular seleccionado es el adecuado para la construcción de la estructura del módulo de red PROFINET. En la Figura 45 se muestra la estructura del módulo a implementar.

g.- Análisis de Esfuerzos en INVENTOR.

Para el análisis estático se debe considerar los puntos siguientes que son:

- Modelado de la pieza o ensamblaje con sus respectivas condiciones y restricciones
- Determinación de cargas y su distribución.
- Detección de piezas laminares en caso de existir alguna.
- Mallado del modelo 3D.

- Simulación

Para el modelado 3D se consideró una estructura metálica conformada por tubería rectangular para alojar los equipos del módulo FESTO TP-702.



Figura 45 Estructura del módulo a construir.

Tensión de Von Mises.- Según la simulación en Autodesk Inventor la tensión de Von Mises (Figura 45.1) es satisfactoria ya que como resultado obtuvimos 118,8 MPa, que es un valor menor al valor máximo de fluencia del material acero ASTM 500/A el cual es 269 MPa y fue utilizado en la estructura.

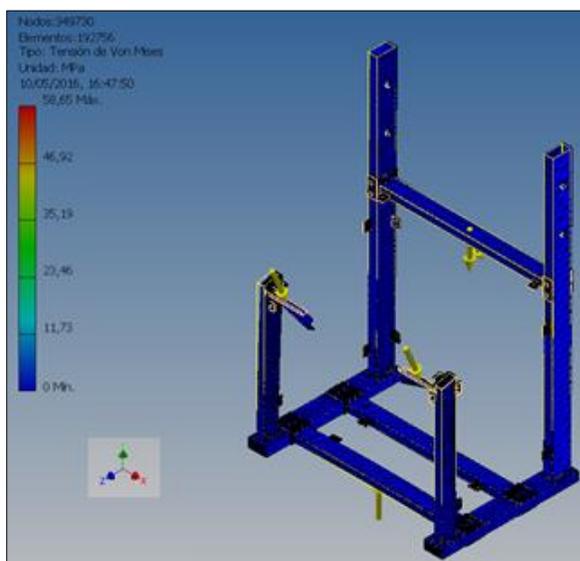


Figura 45.1 Simulación del Módulo según Von Mises.

Coefficiente de seguridad.- En cuanto al coeficiente de seguridad, a pesar de ser un valor de 15 que es muy elevado y supera el valor aceptable de entre 2-5, se puede aceptar el diseño ya que el módulo es didáctico se utilizarán diversos dispositivos con tamaños y pesos diferentes los cuales pondrán a prueba la estructura del módulo.

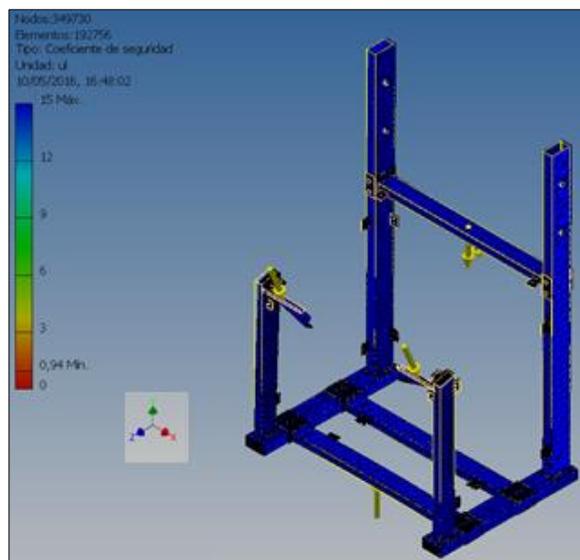


Figura 45.2 Coeficiente de seguridad módulo.

2.1.2.- DISEÑO DEL TABLERO ELÉCTRICO.

El diseño del tablero eléctrico es uno de los más importantes ya que dicho tablero alojara todos los dispositivos eléctricos (PLCS, CPU, fuentes, Switch, conectores, cableado, etc.) utilizados en la implementación de la red Industrial Profinet.

a. Parámetros de diseño

El parámetro de diseño más importante para construir el tablero eléctrico son las dimensiones de los equipos requeridos para la implementación de la red Profinet, así como la distribución de las entradas y salidas de los controladores.

Dimensiones de los equipos a implementar en la red Profinet:

- En la Figura 46 se muestra las dimensiones del PLC S7-1200. (Datos obtenidos del fabricante del equipo. Anexo A-1).

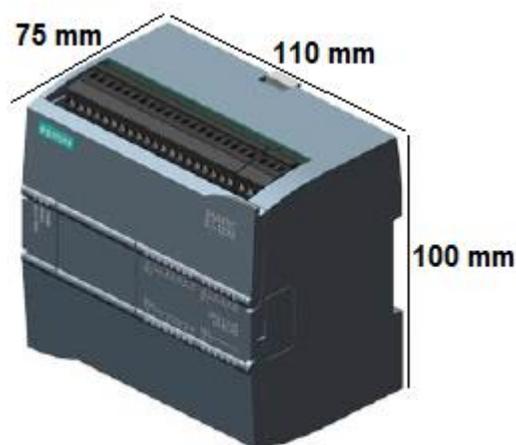


Figura 46 Dimensiones del PLC S7-1200.

- En la Figura 47 se muestra las dimensiones del PLC S7-1500. (Datos obtenidos del fabricante del equipo. Anexo A-2).



Figura 47 Dimensiones PLC S7-1500.

- En la Figura 48 se muestra las dimensiones de la fuente de alimentación a implementar. (Datos obtenidos del fabricante del equipo. Anexo A-6).

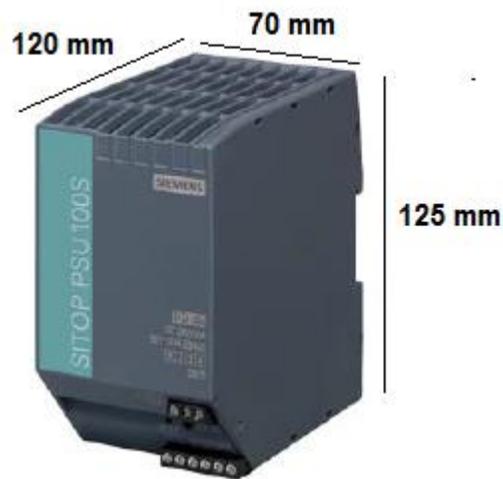


Figura 48 Dimensiones Fuente de alimentación.

- Uno de los parámetros de mayor relevancia para dimensionar el tablero eléctrico es el perfil soporte de aluminio para el montaje del SIMATIC S7-1500, mostrado en la Figura 49.

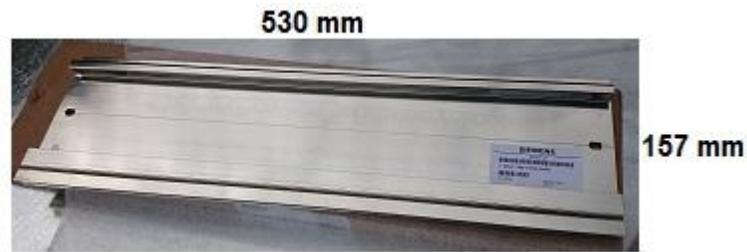


Figura 49 Dimensiones perfil de soporte S7-1500.

Longitud del tablero eléctrico a implementar:

- 2 PLCS S7-1200: 2 (110 mm) = 220 mm.
- 3 Módulos de salidas analógicas para el PLC S7-1200: 3 (45 mm) = 135 mm.
- 1 Fuente de alimentación = 70 mm.
- 1 Perfil para montaje del PLC S7-1500 = 530 mm.

Longitud total $L_t = 220 \text{ mm} + 135 \text{ mm} + 70 \text{ mm} + 530 \text{ mm}$.

$L_t = 955 \text{ mm}$.

b. Selección del material.

Requerimientos:

- De fácil adquisición en el mercado local.
- Debe poseer buenas características de maquinabilidad y resistencia.
- Bajo costo.

De acuerdo a los requerimientos se selecciona la planta de acero laminada en caliente de dimensiones 1,5 mm X 6,000 mm, ASTM A36. (Según Tabla 9 que muestra las dimensiones y aplicaciones de planchas de acero.

Tabla 9

Planchas de Acero ASTM A36

Producto	Dimensiones (mm)	Espesores Normal (mm)	Calidad del Acero	Aplicaciones
Plancha laminada en caliente de paquete	1,220 x 2,440 1,500 x 6,000 1,800 x 6,000 2,000 x 6,000	2 - 10 4 - 6 5 - 12 8 - 50	ASTM A 36	Estructuras, plataformas, tuberías de grandes diámetros, etc.
Plancha laminada en caliente de bobina (largo bajo pedido)	1,220 (ancho) 1,500 (ancho) 1,800 (ancho)	2 - 6 4 - 6 5 - 12	ASTM A 36 ASTM A 283 Gr C	Estructuras, plataformas, tuberías de grandes diámetros, etc.
Plancha Naval	1,524 x 6,096	4 - 12	ASTM A 131 Gr A / LLOYDS / ABS	Cubierta, casco de barco, muelles, gabarras, etc.
Plancha Antideslizante para piso	1,220 x 2,440	2.5 - 6	DIN 17100 ST 37,2	Piso de escaleras, carrocerías, losa de puentes, etc.
Plancha laminada en frío	1,000 x 2,000 1,220 x 2,440	0.35 - 1.4	ASTM A 366 JIS G 3141 SPCC-SD	Puertas metálicas, rótulos, muebles, partes de línea blanca, etc.
Plancha Galvanizada	1,220 x 2,440	0.35 - 1.4	ASTM A 653 CS	Ductos para aire acondicionado, cámaras frigoríficas, perfilera de tumbado, etc.

Fuente: (IPAC, 2013)

En la Figura 50 se muestra el diseño del tablero eléctrico a construir. En el Anexo B-2 se muestran las dimensiones del mismo.



Figura 50 Diseño del tablero eléctrico a construir.

En la Figura 50.1 se muestra el módulo de red Profinet a implementar en el laboratorio de hidráulica y neutrónica. Dicho módulo es cubierto con madera MDF en su contorno así como provisto de cajoneras para facilitar las prácticas de laboratorio a realizarse.

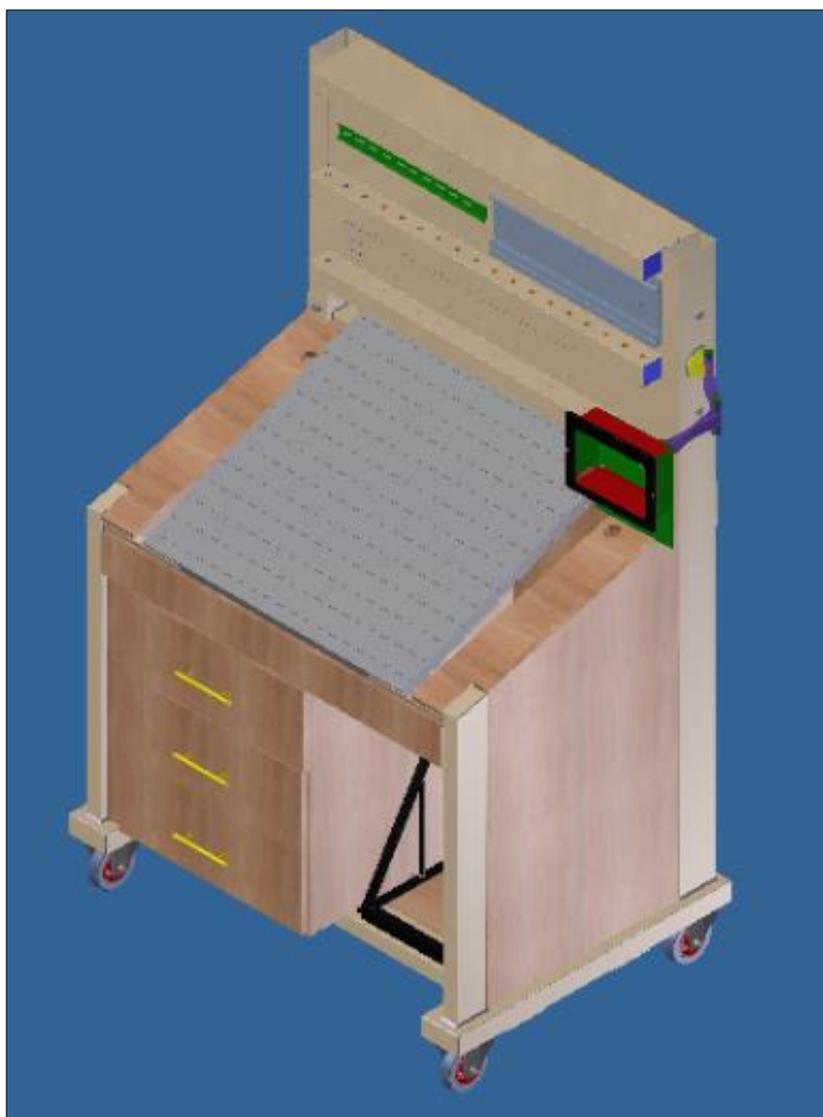


Figura 50.1 Módulo de red Profinet a implementar.

2.2.- RED PROFINET

Basado en Industrial Ethernet, PROFINET permite la comunicación directa de equipos de campo como controladores, así como la solución de aplicaciones isócronas de control de movimiento. Además, PROFINET permite la automatización distribuida con ayuda de la tecnología de componentes.

2.2.1.- TOPOLOGÍA RED PROFINET.

Gracias a que el estándar PROFINET es abierto, se pueden utilizar componentes Ethernet estándar. Se recomienda configurar PROFINET como Industrial Ethernet.

a.- Topología Estrella.

Conectando los dispositivos a un SWITCH se obtiene automáticamente una topología en forma de estrella.

En caso de que falle lo ara un solo dispositivo PROFINET y no toda la red, al contrario que con otras estructuras, con ésta no se producirá necesariamente un fallo de toda la red. El fallo de un solo switch provoca tan sólo el fallo de una parte de la red.

En la Figura 51 se muestra la topología estrella de red Profinet a implementar utilizando equipos Siemens.

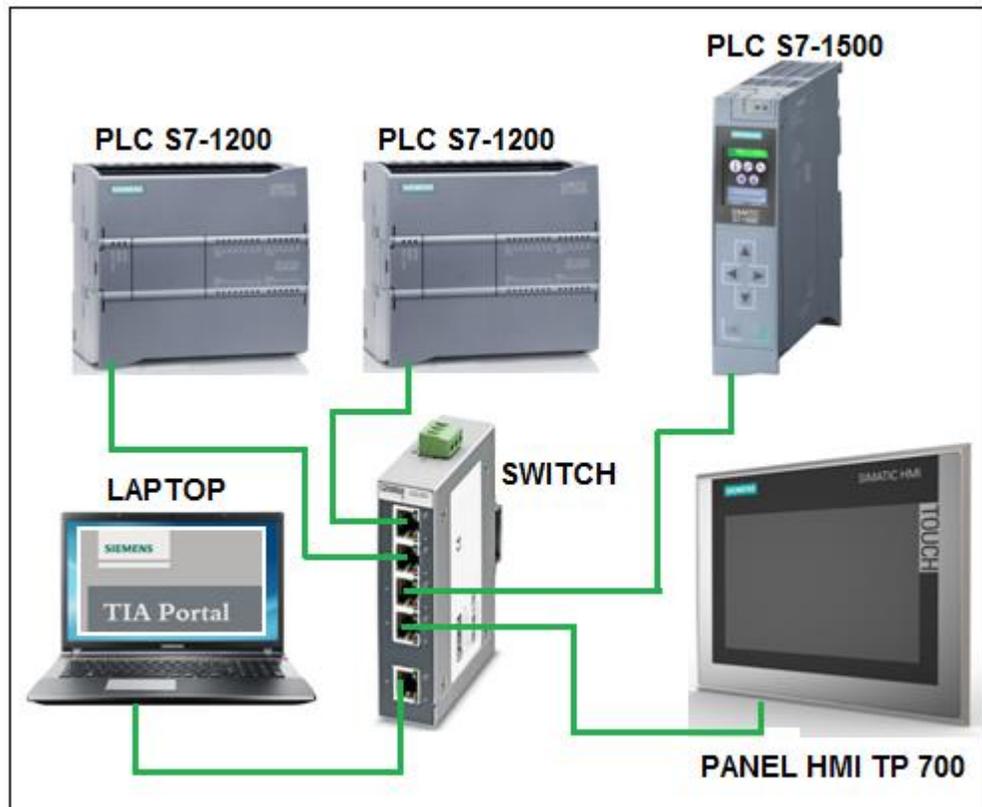


Figura 51 Topología Estrella a implementar.

2.2.2.- DISPOSITIVOS DE RED PROFINET.

Los dispositivos que intervienen en la red Profinet se detallan a continuación:

- PLC S7-1200.
- Módulos Analógicos SM 1234
- PLC S7-1500.
- FL SWITCH SFNB 5TX.
- Panel HMI TP 700.
- Fuente de Alimentación SITOP PSU 100S 24 V/10 A

a.- PLC S7-1200 CPU 1214C.

SIMATIC S7-1200 CPU 1214C es un PLC modular, compacto y versátil diseñado para una amplia gama de aplicaciones. Su diseño escalable y flexible así como sus interfaces de comunicación alineadas a los más altos estándares de comunicación industrial, hacen de este controlador parte integral de la solución Totally Integrated Automation (TIA). (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014).

En la Figura 52 se muestra el PLC S7-1200, CPU 1214C.



Figura 52 PLC S7-1200, CPU 1214C.

El modelo de CPU 1214C ofrece una gran variedad de funciones y prestaciones que permiten crear soluciones efectivas destinadas a numerosas aplicaciones.

En la Tabla 10 se muestra las características principales del PLC S7-1200, CPU 1214C para mayor detalle de características se puede consultar en el Anexo A-1.

Tabla 10
Características PLC S7-1200, CPU 1214C.

Función	CPU 1214C
Dimensiones físicas (mm)	110 x 100 x 75
Memoria de usuario	<ul style="list-style-type: none"> • Memoria de trabajo • 50 KB • Memoria de carga • 2 MB • Memoria remanente • 2 KB
E/S integradas locales	<ul style="list-style-type: none"> • Digitales • 14 entradas/10 salidas • Analógicas • 2 entradas
Tamaño de la memoria imagen de proceso	1024 bytes para entradas (I) y 1024 bytes para salidas (Q)
Área de marcas (M)	8192 bytes
Ampliación con módulos de señales	8
Signal Board	1
Módulos de comunicación	3 (ampliación en el lado izquierdo)
Contadores rápidos	6
<ul style="list-style-type: none"> • Fase simple • Fase en cuadratura 	<ul style="list-style-type: none"> • 3 a 100 kHz • 3 a 30 kHz • 3 a 80 kHz • 3 a 20 kHz
Salidas de impulsos	2
Memory Card	SIMATIC Memory Card (opcional)
Tiempo de respaldo del reloj de tiempo real	Típico: 10 días / Mínimo: 6 días a 40 °C
PROFINET	1 puerto de comunicación Ethernet
Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales	18 µs/instrucción
Velocidad de ejecución booleana	0,1 µs/instrucción

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014)

Directrices de la puesta a tierra.- La mejor forma de poner a tierra la aplicación es garantizar que todos los conductores neutros y de masa del S7-1200 y de los equipos conectados se pongan a tierra en un mismo punto. Este punto debería conectarse a la toma de tierra del sistema eléctrico. Todos los cables de puesta a tierra deberían tener la menor longitud posible y una sección grande, por ejemplo (14 AWG). Al definir físicamente las tierras es necesario considerar los

requisitos de puesta a tierra de protección y el funcionamiento correcto de los dispositivos protectores. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 38)

Directrices de cableado.- Utilice el cable más corto posible y vigile que tenga una sección suficiente para conducir la corriente necesaria. El conector acepta cables con una sección (14 AWG a 22 AWG). Utilice cables apantallados para obtener una protección óptima contra interferencias. (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 38).

En la Figura 53 se muestra el diagrama de conexión para el PLC S7-1200 CPU 1214C.

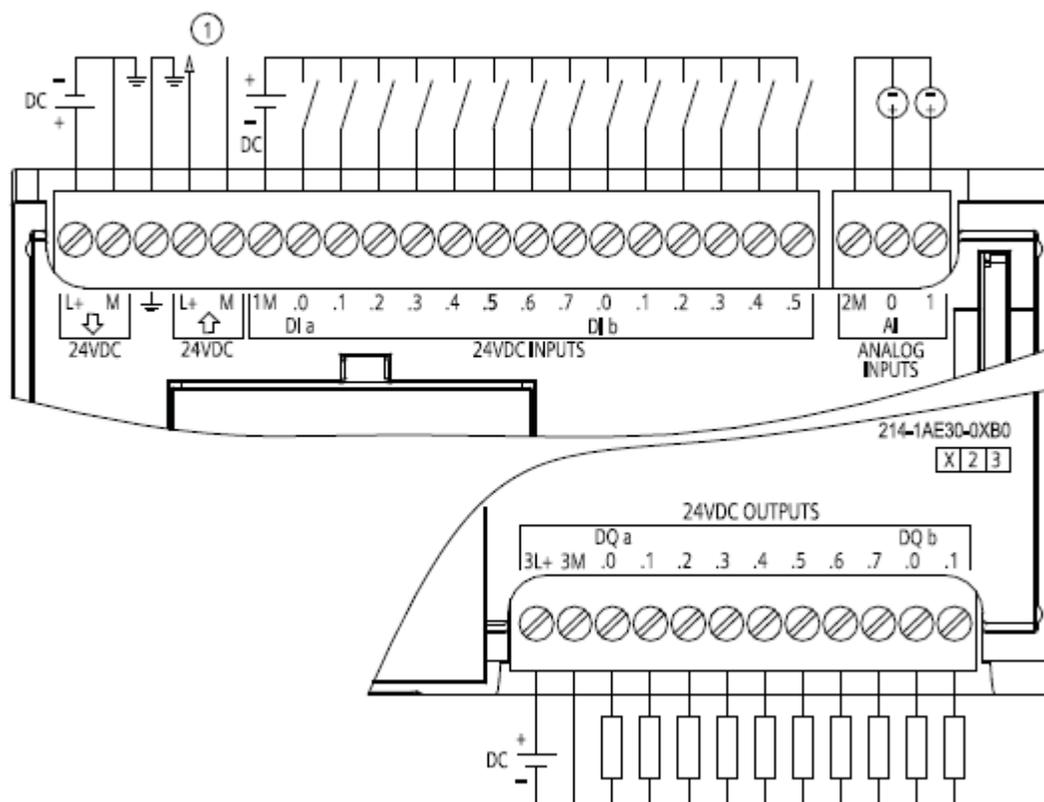


Figura 53 Diagrama de Conexión S7-1200, CPU 1214C.

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 340)

El PLC S7-1200 CPU 1214C requiere con un voltaje de alimentación de 24 Voltios de corriente continua (1.5 Amperios) dentro de un rango permisible de:

- Límite inferior: 20.8 Voltios DC.
- Límite superior: 28.8 Voltios DC. Mayor detalle de características se describe en el Anexo A-1.

En la Figura 54 se muestra los pines de alimentación así como las entradas y salidas del PLC.

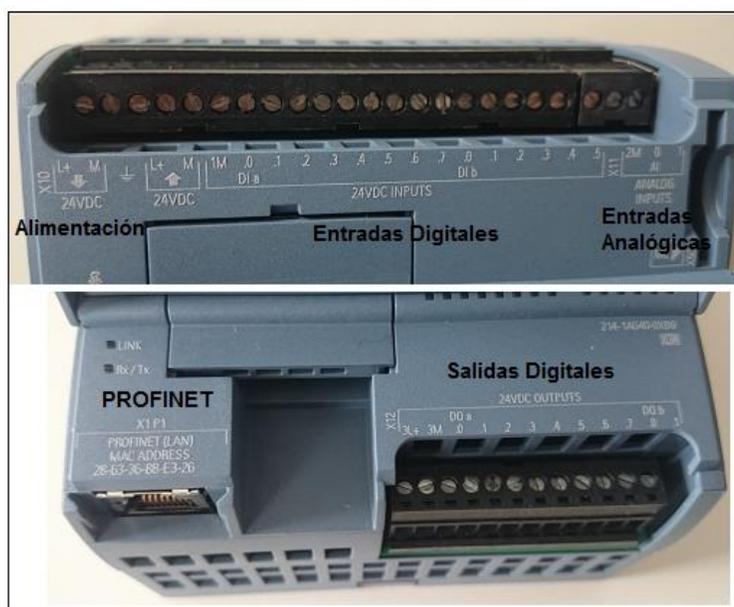


Figura 54 Entradas/Salidas del PLC S7-1200.

La CPU S7-1200 incorpora un puerto PROFINET (Figura 54) que soporta las normas Ethernet y de comunicación basada en TCP/IP.

La CPU S7-1200 1214C soporta los siguientes protocolos de aplicación:

- Transport Control Protocol (TCP).
- ISO on TCP (RFC 1006).

b. - SIMATIC S7-1200, ANALOG I/O SM 1234

Por necesidades de los procesos a controlar se requiere de un módulo de entradas y salidas analógicas lo cual permite agregar funciones a la CPU S7-1200. Por fácil adquisición en el mercado local se adquiere el ANALOG I/O SM 1234 mostrado en la Figura 55.



Figura 55 Modulo Analógico SM 1234.

En la Tabla 11 se muestra las características principales del módulo de entradas y salidas Analógicas SM 1234. Ver Anexo A-4.

Tabla 11

Características módulo SM 1234.

Salidas analógicas	
Número de salidas	2
Tipo	Tensión o intensidad
Rango	± 10 V ó 0 a 20 mA
Resolución	Tensión: 14 bits; intensidad: 13 bits

CONTINÚA 

Datos técnicos	
Modelo	SM 1234 AI 4x13bit AQ 2x14bit
Referencia	6ES7 234-4HE30-0XB0
General	
Dimensiones A x A x P (mm)	45 x 100 x 75
Peso	220 gramos
Disipación de potencia	2,0 W
Consumo de corriente (bus SM)	80 mA
Consumo de corriente (24 V DC)	60 mA (sin carga)
Entradas analógicas	
Número de entradas	4

Fuente: (Anexo A-4: Modulo Analógico SM 1234)

En la Figura 56 se muestra el diagrama de conexionado del módulo SM 1234, la misma cuenta con cuatro entradas y dos salidas analógicas. Alimentación de 24 Voltios DC.

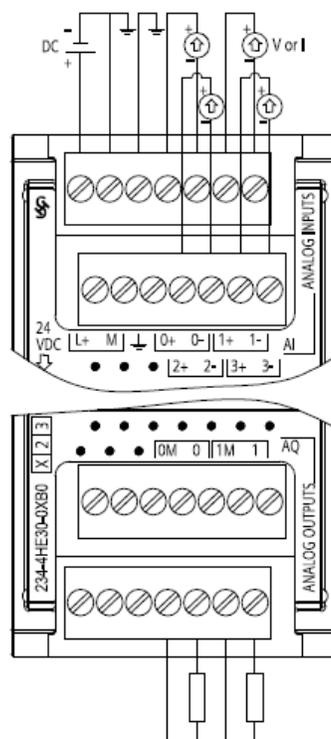


Figura 56 Diagrama de conexión Modulo SM 1234.

Fuente: (Industry S. , SIEMENS, Siemens AG 2014, pág. 351)

c.- FUENTE SITOP PSU100S 24 V/10 A

Para energizar todos los equipos componentes de la red Profinet en el módulo se requiere una fuente de alimentación, la misma debe suministrar un voltaje de 24 Voltios de corriente continua. En la Figura 57 se muestra la fuente de alimentación seleccionada para la red Profinet.



Figura 57 Fuente de Alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A

En la Tabla 12 se muestran las principales características de la fuente de alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A. Mayor información acerca de la fuente de alimentación en el Anexo A-6.

En la Figura 58 se muestran los pines de conexión tanto de alimentación (120-230 V AC) así como de los pines de salida de la fuente de alimentación (24 VDC). Este equipo cuenta con un regulador del voltaje de salida que va de un rango de 24 VDC a 28.8 VDC.

Tabla 12

Características Fuente SITOP PSU100S 24 V/10 A.

Input	
Input	1-phase AC
Supply voltage	<ul style="list-style-type: none"> • 1 with AC Rated value 120 V • 2 with AC Rated value 230 V • Note Automatic range selection
Input voltage	<ul style="list-style-type: none"> • 1 with AC 85 ... 132 V • 2 with AC 170 ... 264 V
Wide-range input	No
Oversvoltage resistance	2.3 × Vin rated, 1.3 ms
Mains buffering at Iout rated, min.	20 ms; at Vin = 93/187 V
Rated line frequency	50 ... 60 Hz
Rated line range	47 ... 63 Hz
Output	
Output	Controlled, isolated DC voltage
Rated voltage Vout DC	24 V

Fuente: (Anexo A-6: Fuente de Alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A)



Figura 58 Pines de Conexión SITOP PSU100S 24 V/10 A

d. - PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN

El sistema de automatización S7-1500, CPU 1511 (Figura 59) ofrece la flexibilidad y el rendimiento necesarios para el elevado ancho de banda de aplicaciones de control de la construcción de instalaciones y máquinas. El sistema de automatización S7-1500 está homologado para el tipo de protección IP 20 y para el montaje en un armario eléctrico.



Figura 59 PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN.

En configuraciones de hardware pequeñas y medianas suele ser suficiente la alimentación a través de la CPU. El consumo eléctrico de los módulos conectados no debe ser superior a 10 ó 12 W (en función de la CPU utilizada).

En esta variante de configuración, utilice para la CPU una fuente de alimentación de carga de 24 V DC. Las principales características PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN se detallan en la Tabla 13. Mayor detalle de características se describe en el Anexo A-2.

Tabla 13

Características PLC S7-1500, CPU 1511-1 PN.

Ref.:	6ES7511-1AK00-0AB0
Descripción breve	CPU 1511-1 PN
Tensión de alimentación, rango admisible	20,4 V DC... 28,8 V DC
Número de bloques	2000
Memoria de trabajo para datos	1 Mbyte
Memoria de trabajo para código	150 Kbytes
Interfaces	1 x PROFINET
Número de puertos PROFINET	2
Servidor web soportado	Sí
Modo isócrono soportado	Sí

Fuente: (Anexo A-2: PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN.)

Montaje de la CPU.- Para el montaje de la CPU (Figura 60) se detallan los siguientes pasos a seguir: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

- 1).- Inserte un conector U en la parte posterior derecha de la CPU.
- 2).- Enganche la CPU en el perfil soporte y, en su caso, deslícela hasta la fuente de alimentación del sistema a la izquierda.
- 3).-Asegúrese de que el conector U esté enchufado a la fuente de alimentación del sistema. Gire la CPU hacia atrás.
- 4).- Atornille la CPU (par de apriete 1,5 Nm).

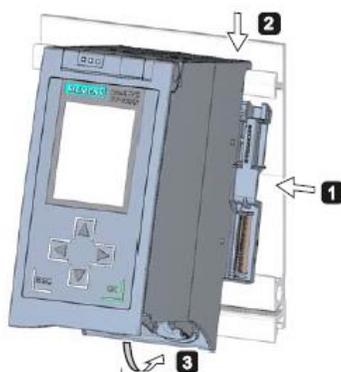


Figura 60 Montaje de la CPU.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 53)

Alimentación de 24 V DC.- A continuación se indican los aspectos que deben tenerse en cuenta en relación con la alimentación de 24 V DC. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

- Los alimentadores para la alimentación de 24 V DC deben estar provistos de aislamiento eléctrico seguro según IEC 60364-4-41.
- Para la protección contra rayos y sobretensiones, deben usarse descargadores de sobretensiones.
- En todas las instalaciones o sistemas en los que esté montada una CPU S7-1500, debe asegurarse que la instalación o sistema estén conectados a un conductor de protección con una sección transversal suficiente para desviar las perturbaciones electromagnéticas.
- En los cables de alimentación, cables de señales y cables de bus, debe asegurarse que el tendido de los cables y la instalación sean correctos.
- En los cables de señales y cables de bus, debe asegurarse que la rotura de un cable/hilo o un cruce no provoque estados indefinidos de la instalación o del sistema. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

Alimentación referenciada a tierra.- En las alimentaciones referenciadas a tierra (red TN-S), tanto el neutro (N) como el conductor de protección (PE) están

puestos a tierra. Ambos conductores constituyen una parte del sistema contra sobretensión. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 59)

El potencial de referencia del sistema de automatización S7-1500 está conectado con el perfil soporte a través de una combinación RC de alta impedancia de la CPU. De esta manera se derivan las corrientes perturbadoras de alta frecuencia y se evitan cargas electroestáticas. A pesar del perfil soporte puesto a tierra, el potencial de referencia del sistema de automatización S7-1500 debe considerarse como no puesto a tierra debido a la conexión de alta impedancia. Si desea montar el sistema de automatización S7-1500 con el potencial de referencia conectado a tierra, el potencial de referencia del controlador (conexión M) debe conectarse galvánicamente con el conductor de protección. En la Tabla 14 se muestra las reglas de cableado para el PLC S7-1500, CPU 1511-1 PN. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 59).

Tabla 14
Reglas de Cableado PLC S7-1500.

Reglas de cableado para ...		CPU
Sección transversal conectable de los conductores rígidos		
Sección transversal conectable de los conductores flexibles	Sin punteras de cable	0,25 a 1,5 mm ² AWG*: de 24 hasta 16
	Con punteras de cable	0,25 a 1,5 mm ² AWG*: de 24 hasta 16
Punteras según DIN 46228	Sin manguito de plástico	Forma A, 10 mm de long.
	Con manguito de plástico de 0,25 a 1,5 mm ²	Forma E, 10 mm de long.
Diámetro de cubierta		
Herramienta		Destornillador, forma cónica, de 3 a 3,5 mm
Sistema de conexión		Bome Push-In

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013)

Conexión para la tensión de alimentación.- Las conexiones del conector de 4 polos tienen el siguiente significado (Figura 61):

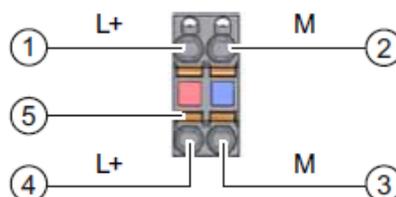


Figura 61 Conexión de alimentación PLC S7-1500.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 64)

- 1).- + 24 V DC de la fuente de alimentación
- 2).- Masa de la tensión de alimentación
- 3).- Masa de la tensión de alimentación para conexión en cadena (intensidad limitada a 10 A).
- 4).- + 24 V DC de la tensión de alimentación para conexión en cadena (intensidad limitada a 10 A).
- 5).- Mecanismo de apertura por resorte (un mecanismo por borne)

Pantalla de la CPU.- La CPU S7-1500 tiene una tapa frontal con una pantalla y teclas de manejo (Figura 62). En la pantalla se puede visualizar información de control o de estado en distintos menús, y se pueden realizar numerosos ajustes. Con las teclas de manejo se puede navegar por los menús. (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 145)

La pantalla de la CPU le ofrece las siguientes ventajas:

- Tiempos de parada más breves gracias a los avisos de diagnóstico en texto normal.
- Modificación de los ajustes de interfaz in situ sin necesidad de programadora.

- Posibilidad de asignar contraseña para el manejo de la pantalla desde el TIA Portal.

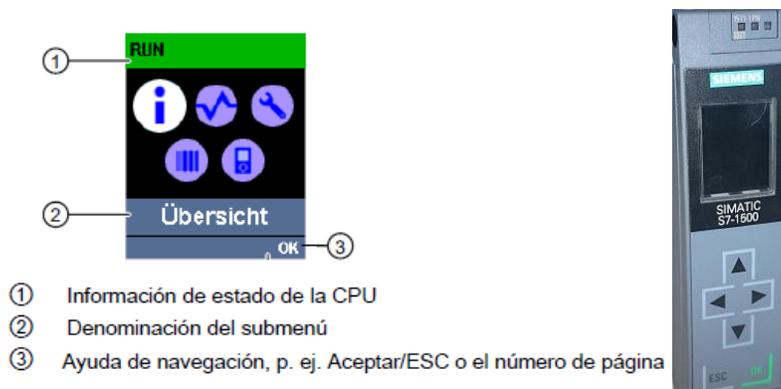


Figura 62 Pantalla del PLC S7-1500, CPU 1511-1 PN.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 146)

En la Tabla 15 se muestra la información de estado de la CPU que se puede consultar a través de la pantalla.

Tabla 15

Información de estado de la CPU.

Color y símbolos de la información de estado	Explicación
verde	<ul style="list-style-type: none"> • RUN • RUN con alarma
amarillo	STOP
rojo	ERROR
blanco	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento de conexión entre CPU y pantalla • Actualización de firmware de la pantalla
	Nivel de protección configurado
	Alarma (como mínimo una alarma está activa en la CPU)
	Error (hay como mínimo un error activo en la CPU)
	Tabla de forzado permanente activa en la CPU

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 146)

Manejo de la tapa frontal.- La tapa frontal es insertable y puede retirarse o sustituirse durante el funcionamiento (RUN) cuando se realizan tareas de larga duración. La retirada o sustitución de la pantalla no afecta a la CPU en funcionamiento. A continuación se describe cómo se extrae la tapa frontal de la CPU:

- 1).- Levante la tapa frontal hasta que esté delante del módulo y forme con este un ángulo de 90°.
- 2).- Presione simultáneamente el anclaje o anclajes en la zona superior de la tapa frontal y extraiga la tapa hacia delante.

Tabla 16

Denominación de Submenú.

Comandos de menú principales	Explicación	Significado
	Sinopsis	El menú "Vista general" contiene indicaciones sobre las propiedades de la CPU.
	Diagnóstico	El menú "Diagnóstico" contiene indicaciones sobre los avisos de diagnóstico, descripciones de diagnóstico e indicadores de alarma. Asimismo informa sobre las propiedades de red de cada interfaz de la CPU.
	Ajustes	En el menú "Ajustes" se asignan las direcciones IP de la CPU, se ajusta la fecha, hora, zona horaria, estado operativo (RUN/STOP) y niveles de protección, se ejecuta el borrado total y se restablece la configuración de fábrica de la CPU, y se consulta el estado de la actualización de firmware.
	Módulos	El menú "Módulos" contiene indicaciones acerca de los módulos utilizados en su configuración. Los módulos pueden estar agregados como módulos centralizados y/o descentralizados. Los módulos descentralizados están vinculados a la CPU mediante PROFINET y/o PROFIBUS. Aquí se ofrece la posibilidad de ajustar las direcciones IP para un CP.
	Pantalla	En el menú "Pantalla" se realizan los ajustes de la pantalla, p. ej. el idioma, el brillo y el modo de ahorro de energía (en el modo de ahorro de energía se oscurece la pantalla. En el modo de reserva, se apaga la pantalla).

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 147)

Teclas de manejo.- La pantalla de la CPU dispone de las siguientes teclas de manejo (Figura 63):

- Cuatro teclas de flecha: "hacia arriba", "hacia abajo", "hacia la izquierda", "hacia la derecha".
- Una tecla ESC.
- Una tecla Aceptar

Si la pantalla está en el modo de ahorro de energía o en el modo de reserva, se puede salir de ese estado pulsando cualquier tecla.



Figura 63.- Teclas de manejo.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 149)

La Figura 64 se muestra el croquis acotado de la CPU montado en un perfil soporte, así como un croquis acotado con tapa frontal abierta. Deben tenerse en cuenta las dimensiones al montar en armarios, salas de equipos, etc.

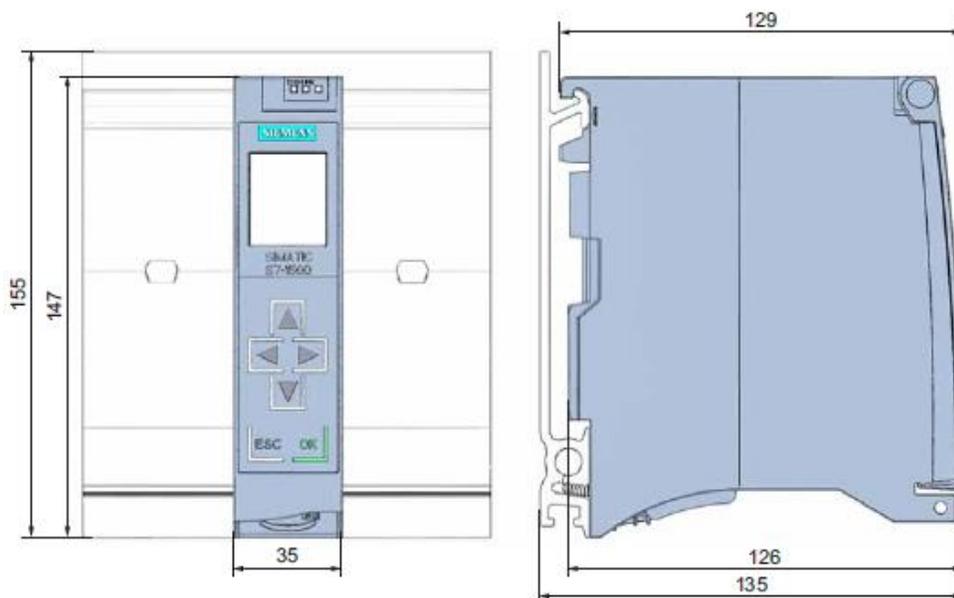


Figura 64.- Croquis acotado PLC S7-1500, CPU 1511.1 PN.

Fuente: (Industry S. , Info_PLC_S7-1500, 2013, pág. 188)

e. - PANEL SIMATIC HMI TP 700 COMFORT

SIMATIC Comfort Panel TP 700 (Figura 65), pantalla TFT de 7" a color, táctil. Display formato widescreen de alta resolución y contraste. Con switch integrado de dos puertos PROFINET / Industrial Ethernet, un puerto PROFIBUS DP y puertos USB. Configurable con TIA PORTAL WinCC Comfort. (Industry S. , Simatic HMI, 2012)



Figura 65 Panel SIMATIC HMI TP 700.

En la siguiente Figura 66 muestra la vista posterior del panel de operador TP 700 Comfort.

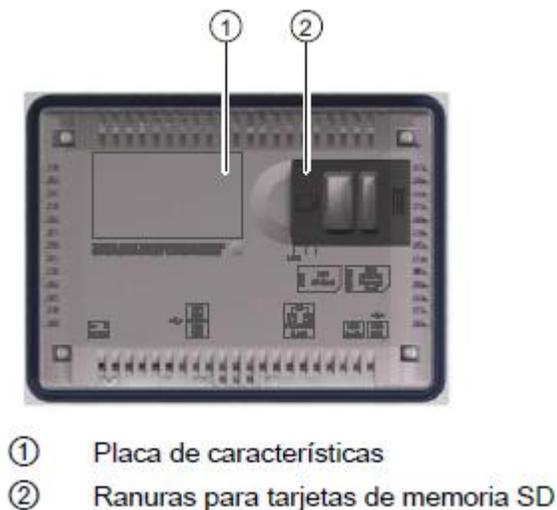


Figura 66 Vista posterior PANEL HMI TP 700.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 17)

En la Figura 67 se muestra la interface del panel de operador TP 700 Comfort.

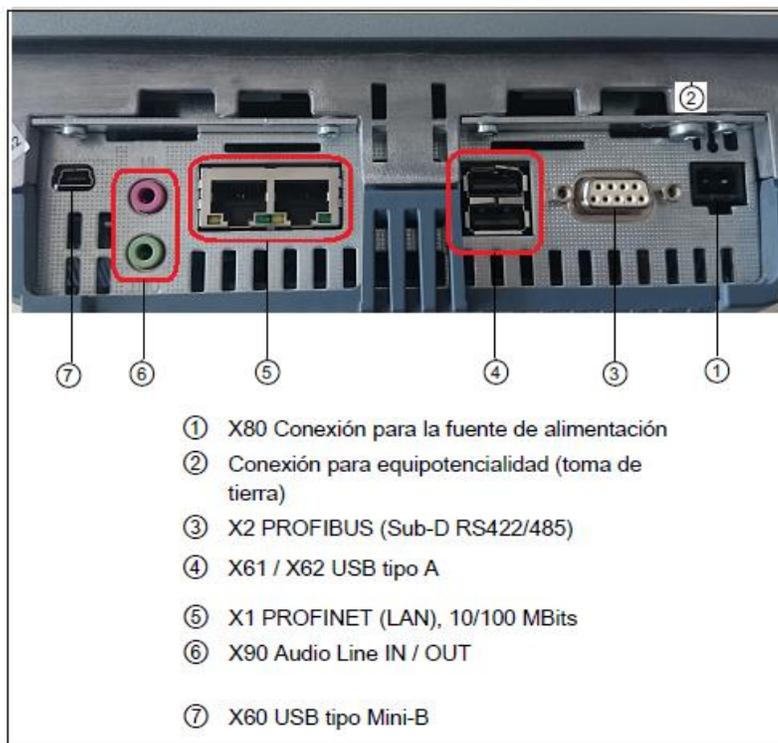


Figura 67.- Interface Panel HMI TP700.

Montaje.- Este tipo de paneles de operador táctiles son apropiados para el montaje vertical mostrado en la Figura 68.

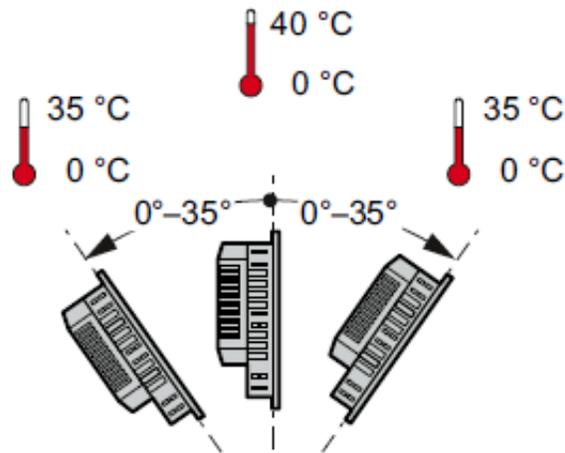


Figura 68 Montaje vertical del Panel HMI TP 700.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 31)

Para el montaje vertical (ángulo de inclinación de 0°) se permite una temperatura ambiente máxima de +40 °C; para el montaje inclinado, de +35 °C. (Industry S. , Simatic HMI, 2012)

Conexión de la fuente de alimentación.- La tensión de alimentación debe estar comprendida dentro del rango de tensión indicado en el Anexo A-3. De lo contrario podrían fallar las funciones del panel de operador.

Desde la salida de 24 V de la fuente de alimentación, una la conexión de GND - 24 V con la conexión equipotencial para obtener un potencial de referencia unitario. Al hacerlo debe seleccionar un punto de conexión lo más central posible.

En la Figura 69 se muestra la conexión entre la fuente de alimentación y el panel de operador.

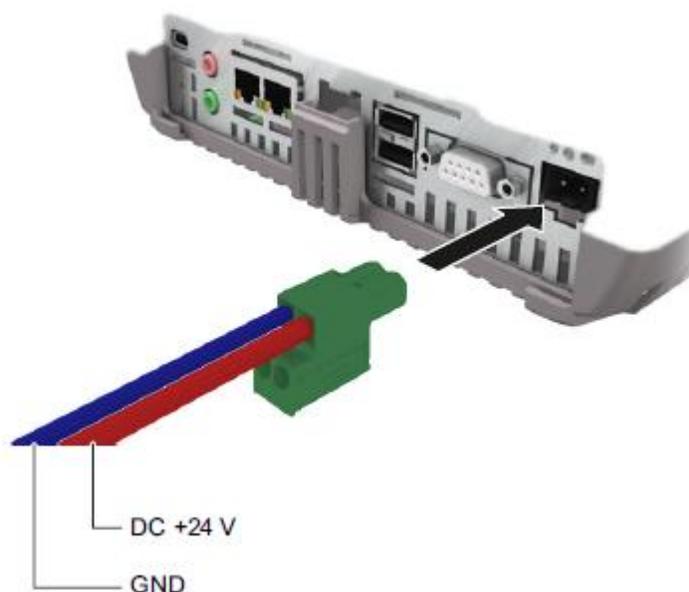


Figura 69 Conexión fuente de alimentación – Panel TP 700.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 44)

El borne de conexión a red de la fuente de alimentación ha sido diseñado para conductores de una sección máxima de 1,5 mm².

El panel de operador tiene una protección contra cambio de polaridad.

En la siguiente Figura 70 se muestra cómo conectar el panel de operador a un PC de configuración. Conexión red Profinet.



- ① Conexión a un PC de configuración vía PROFINET (LAN)
- ② Conexión a un PC de configuración vía USB tipo Mini-B

Figura 70 Conexión Panel TP 700 a una PC.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 46)

Alternativamente también es posible conectar el panel de operador a un PC de configuración vía PROFIBUS. Debido a la velocidad de transferencia, en este caso los tiempos de transferencia pueden ser muy prolongados.

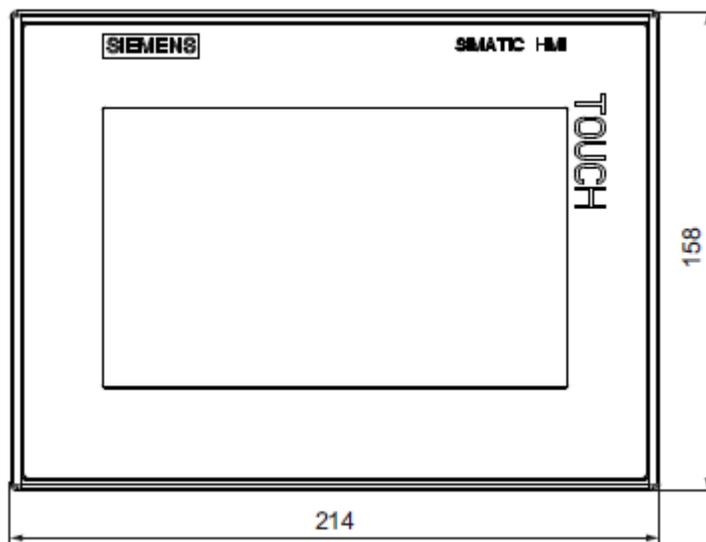


Figura 71.- Croquis acotado PANEL HMI TP 700.

Fuente: (Industry S. , Simatic HMI, 2012, pág. 184)

2.2.2.6. – IE FC RJ45 Plug 180 (2x2)

Para la implementación de la red Profinet se requiere un conector RJ45 de Siemens mostrado en la Figura 72.

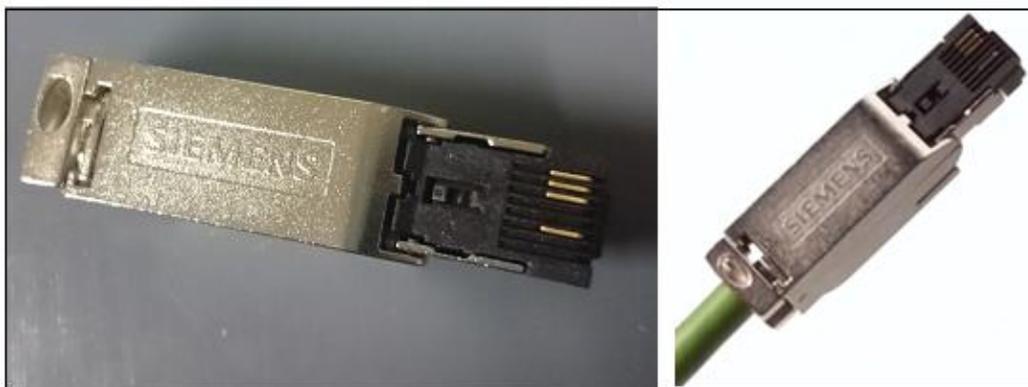


Figura 72 Conector IE FC RJ45

En la Tabla 17 se muestra las principales características del conector RJ45, para mayor detalle revisar Anexo A-7.

Tabla 17
Características Conector IE FC RJ45

Transmission rate	
Transfer rate / for Industrial Ethernet	10 Mbit/s, 100 Mbit/s
Interfaces	
Number of electrical connections	
• for Industrial Ethernet FC TP cables	4
• for network components or terminal equipment	1
Type of electrical connection	
• for Industrial Ethernet FC TP cables	integrated cut-and-clamp contacts for 4-wire TP FC installation cable
• for network components or terminal equipment	RJ45 connector
Type of electrical connection / FastConnect	Yes
Mechanical data	
Material / of the enclosure	metal
Number of reuses	10

Fuente: (Anexo A-7: Conector IE FC RJ45)

2.2.2.7. – IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A)

El cable utilizado en la red Profinet es el IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A) propio de Siemens para Industrial Ethernet mostrado en la Figura 73.



Figura 73. - IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A).

En la Tabla 18 se muestran las principales características del IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A). Mayor detalle Anexo A-8.

Tabla 18
Características TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A).

Electrical data	
Damping ratio per length	
• at 10 MHz / maximum	0.052 dB/m
• at 100 MHz / maximum	0.195 dB/m
Impedance	
• at 1 MHz ... 100 MHz	100 Ω
Relative symmetrical tolerance	
• of the characteristic impedance at 1 MHz ... 100 MHz	15 %
Near-end crosstalk per length	
• at 1 MHz ... 100 MHz	0.5 dB/m
Transfer impedance per length / at 10 MHz	10 m Ω /m
Loop resistance per length / maximum	115 m Ω /m
Operating voltage	
• RMS value	100 V
NVP value in percent	66 %

Fuente: (Anexo A-8: IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 (Type A)).

h. - FL SWITCH SFNB 5TX.

Switch Ethernet, 5 puertos TP-RJ45, detección automática de la velocidad de transmisión de datos de 10 ó 100 Mbits/s (RJ45), función autocrossing. En la Figura 74 se muestra el FL SWITCH SFNB 5TX.



Figura 74 SWITCH SFNB 5TX.

En la Tabla 19 se muestran las principales características del dispositivo. Mayor detalle de características ver: Anexo A-5.

Tabla 19
Características FL SWITCH SFNB 5TX.

Interfaces

Interface 1	Ethernet (RJ45)
No. of ports	5 (RJ45 ports)
Connection method	RJ45
Note on connection method	Auto negotiation and autocrossing
Transmission physics	Ethernet in RJ45 twisted pair
Transmission speed	10/100 MBit/s

Network expansion parameters

Cascading depth	Network, linear, and star struny
Maximum conductor length ((twisted pair)	100 m

Supply voltage

Supply voltage	24 V DC
Residual ripple	3.6 V _{PP} (within the permitted range)
Supply voltage range	12 V DC ... 48 V DC
Typical current consumption	185 mA (@24 V DC)
Max. current consumption	345 mA (@12 V C)

Fuente: (Anexo A-5: SWITCH SFNB 5TX)

Alimentación.- El switch está diseñado para un funcionamiento a 24V DC de acuerdo con la norma IEC 61140 / EN 61140. Encajando el cierre sobre un carril de montaje puesta a tierra lo conecta con el potencial de tierra. En un entorno particularmente propenso a la interferencia electromagnética (EMI), la inmunidad al ruido se puede aumentar con una conexión de baja impedancia adicional para funcionamiento a tierra. La Figura 75 muestra los pines de conexión para la alimentación del dispositivo.

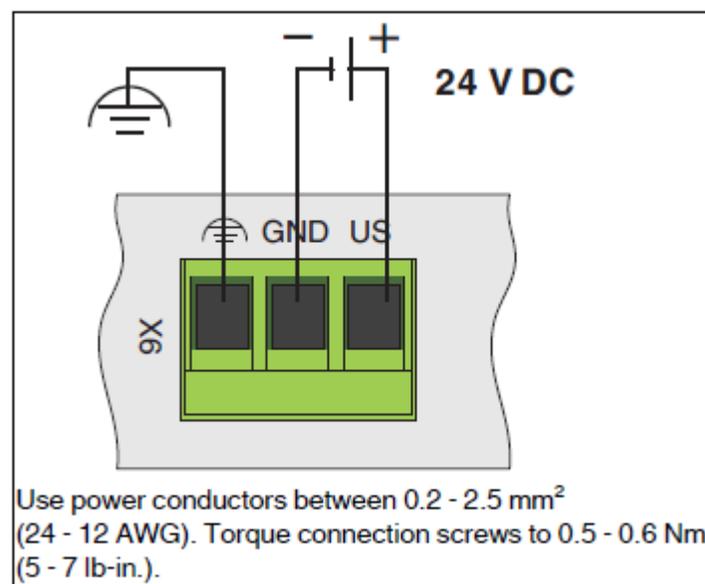


Figura 75.- Pines de Alimentación SWITCH SFNB 5TX.

Fuente: (Anexo A-5: SWITCH SFNB 5TX)

Interface Ethernet.- El switch cuenta con cinco puertos Ethernet en la parte delantera en formato RJ45 (Figura 76) a la que sólo cables con una impedancia de 100 Ω se pueden conectar.

La velocidad de transmisión de datos es de 10/100 Mbps. Además, cada puerto tiene una función de cruce automático: no es necesario hacer una distinción entre 1: 1 o cruzado de Ethernet.

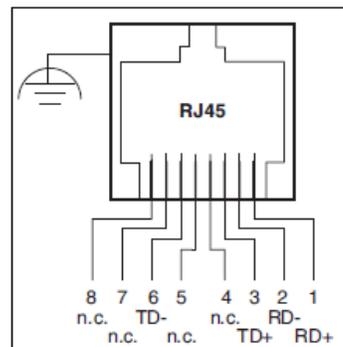


Figura 76 Conector RJ45.

Fuente: (Anexo A-5: SWITCH SFNB 5TX)

En la Figura 77 se muestra las dimensiones del SWITCH SFNB 5TX. Así como sus partes constitutivas.

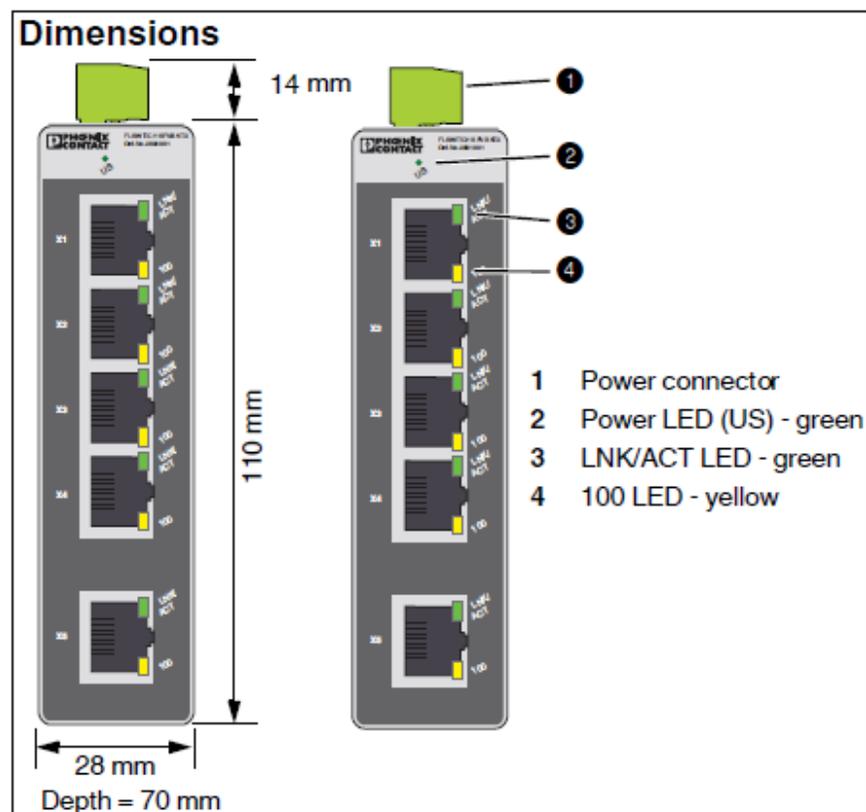


Figura 77.- Dimensiones del SWITCH SFNB 5TX

Fuente: (Anexo A-5: SWITCH SFNB 5TX)

CAPITULO III

3.- CONSTRUCCIÓN

La construcción de los elementos mecánicos, circuitos eléctricos y de la red Profinet está basada en el diseño realizado en el capítulo anterior, en el cual se seleccionó elementos y se establecieron parámetros tanto mecánicos y eléctricos a implementar en el módulo.

3.1.- CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO

Para la construcción de los elementos que componen el sistema mecánico del módulo de red PROFINET, se utiliza un proceso de soldadura SMAW con un electrodo adecuado para soldar el tipo de acero seleccionado en el capítulo anterior.

3.1.1.- CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL MÓDULO

Las dimensiones de la estructura del módulo de red PROFINET a construir se indican en el Anexo B- 1.

De acuerdo a las dimensiones de diseño y selección de material se procede con el corte del tubo rectangular requerido. Estos cortes se unen para formar la estructura mediante el proceso de soldadura SMAW (Soldadura por arco con electrodo metálico revestido) utilizando un electrodo revestido E6011.

En la Figura 78 se muestra la construcción de la estructura del módulo de red Profinet.



Figura 78 Construcción estructura del Módulo.

Para sujeción del tablero Festo se requiere implementar soportes, los mismos se los realiza por medio del proceso de soldadura SMAW.

En la Figura 79 se muestra la sujeción del tablero Festo en la estructura. El tablero Festo se instala de forma inclinada por facilidad de trabajo y ergonomía.



Figura 79 Sujeción del tablero FESTO.

Se requiere que el módulo se pueda desplazar con facilidad de un lugar a otro para lo cual se instalan ruedas en la estructura, mediante el proceso de soldadura SMAW utilizando un electrodo revestido E6011. En la Figura 80 se muestra la implementación de las ruedas para fácil desplazamiento del módulo.



Figura 80.- Implementación de ruedas para desplazamiento.

La estructura es sometida al proceso de pintura electrostática para protección contra la corrosión así como presentación y estética.

3.1.2.- CONSTRUCCIÓN DEL TABLERO ELÉCTRICO.

Las dimensiones del tablero eléctrico a implementar en el módulo de red PROFINET se indican en el Anexo B- 2.

De acuerdo a las dimensiones de diseño y selección de material se procede con el trazado, corte, perforación y posterior doblado de la plancha de acero.

Estos cortes se unen para formar un tablero eléctrico mediante el proceso de soldadura SMAW (Soldadura por arco con electrodo metálico revestido) utilizando un electrodo revestido E6011.

En la Figura 81 se muestra el proceso de perforado de plancha de acero, estas perforaciones corresponden tanto a las entradas como a las salidas del PLC S7-1200 así como a las entradas y salidas de los módulos analógicos SM 1234.



Figura 81 Proceso de perforado tablero de control.

Utilizando una dobladora de planchas de acero se da forma al tablero eléctrico. En la Figura 82 se muestra el tablero eléctrico doblado y listo para ser ensamblado con sus partes laterales correspondientes.



Figura 82.- Tablero eléctrico luego del proceso de doblado.

Los elementos de la figura anterior se unen para formar un tablero eléctrico compacto donde se alojarán todos los dispositivos de control. Dichos elementos se unen mediante un proceso de soldadura SMAW utilizando un electrodo

revestido E6011, luego de lo cual se instala en la estructura anteriormente construida como se muestra en la Figura 83.



Figura 83.- Instalación del tablero eléctrico en la estructura del módulo.

El tablero eléctrico es sometido a un proceso de pintura electrostática para la protección contra la corrosión así como estética y presentación.

- Para la instalación de los controladores lógicos programables (PLCs), módulos analógicos, fuentes de alimentación y demás dispositivos se requiere que el tablero cuente con un riel DIN estándar.
- Para la instalación del PLC S7-1500 al ser un controlador lógico programable modular se requiere un perfil soporte de aluminio.

En la Figura 84 se muestra el tablero eléctrico construido y listo para su instalación en el módulo.



Figura 84.- Tablero eléctrico construido.

3.1.3.- CONSTRUCCIÓN SOPORTE PANEL HMI.

Para la instalación del panel HMI TP 700 en el módulo se requiere la construcción de un soporte (Figura 85). Las dimensiones de dicho soporte están de acuerdo a las dimensiones del panel MHI TP 700 de Siemens (Anexo A-3).



Figura 85.- Construcción soporte panel HMI.

3.1.3.1.- Construcción soporte Bomba Hidráulica.

Se construye un soporte para la instalación de una Bomba hidráulica Festo. En la Figura 86 se muestra la construcción del soporte.



Figura 86.- Soporte Bomba hidráulica.

El módulo de red PROFINET es íntegramente sometido al proceso de pintura electrostática con lo cual se obtiene básicamente:

- Protección contra la corrosión.
- Buena estética, presentación y buen acabado.

Por fines didácticos, de presentación y estética el módulo de red Profinet es cubierto por madera MDF íntegramente. En la Figura 87 se muestra el módulo terminado.



Figura 87.- Módulo de red Profinet.

3.2.- INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

La implementación del sistema de control en el módulo de red Profinet está compuesto de:

- 2 Controladores Lógicos Programables (PLCs) S7-1200.
- 1 Controlador Lógico Programables (PLC) S7-1500.
- Fuentes de Alimentación.
- Switch Phoenix.
- Módulos de Entradas y Salidas Analógicas SM 1234.

- Panel MHI TP 700.

Antes de empezar con la implementación de la red PROFINET primero se realiza el cableado eléctrico de todos los dispositivos que intervienen en la red. Todos estos dispositivos de control se instalan en el tablero eléctrico construido en los ítems anteriores.

3.2.1.- INSTALACIÓN DE DISPOSITIVOS.

Los dispositivos que se utilizan para la configuración de la red PROFINET se ubican en el tablero de control en su respectivo riel DIN estándar. En la Figura 88 se muestra la disposición de los equipos en tablero de control.



Número	DESCRIPCIÓN
1	Fuente de Alimentación SITOP PSU100S 24 V/10 A
2	PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1214C
3	Módulo Analógico SIMATIC S7-1200, ANALOG I/O SM 1234
4	PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1214C
5	Módulo Analógico SIMATIC S7-1200, ANALOG I/O SM 1234
6	FL SWITCH SFNB 5TX
7	PLC SIMATIC S7-1500, CPU 1511-1 PN
8	Dispositivos de ON/OFF y CIRCUITO DE FUERZA
9	Entradas / Salidas PLCs S7-1200 y Módulo SM 1234

Figura 88.- Disposición de Equipos - Tablero de Control.

3.2.2.- CABLEADO E/S Y ALIMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS.

El cableado de los dispositivos se realiza de acuerdo a las especificaciones técnicas de los equipos descritas en el capítulo anterior, tanto para las entradas y salidas así como para la alimentación de los mismos. En la Figura 89 y 90 se muestra el cableado en el tablero eléctrico.



Figura 89.- Cableado PLC S7-1200 y Módulo SM 1234.



Figura 90.- Cableado de Dispositivos.

Al tratarse de un Módulo de red PROFINET destinado a fines educativos de aprendizaje: Las entradas y salidas de los PLCs S7-1200 y los módulos Analógicos SM 1234 deben ser de fácil acceso e identificación.

En la Figura 91 se muestran las entradas y salidas de los dispositivos mencionados. En el Anexo C-1 se muestra el diagrama unifilar del conexionado del módulo.

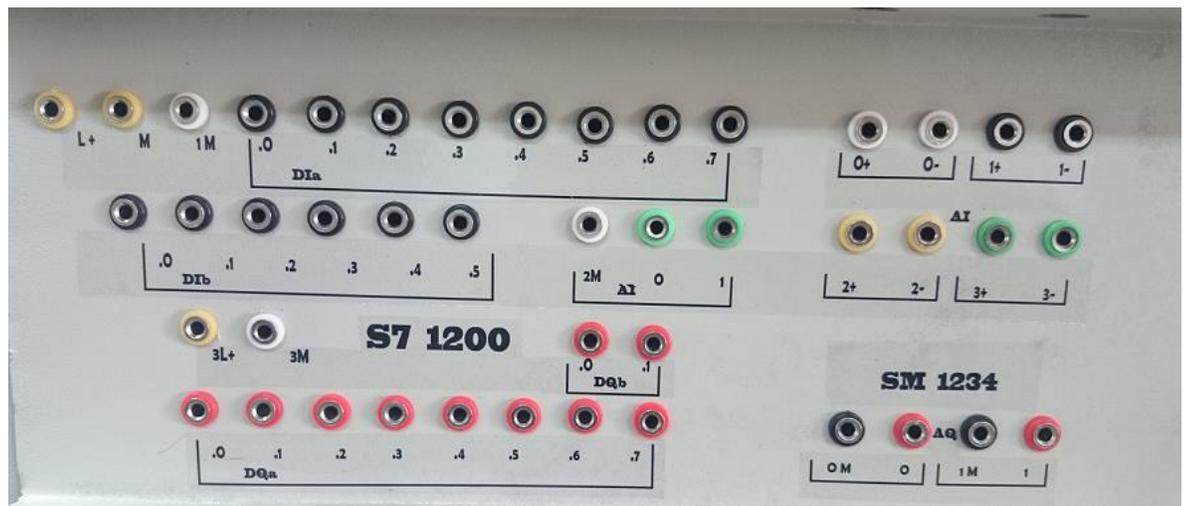


Figura 91.- Entradas / Salidas de los Dispositivos.

3.2.3.- CABLEADO RED PROFINET.

Luego del cableado eléctrico se procede a realizar el cableado de la red Profinet, para lo cual primero se ensambla el cable IE FC TP Standard Cable GP 2 x 2 y el conector IE FC RJ45 como se muestra en la Figura 92.



Figura 92.- Ensamble Cable para conexión Profinet.

3.2.3.1.- Conexión de Dispositivos.

Una vez identificados los puertos para la comunicación del Interface Profinet de cada uno de los dispositivos se procede a su respectiva conexión. En la Tabla 20 se muestra la distribución de los puertos de comunicación.

Tabla 20

Distribución de puertos al Switch.

DISTRIBUCIÓN DE PUERTOS PROFINET		
DISPOSITIVO	PUERTO RJ45	SWITCH
PLC S7-1200	P1	X4
PLC S7-1200	P2	X3
PLC S7-1500	P0	X2
PANEL HMI TP700	HMI	X1

En la Figura 93 se muestra el cableado de la red industrial Profinet de todos los dispositivos que intervienen en la misma.

En el Anexo C-2 se muestra el diagrama de conexionado de la red Profinet.

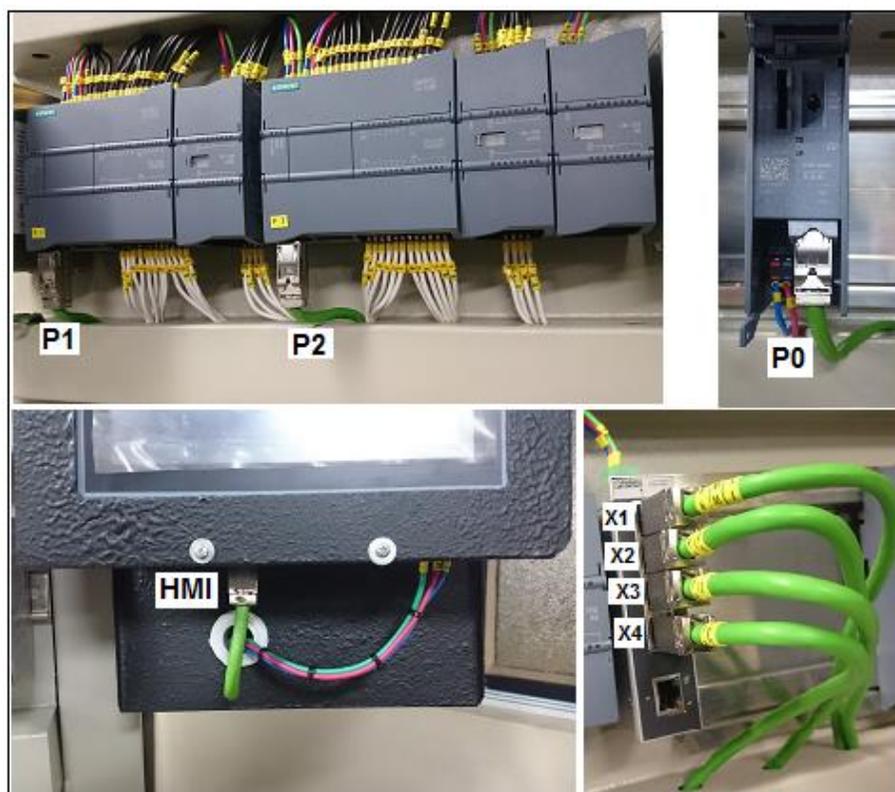


Figura 93.- Cableado Profinet de Dispositivos.

En la Figura 94 se muestra el sistema de Red Profinet instalado.



Figura 94.- Sistema de Red Profinet instalado.

En la Figura 95 se muestra en módulo de red Profinet terminado y ubicado en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica.



Figura 95.- Módulo de red Profinet terminado.

3.3.- CONFIGURACIÓN TÍA PORTAL.

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal V13) integra diferentes productos SIMATIC en una aplicación de software que le permitirá aumentar la productividad y la eficiencia de los procesos y equipos Siemens.

3.3.1.- CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS.

Para configurar un equipo o dispositivo en el TIA PORTAL V13 primero se crea un proyecto nuevo o abrimos uno ya existente en la ventana que se muestra en la Figura 96. Se da clic en Abrir.

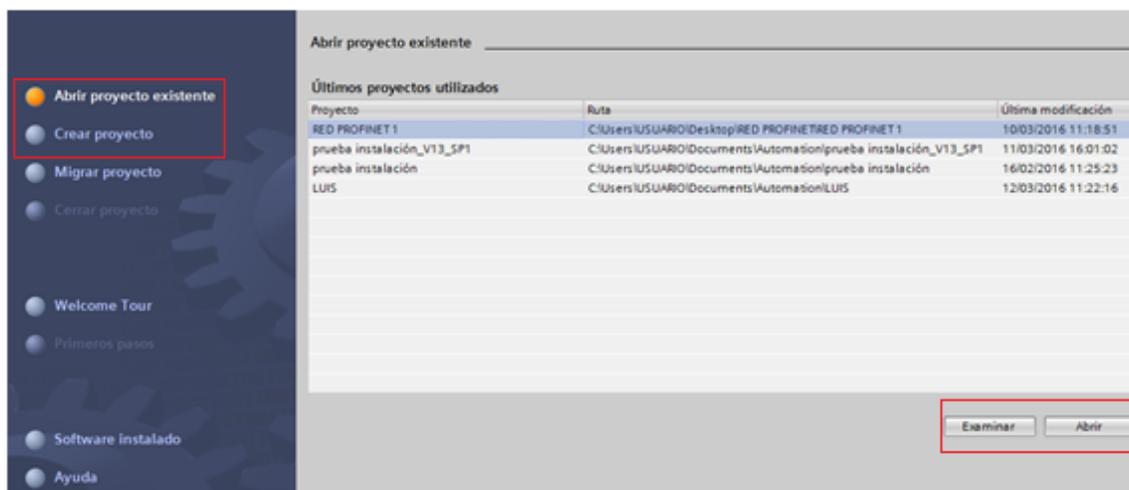


Figura 96.- Ventana de Creación de Proyectos.

En la Figura 97 se muestran las opciones para Agregar Dispositivos como: Controladores, Paneles HMI y Sistemas PC.

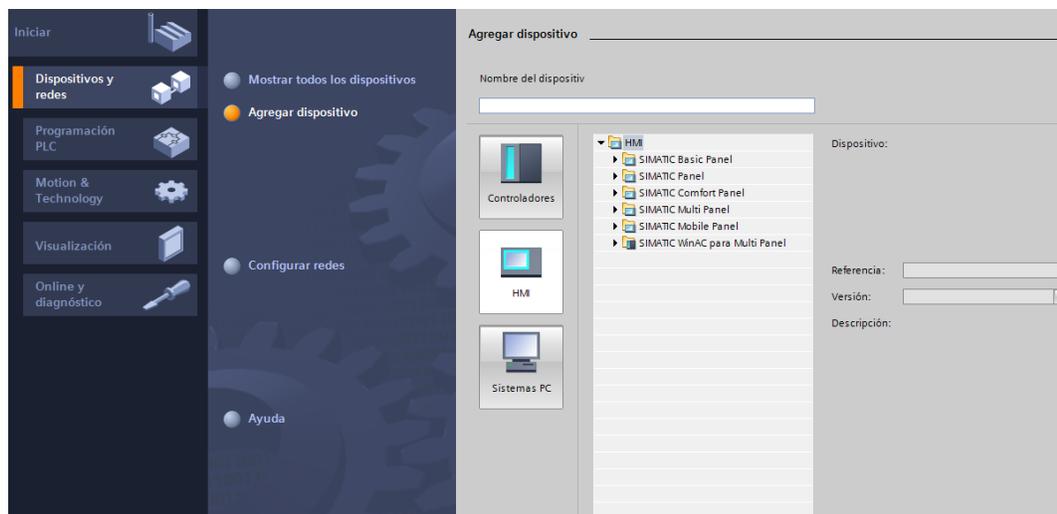


Figura 97.- Opciones para Agregar Dispositivos.

Para agregar un PLC S7-1200 se selecciona la opción Controladores, CPU 1200 sin especificar y damos clic en agregar (Figura 98).

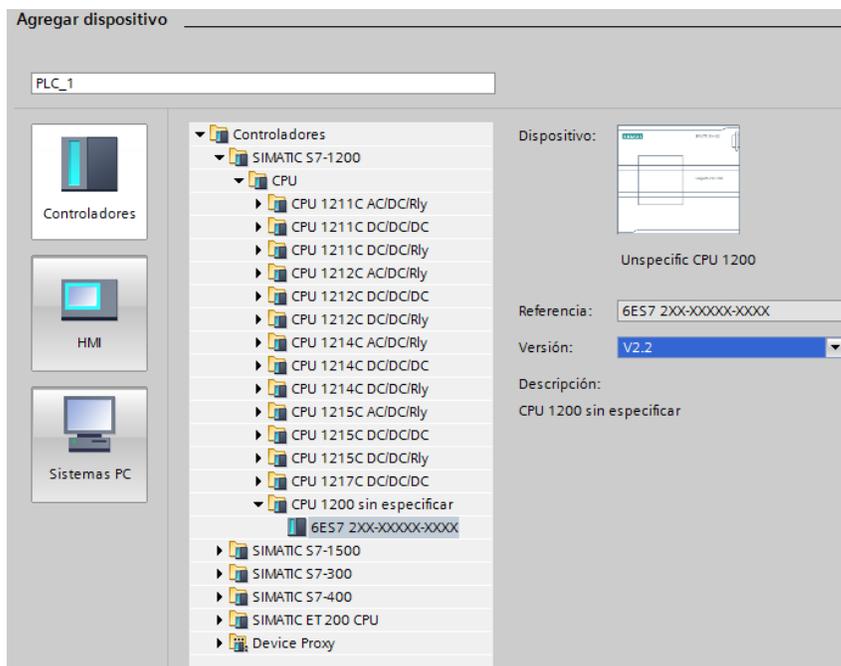


Figura 98.- Agregar dispositivo CPU 1200 sin especificar.

En la Figura 99 para que el software reconozca el dispositivo conectado automáticamente se da clic en determinar.

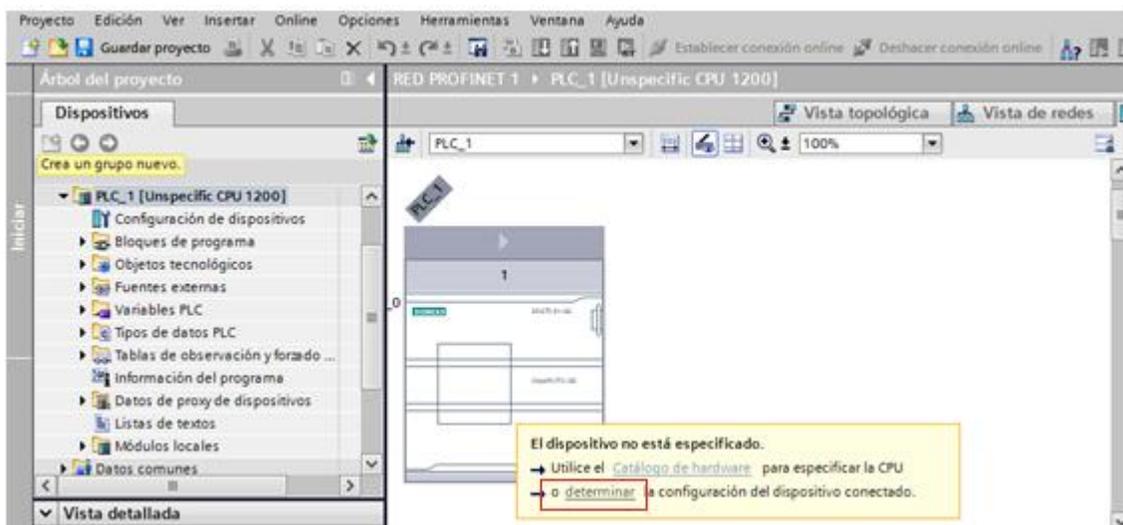


Figura 99.- Determinar dispositivo Conectado.

A continuación aparece la siguiente ventana (Figura 100) con los dispositivos detectados, seleccionamos el requerido y clic en detección.

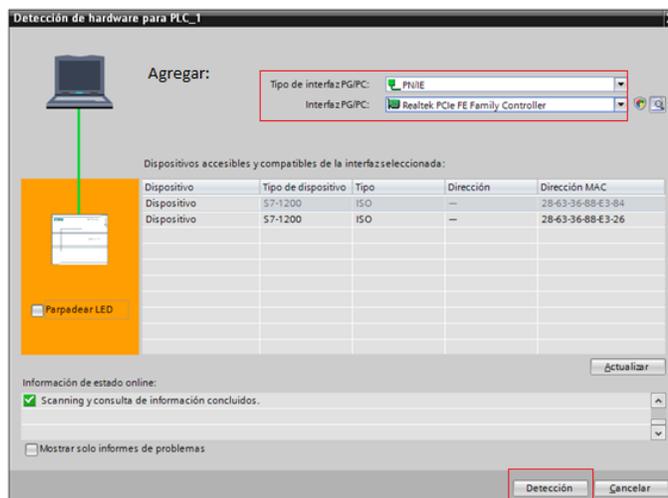


Figura 100.-Detección del dispositivo requerido

El software detecta automáticamente el dispositivo conectado a la red (Figura 101), así como determina su dirección IP.

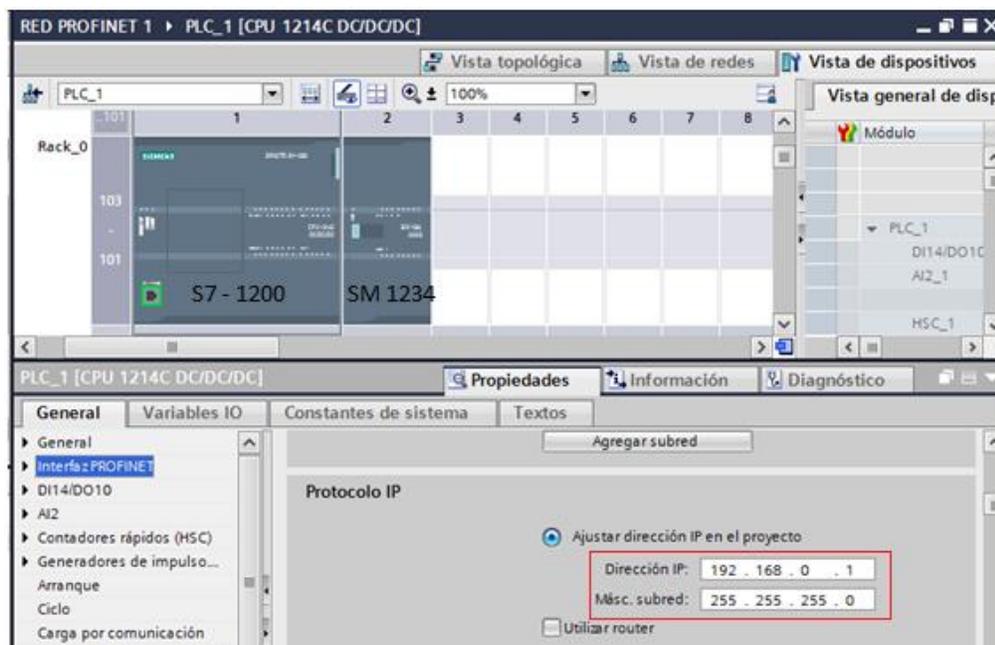


Figura 101.- Detección del PLC S7-1200, Módulo SM1234.

En la Figura 102 se muestra la detección del PLC S7-1500 conectado en la red Profinet del módulo implementado. Así como su respectiva de dirección IP.

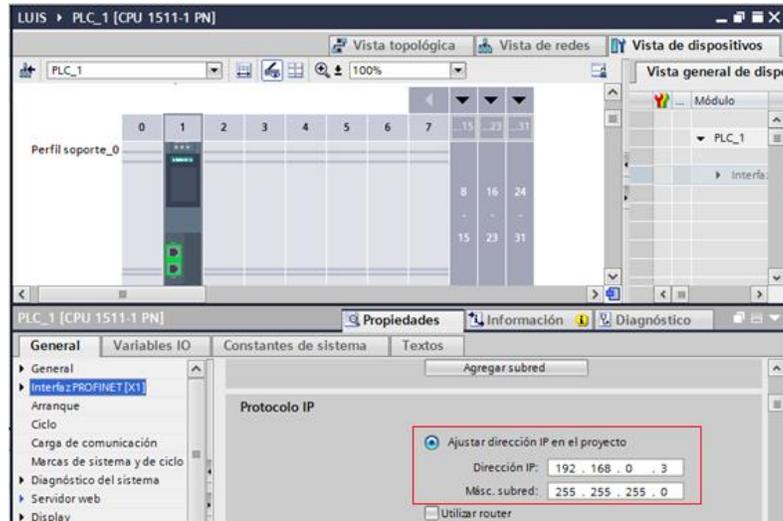


Figura 102.- PLC S7-1500. Detectado.

Para la detección del panel HMI se siguen los mismos pasos descritos anteriormente en la Figura 103 se muestra la ventana para detección. Se da clic en Iniciar Búsqueda y luego clic en detección.

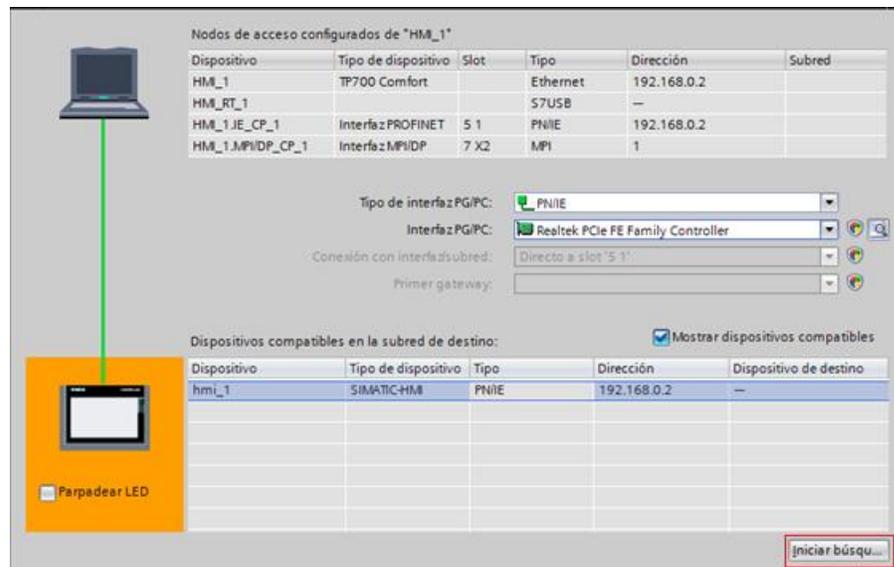


Figura 103.- Detección Pantalla HMI TP 700.

El panel HMI TP 700 detectado automáticamente por el software TIA PORTAL V13 se muestra en la Figura 104. Con la dirección IP correspondiente.

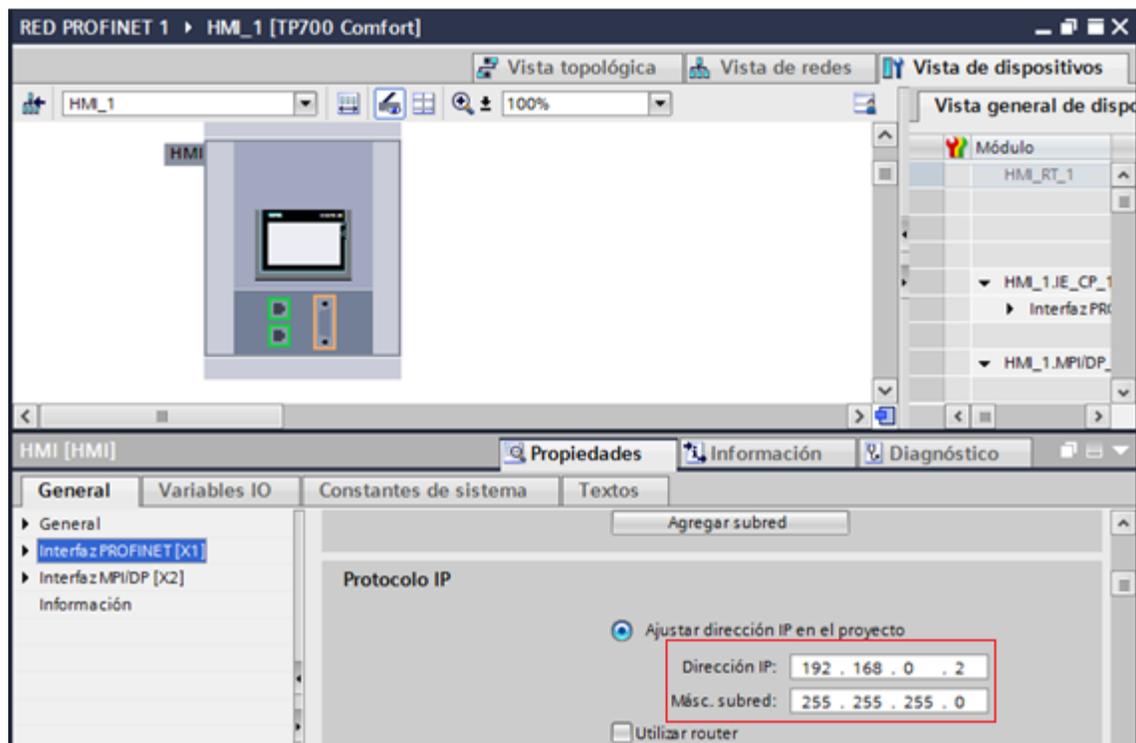


Figura 104.- Panel HMI TP 700. Detectado.

3.3.2.- CONFIGURACIÓN RED PROFINET.

Para realizar la configuración de una red Profinet en el software de programación TIA PORTAL V13, primero verificamos que las conexiones físicas de la red se encuentren correctamente realizadas.

Luego de agregar los dispositivos que intervienen en la red Profinet damos clic en Configuración de dispositivos, el TIA PORTAL nos presenta las opciones: Vista Topológica y Vista de Redes como se puede observar en la Figura 105.

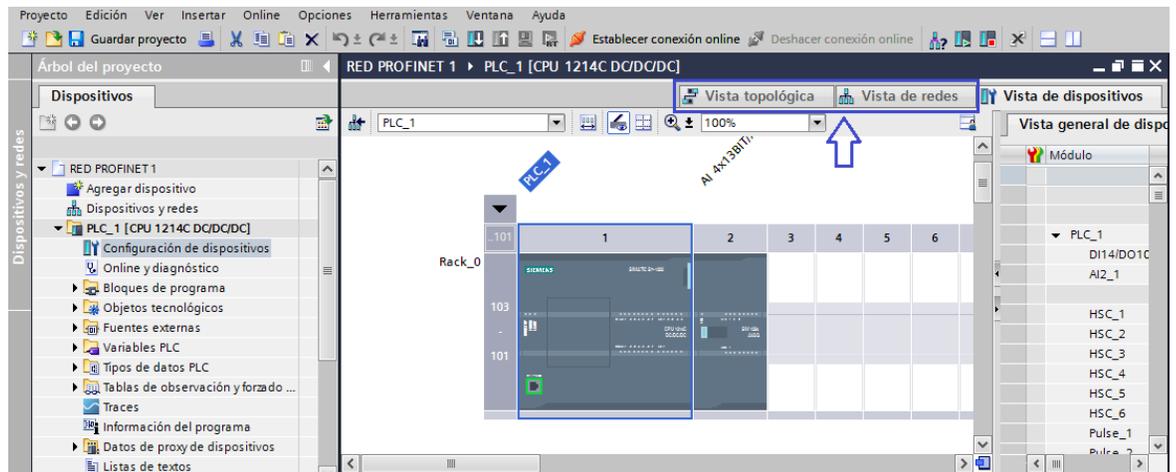


Figura 105.- Configuración de Dispositivos.

Dando clic en la opción **Vista topológica** (Figura 106) se observa todos los dispositivos agregados para la configuración de la red Profinet.

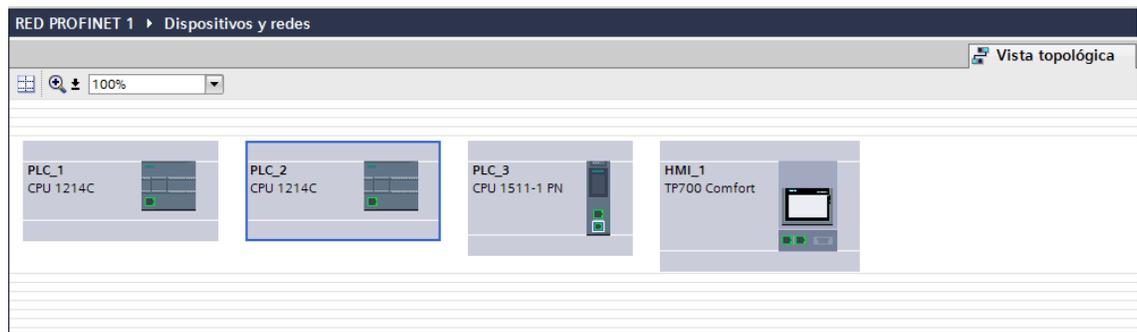


Figura 106.- Vista Topológica.

Dando clic seleccionamos la opción **Vista de Redes** (Figura 107), esta ventana permite realizar la conexión de los dispositivos dando clic en **Conectar en Red y Conexiones**.

La conexión de los dispositivos crea la Red PN/IE donde:

- **PN:** Profinet.
- **IE:** Industrial Ethernet.

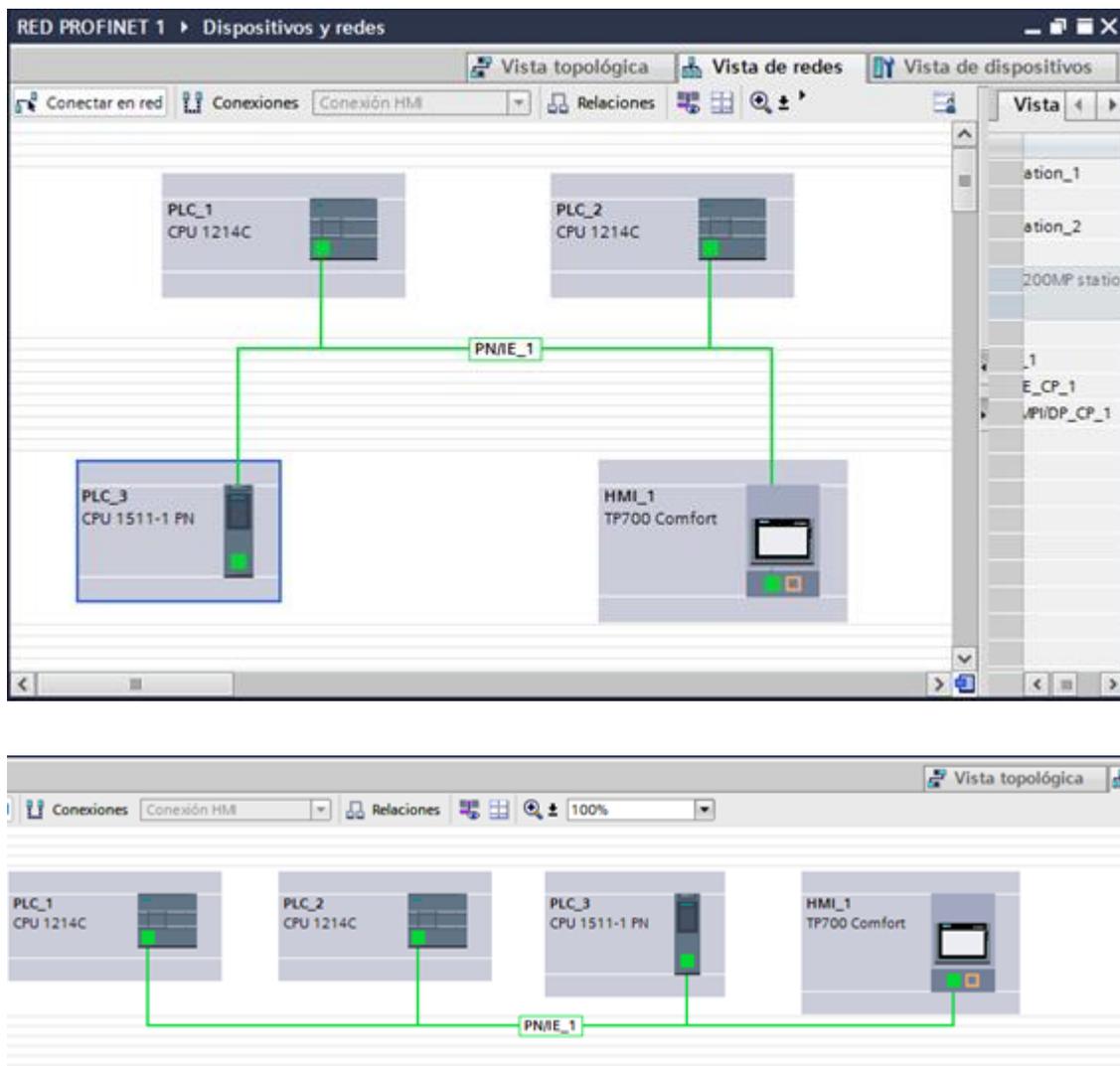


Figura 107.- Configuración Red Profinet.

3.3.3.- CONFIGURACIÓN MAESTRO - ESCLAVO.

El software TIA PORTAL V13 ofrece múltiples opciones en la programación de dispositivos, una de ellas es permitir con gran facilidad la configuración maestro – esclavo utilizado en gran medida en la industria actualmente.

Primero agregamos los PLCs que intervienen en la configuración maestro – esclavo como se puede evidenciar en la Figura 108.

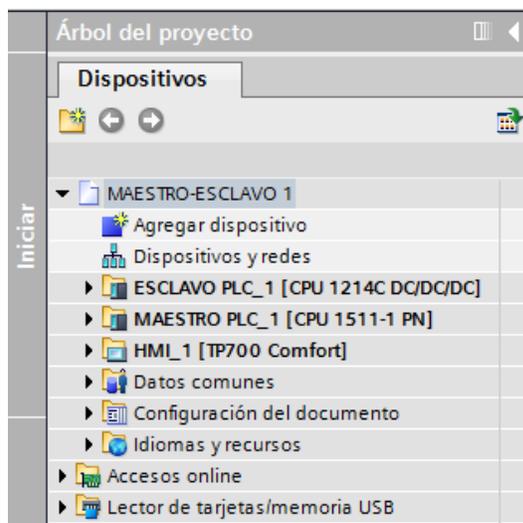


Figura 108.- Dispositivos agregados para configuración Maestro – Esclavo.

Nos ubicamos en el PLC Maestro, Bloque de Programa y **Main**. Nos vamos a Instrucciones, Comunicación, **Open user Communication** y seleccionamos TSEND_C. Como se evidencia en la Figura 109.

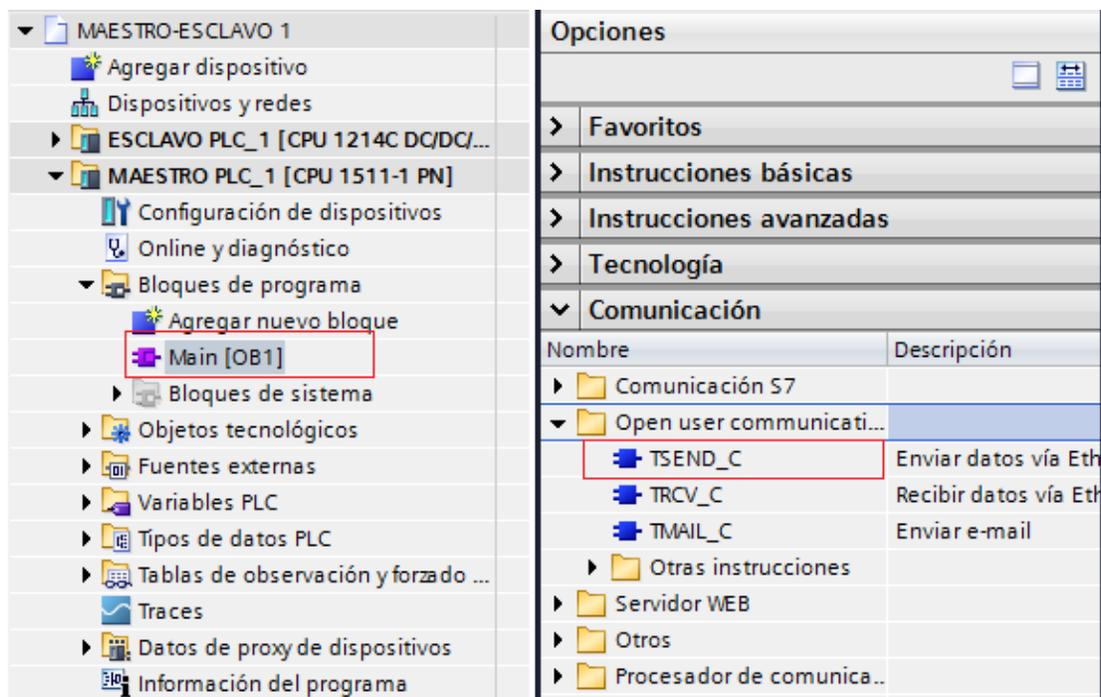


Figura 109.- Configuración PLC Maestro.

Para configurar la función TSEND_C nos ubicamos en la ventana propiedades o damos clic sobre el icono **Iniciar Configuración** como se indica en la Figura 110.

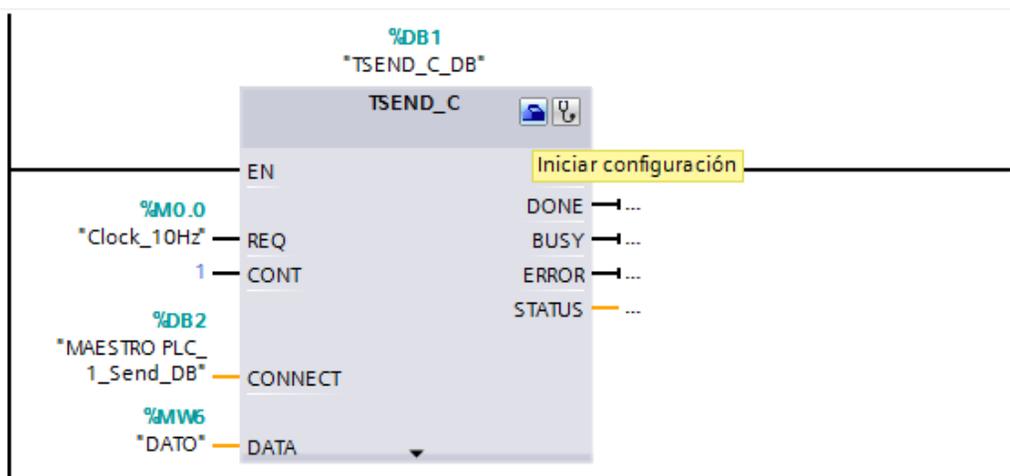


Figura 110.- Función TSEND_C.

Al iniciar la configuración nos aparece la siguiente ventana (Figura 111).

Figura 111.- Ventana Parámetros de Conexión TSEND_C.

En la pestaña **Interlocutor** seleccionamos en PLC Esclavo que anteriormente agregamos. Para realizar este paso los dispositivos deben estar en red Profinet.

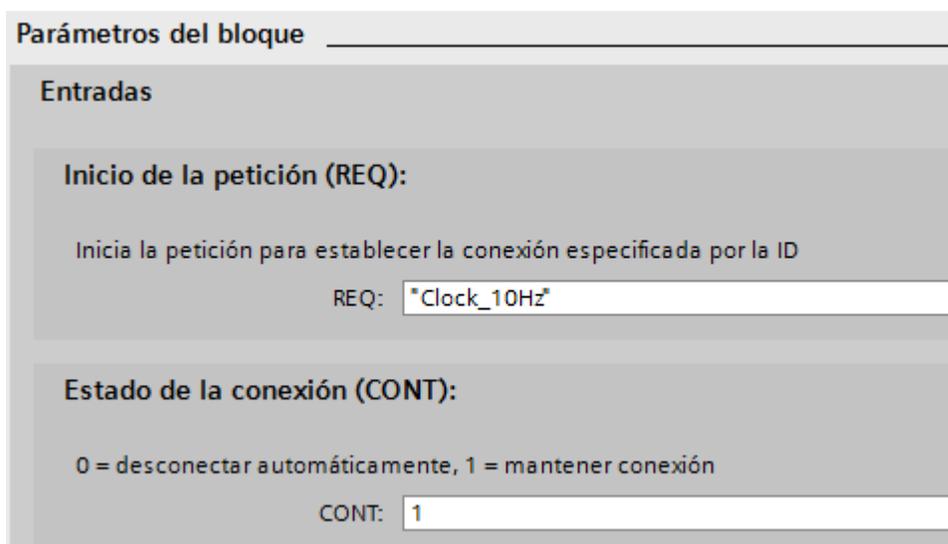
En la pestaña **Datos de Conexión** tanto del Maestro como del Esclavo damos clic en **nuevo** y automáticamente se generan las direcciones para ambos:

- MAESTRO PLC_1_Send_DB.
- ESCLAVO PLC_1_Receive_DB.

En la Figura 112 se muestra la ventana de Parámetros de Bloque donde se requiere una marca de reloj para el envío de pulsos durante la transmisión.

En el PLC S7-1500 habilitamos los Bits de marca de ciclo dando clic en Activar marcas e ciclo. Para este caso es la memoria interna: %M0.0 (Clock_10Hz). Este dato lo ubicamos en la celda Inicio de petición REQ.

En la celda Estado de Conexión (CONT) se ingresa 1 que significa mantener la conexión.



Parámetros del bloque

Entradas

Inicio de la petición (REQ):

Inicia la petición para establecer la conexión especificada por la ID

REQ: *Clock_10Hz*

Estado de la conexión (CONT):

0 = desconectar automáticamente, 1 = mantener conexión

CONT: 1

Figura 112.- Parámetros de Bloque TSEND_C.

Posteriormente nos ubicamos en el PLC Esclavo, Bloque de Programa y **Main**. Nos vamos a Instrucciones, Comunicación, **Open user Communication** y seleccionamos TRCV_C. Como se evidencia en la Figura 113.

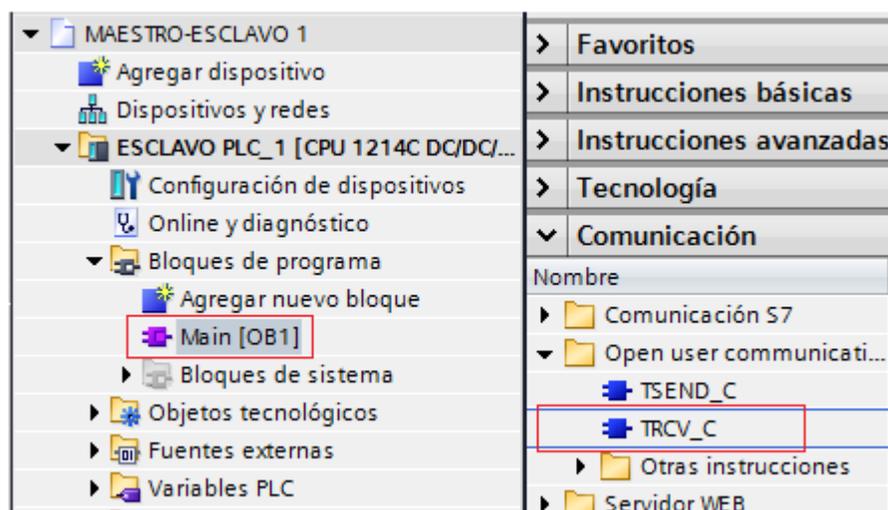


Figura 113.- Configuración PLC Esclavo.

Para configurar la función TRCV_C nos ubicamos en la ventana propiedades o damos clic sobre el icono **Iniciar Configuración** como se indica en la Figura 114.

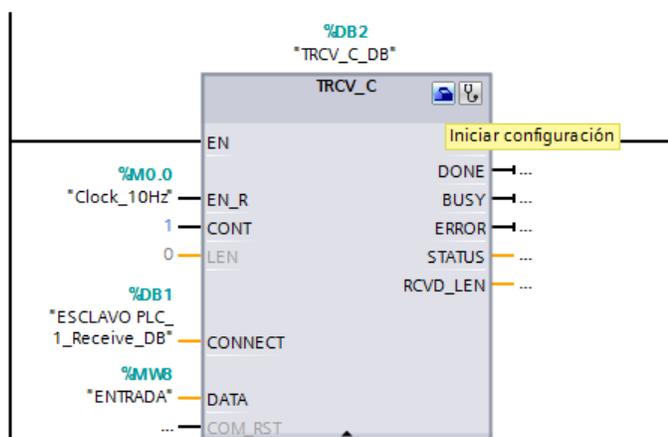


Figura 114.- Función TRCV_C.

Al iniciar la configuración aparece la siguiente ventana de los Parámetros de la Conexión (Figura 115).

Figura 115.- Ventana Parámetros de Conexión TRCV_C.

En la pestaña **Interlocutor** seleccionamos en PLC Maestro que anteriormente agregamos. Para realizar este paso los dispositivos deben estar en red Profinet.

En la pestaña **Datos de Conexión** tanto del Maestro como del Esclavo damos clic y seleccionamos los siguientes parámetros:

- MAESTRO PLC_1_Send_DB. Para el maestro.
- ESCLAVO PLC_1_Receive_DB. Para el esclavo.

En la Figura 116 se muestra la ventana de **Parámetros de Bloque** donde se requiere una marca de reloj para él envío de pulsos durante la transmisión.

En el PLC S7-1200 habilitamos los Bits de marca de ciclo dando clic en Activar marcas e ciclo. Para este caso es la memoria interna: %M0.0 (Clock_10Hz). Este dato lo ubicamos en la celda Área de Recepción (EN_R).

En la celda **Estado de Conexión (CONT)** se ingresa 1 que significa mantener la conexión.

Parámetros del bloque

Entradas

Área de recepción (EN_R):

Parámetro de control Habilitación de recepción

EN_R:

Estado de la conexión (CONT):

0 = desconectar automáticamente, 1 = mantener conexión

CONT:

Figura 116.- Parámetros de bloque TRCV_C.

3.3.4.- CONFIGURACIÓN PID.

Un ejemplo sencillo de un lazo de regulación (Figura 117) es la regulación de la temperatura ambiente mediante una calefacción. La temperatura ambiente se mide con un sensor y se transmite a un regulador. Este compara la temperatura ambiente actual con una consigna y calcula un valor de salida (variable manipulada) para controlar la calefacción.

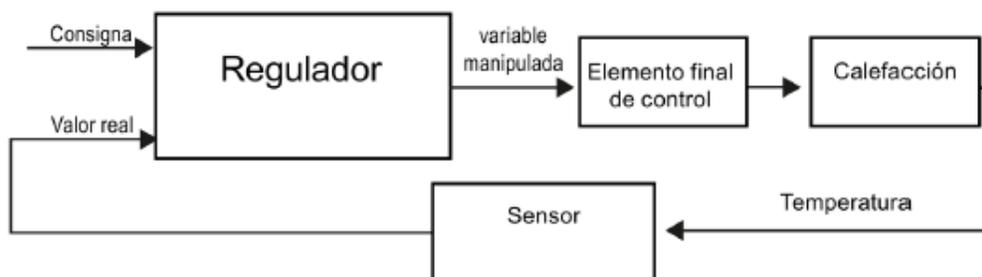


Figura 117.- Lazo de Regulación PID.

Un regulador PID ajustado correctamente alcanza la consigna lo más rápido posible y luego la mantiene constante. Tras un cambio del valor de salida el valor real suele cambiar de forma retardada. Este comportamiento debe compensarse con el regulador.

a. Objeto tecnológico PID_Compact

El objeto tecnológico PID_Compact (Figura 118) ofrece un regulador PID continuo con optimización integrada. Asimismo, también es posible configurar un regulador de impulsos. Es posible elegir entre el modo manual y el automático.

PID-Compact registra de forma continua el valor real medido dentro de un lazo de regulación y lo compara con la consigna deseada. A partir del error de regulación resultante, la instrucción PID_Compact calcula un valor de salida, con el que el valor real se iguala con la consigna con la máxima rapidez y estabilidad. En los reguladores PID, el valor de salida se compone de tres acciones:

- **Acción P.-** La acción P del valor de salida aumenta proporcionalmente al error de regulación.
- **Acción I.-** La acción I del valor de salida aumenta hasta que se compensa el error de regulación.
- **Acción D.-** La acción D aumenta con una velocidad de variación creciente del error de regulación. El valor real se iguala lo más rápidamente posible con la consigna. Si la velocidad de variación del error de regulación vuelve a reducirse, también lo hace la acción D.

La instrucción PID_Compact calcula los parámetros P, I y D para su sistema regulado de forma autónoma durante la optimización inicial. Los parámetros pueden optimizarse aún más a través de una optimización fina. No es necesario determinar los parámetros manualmente.

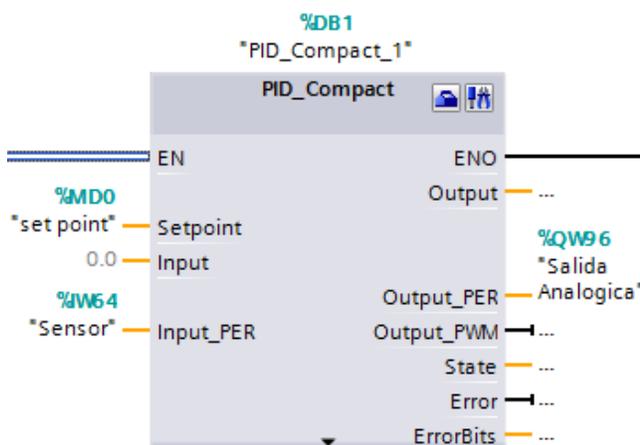


Figura 118.- Objeto tecnológico PID_Compact

En el software TIA PORTAL V13 en la pestaña Objetos tecnológicos, Agregar objeto y PID Control como se indica en la Figura 119.

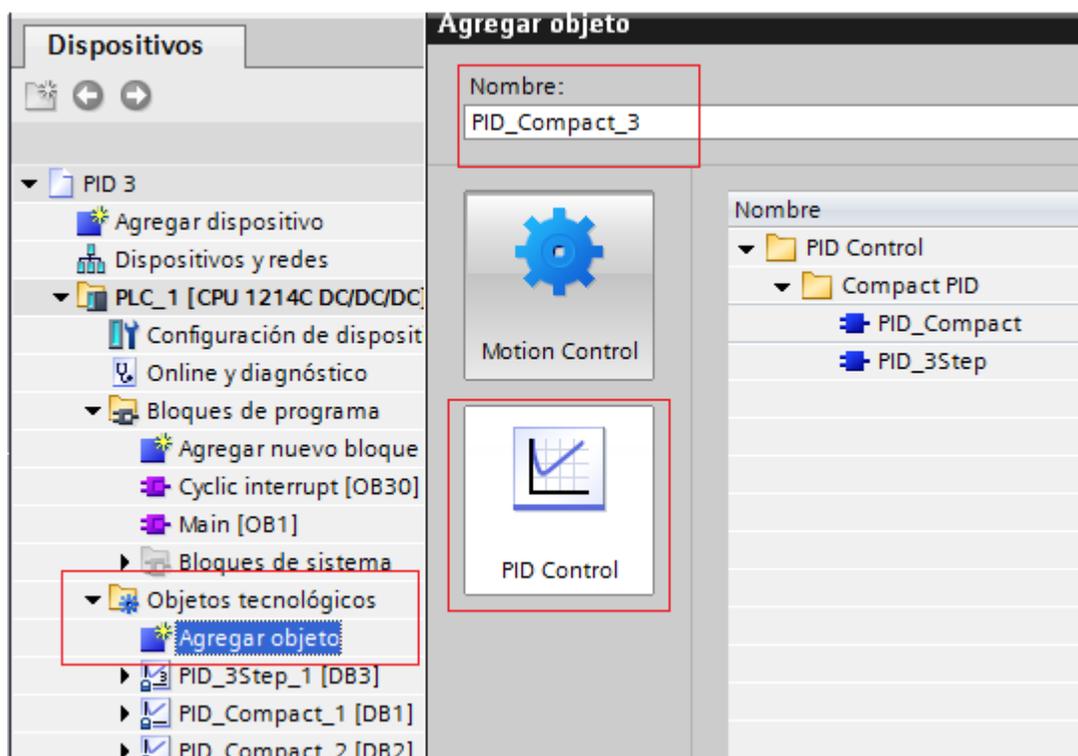


Figura 119.- Agregar Objeto tecnológico.

Abra la carpeta Bloques de programa y Agregar nuevo bloque. Seleccione un nuevo bloque organizacional del tipo Interrupción Cíclica y Aceptar como se indica en la Figura 120.

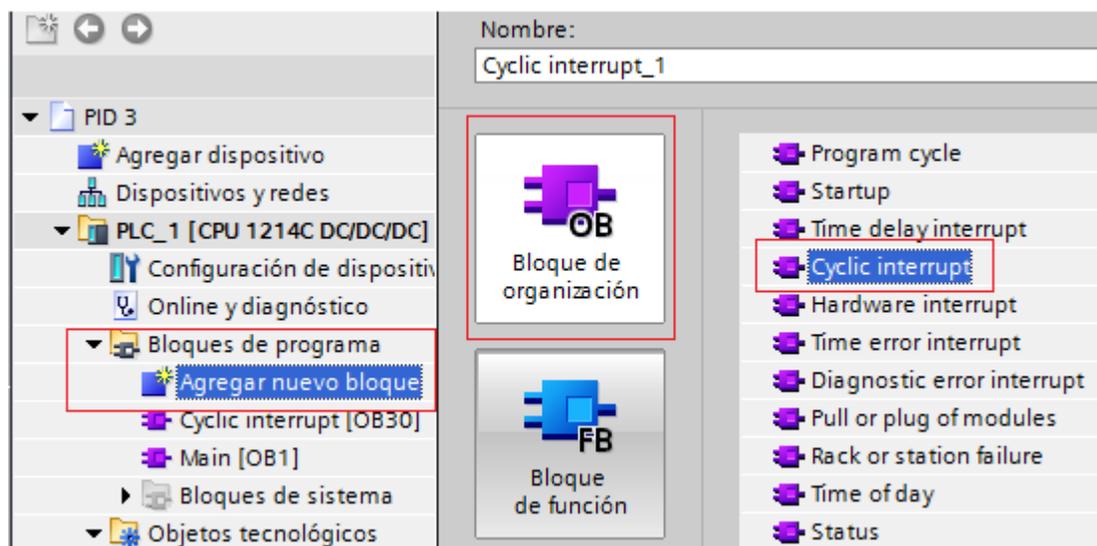


Figura 120.- Agregar Interrupción Cíclica.

En la opción Instrucciones, Tecnología, Pestaña Compact PID y agregamos el objeto tecnológico seleccionado anteriormente y Aceptar (Figura 121).

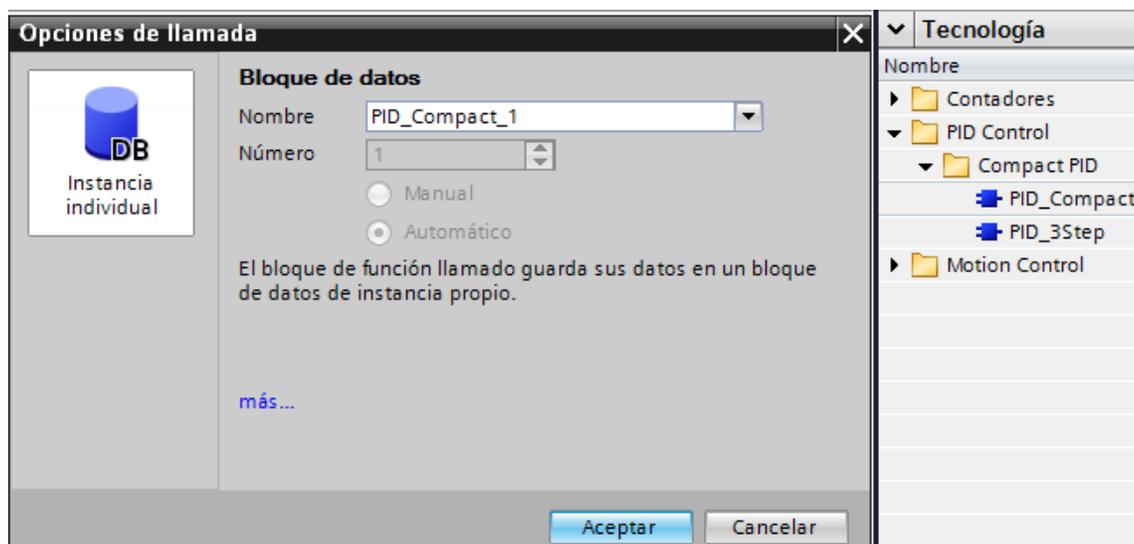


Figura 121.- Agregar PID_Compact en Interrupción Cíclica.

b. Configuración objeto tecnológico PID_Compact

Configure las propiedades siguientes del objeto tecnológico PID_Compact en el área de ajustes básicos de la ventana de inspección o de configuración (Figura 122). En el grupo "Tipo de regulación" seleccione la magnitud física y la unidad de la consigna y el valor real.

- Magnitud física
- Sentido de regulación
- Comportamiento en arranque después de un reset.
- Consigna (sólo en la ventana de inspección)
- Valor real (sólo en la ventana de inspección)
- Valor de salida (sólo en la ventana de inspección)

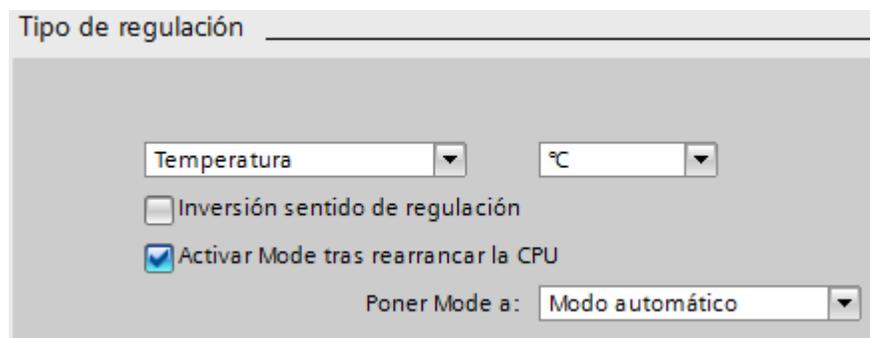


Figura 122.- Tipo de regulación PID.

La consigna, el valor real y el valor de salida sólo pueden configurarse en la ventana de inspección del editor de programación (Figura 123).

Para cada salida digital elija la fuente:

DB de instancia

Se utiliza el valor que se encuentra almacenado en el DB de instancia.

El valor debe actualizarse en el DB de instancia del programa de usuario.

En la instrucción no puede haber ningún valor.

Modificación posible desde HMI.

Instrucción

Se utiliza el valor que se conecta con la instrucción.

Cada vez que se llama la instrucción, el valor se escribe en el DB de instancia.

No se puede modificar desde HMI.

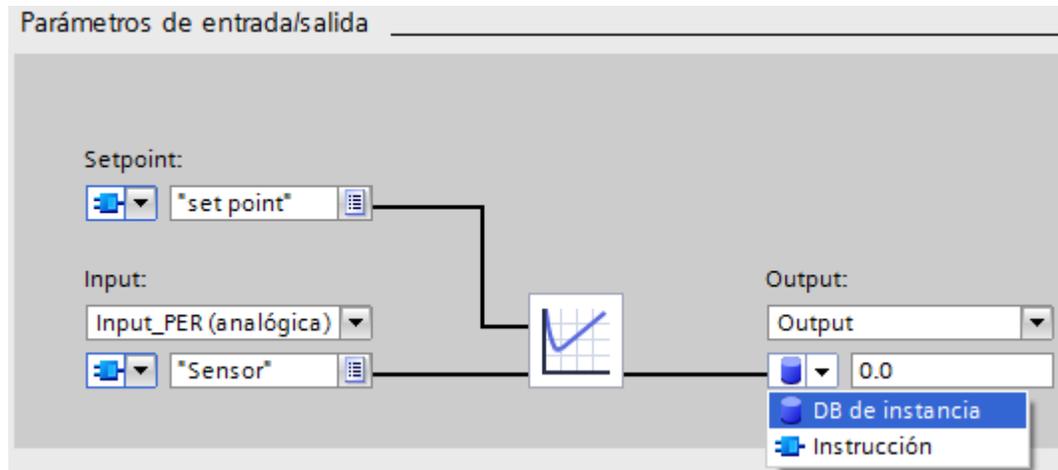


Figura 123.- Parámetros de EntradaSalida PID

Consigna.- Para especificar una consigna fija, proceda del siguiente modo:

- 1).- Seleccione "DB de instancia".
- 2).- Introduzca una consigna, como puede ser 80 °C.
- 3).- En caso necesario, elimine una entrada de la instrucción.

Para especificar una consigna variable, proceda del siguiente modo:

- 1).- Seleccione "Instrucción".
- 2).- Indique el nombre de la variable REAL en la que está almacenada la consigna.

Es posible asignar varios valores controlados por programa a la variable REAL para, por ejemplo, modificar la consigna de tiempo de forma controlada.

Valor de entrada.- Si utiliza directamente el valor de la entrada analógica, PID_Compact escala el valor de la entrada analógica al tamaño físico.

Si se desea acondicionar el valor de la entrada analógica, es preciso escribir un programa propio para su acondicionamiento. Por ejemplo, el valor real no es directamente proporcional al valor de la entrada analógica. El valor real acondicionado debe estar en formato de coma flotante.

Para utilizar directamente el valor de la entrada analógica, proceda del siguiente modo:

- 1).- En la lista desplegable "Input", seleccione la entrada "Input_PER".
- 2).- Seleccione "Instrucción" como fuente.
- 3).- Introduzca la dirección de la entrada analógica.

Para utilizar el valor real acondicionado en el formato de coma flotante, proceda del siguiente modo:

- 1).- En la lista desplegable "Input", seleccione la entrada "Input".
- 2).- Seleccione "Instrucción" como fuente.
- 3).- Indique el nombre de la variable en la que está almacenado el valor real acondicionado.

Valor de Salida.- PID_Compact ofrece tres valores de salida. El valor de salida que se utilice dependerá del actuador.

- Output_PER

El actuador se activa a través de una salida analógica y se controla con una señal continua, como puede ser 0 a 10 V, 4 a 20 mA.

- Output

El valor de salida debe acondicionarse mediante el programa de usuario, por ejemplo, porque el actuador muestra un comportamiento no lineal.

- Output_PWM

El actuador se controla a través de una salida digital. Una modulación de ancho de impulsos permite formar tiempos de conexión y desconexión variables.

Para utilizar el valor de salida analógico, proceda del siguiente modo:

- 1).- En la lista desplegable "Output", seleccione la entrada "Output_PER" (analógica).
- 2).- Seleccione "Instrucción".
- 3).- Introduzca la dirección de la salida analógica.

Para acondicionar el valor de salida mediante el programa de usuario, proceda del siguiente modo:

- 1).- En la lista desplegable "Output", seleccione la entrada "Output".
- 2).- Seleccione "DB de instancia".
El valor de salida calculado se guarda en DB de instancia.
- 3).- Para acondicionar el valor de salida utilice el parámetro de salida Output.
- 4).- Transfiera el valor de salida acondicionado hasta el actuador a través de una salida digital o analógica de la CPU.

Para utilizar el valor de salida digital, proceda del siguiente modo:

- 1).- En la lista desplegable "Output", seleccione la entrada "Output_PWM".
- 2).- Seleccione "Instrucción".
- 3).- Introduzca la dirección de la salida digital.

Escalar valor real.- Si en los ajustes básicos se ha elegido el uso de Input_PER, el valor de la entrada analógica debe convertirse en el tamaño físico del valor real. En el cuadro de visualización Input_PER se muestra la configuración actual.

Si el valor real es directamente proporcional al valor de la entrada analógica, Input_PER se escala a partir de una pareja de valores inferiores y superiores.

1).- En los campos de entrada "Valor real inferior escalado" y "Abajo" introduzca la pareja de valores inferiores.

2).- En los campos de entrada "Valor real superior escalado" y "Arriba" introduzca la pareja de valores superiores.

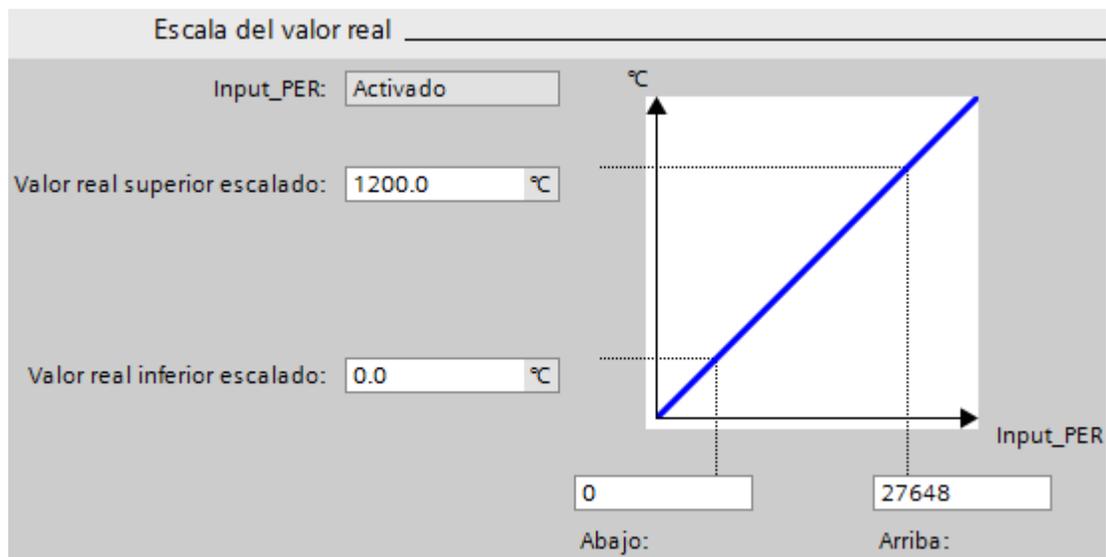


Figura 124.- Escalado valor real.

La configuración de hardware incluye una configuración predeterminada para los pares de valores. Para utilizar los pares de valores a partir de la configuración de hardware, proceda del siguiente modo:

1).- Seleccione la instrucción PID_Compact en el editor de programación.

2).- En los ajustes básicos, interconecte Input_PER con una entrada analógica.

3).- En la configuración del valor real, haga clic en el botón "Ajuste automático".

Los valores existentes se sobrescriben con los valores de la configuración de hardware.

Monitorización del valor real.- Configure un límite de advertencia inferior y uno superior para el valor real en la ventana de configuración "Monitorización del valor real". Si durante el funcionamiento se rebasa uno de los límites de advertencia por defecto o por exceso, se muestra una advertencia en la instrucción "PID_Compact".

- En el parámetro de salida "InputWarning_H", si se ha rebasado por exceso el límite superior de advertencia
- En el parámetro de salida "InputWarning_L", si se ha rebasado por defecto el límite inferior de advertencia

Los límites de advertencia deben encontrarse dentro de los límites superior e inferior del valor real. Si no introduce ningún valor, se utilizan los límites superior e inferior del valor real (Figura 125).

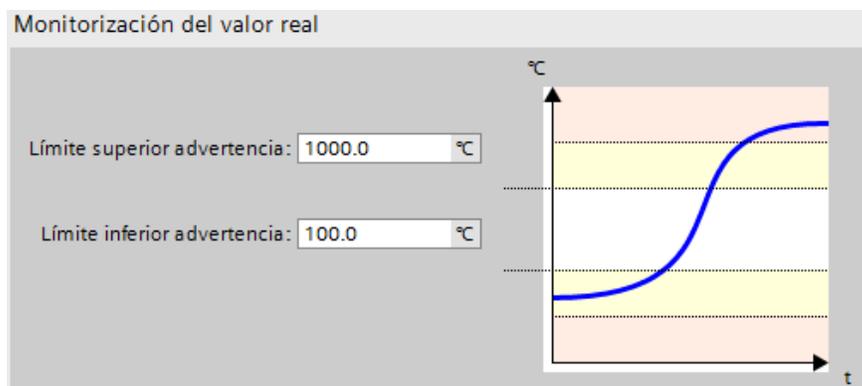


Figura 125.- Monitorización valor real.

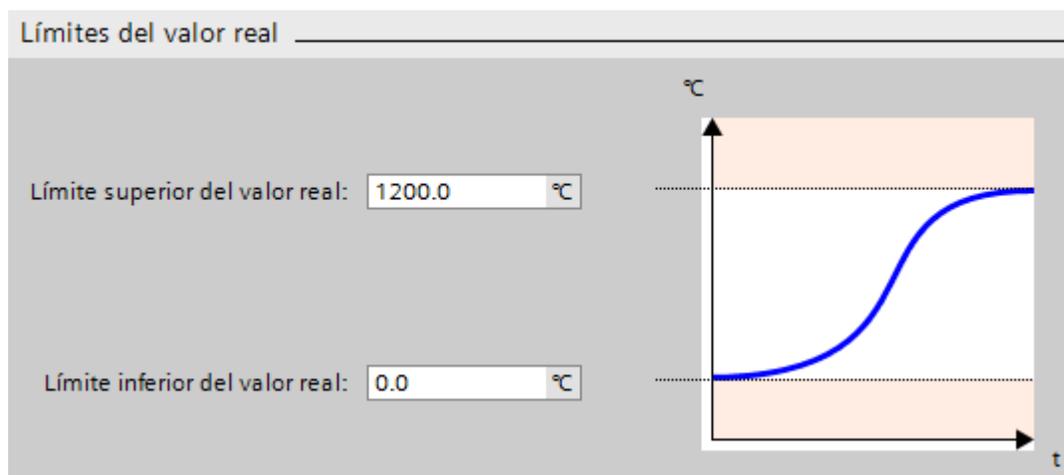
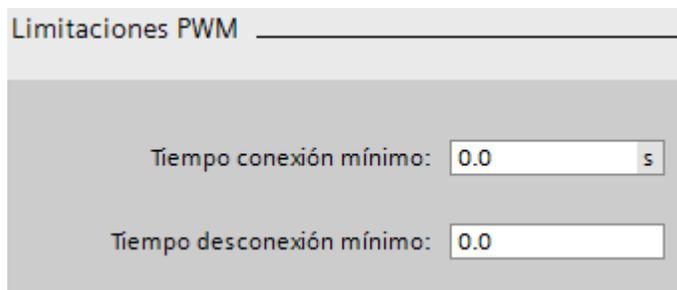


Figura 126.- Límites del valor real.

Limitaciones PWM.- Una modulación de ancho de impulsos transforma el valor del parámetro de salida Output en una secuencia de impulsos que se emite en el parámetro de salida Output_PWM. Output se calcula en el tiempo de muestreo del algoritmo PID, Output_PWM se emite en el tiempo de muestreo PID_Compact.

El tiempo de muestreo del algoritmo PID se determina durante la optimización inicial o la optimización fina. Al ajustar los parámetros PID manualmente, debe configurarse también ahí el tiempo de muestreo del algoritmo PID. El tiempo de muestreo PID_Compact equivale al tiempo de ciclo del OB invocante.

La duración del impulso es proporcional al valor de Output y es siempre un múltiplo entero del tiempo de muestreo PID_Compact.



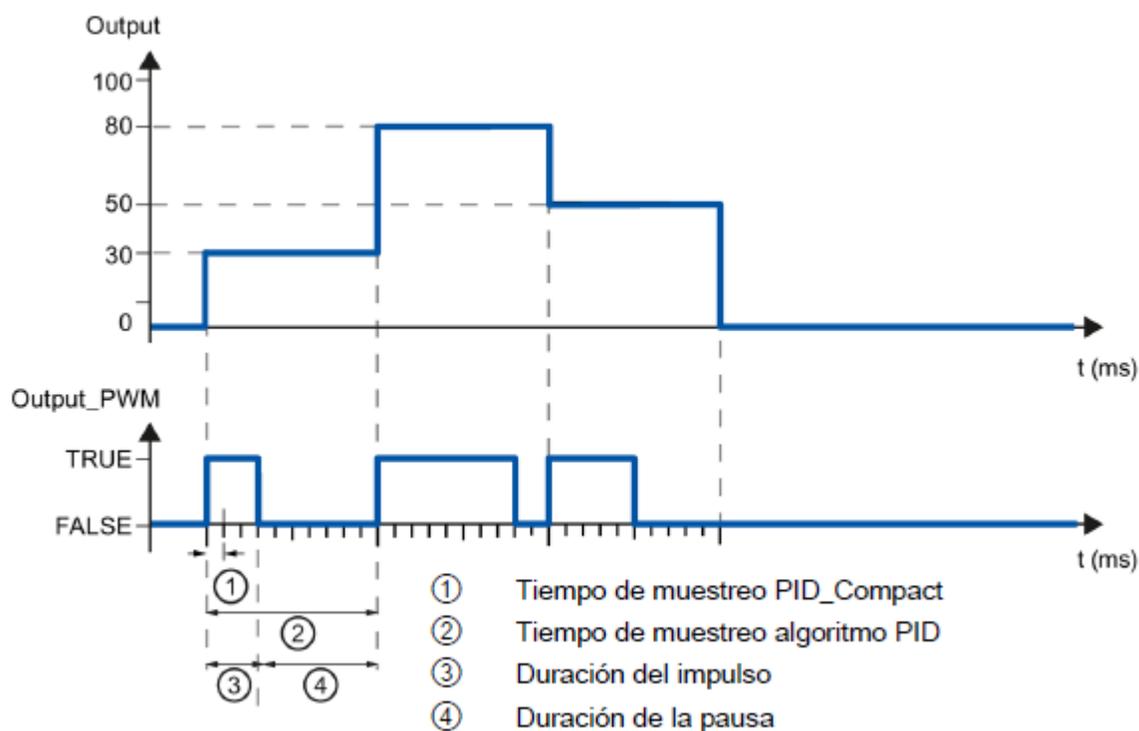


Figura 127.- Limitaciones PWM.

Límites del valor de salida.- Configure en tantos por ciento los límites absolutos del valor de salida en la ventana de configuración (Figura 128) "Límites del valor de salida". Los límites absolutos del valor de salida no se rebasan ni por exceso ni por defecto ni en el modo manual ni en el automático.

Si en el modo manual se especifica un valor de salida fuera de los límites, el valor efectivo se limitará en la CPU a los límites configurados.

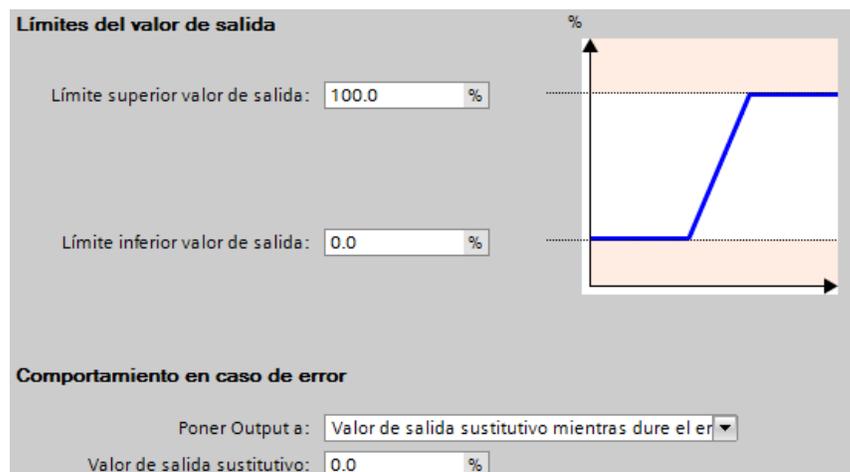
Los valores válidos para los límites del valor de salida dependen del Output utilizado que se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21

Límites del valor de salida.

Output	-100,0 a 100,0
Output_PER	-100,0 a 100,0
Output_PWM	0,0 a 100,0

En caso de error, PID_Compact ajusta el valor de salida a 0.0. Así pues, 0.0 debe encontrarse siempre dentro de los límites del valor de salida. Para obtener un límite inferior del valor de salida mayor que 0.0, en el programa de usuario debe sumarse un offset a Output y Output_PER.

**Figura 128.-** Límites del valor de salida.

Parámetros PID.- En la ventana de configuración "Parámetros PID" (Figura 129) se visualizan los parámetros PID. Durante la optimización los parámetros PID se adaptan al sistema regulado. No es necesario introducir los parámetros PID de forma manual.

Ganancia Proporcional.- El valor indica la ganancia proporcional del regulador. PID_Compact no funciona con una ganancia proporcional negativa. El sentido de regulación se invierte en Ajustes básicos >Tipo de regulación.

Tiempo de Integración.- El tiempo de integración determina el comportamiento temporal de la acción I. La desconexión de la acción I se realiza con el tiempo de integración = 0,0.

Tiempo derivativo.- El tiempo de la acción derivada determina el comportamiento temporal de la acción D. La desconexión de la acción D se realiza con el tiempo derivativo = 0,0.

Parámetros PID

Activar entrada manual

Ganancia proporcional: 28.34592

Tiempo de integración: 3.479253 s

Tiempo derivativo: 8.826057E-1

Coeficiente retardo derivativo: 0.1

Ponderación de la acción P: 2.532285E-1

Ponderación de la acción D: 0.0

Tiempo muestreo algoritmo PID: 1.000002E-1 s

Regla para la optimización

Estructura del regulador: PID

Figura 129.- Parámetros PID

Coefficiente para el retardo de la acción derivada.- El efecto de la acción D se retrasa mediante el coeficiente de retardo de la acción derivada.

Retardo de la acción derivada = Tiempo derivativo x coeficiente de retardo de la acción derivada

- 0.0: la acción D solo surte efecto para un ciclo y, por ello, casi no es efectiva.

- 0.5: Este valor se ha acreditado en la práctica para sistemas regulados con una constante de tiempo dominante.
- > 1.0: Cuanto mayor sea el coeficiente, más se retrasará el efecto de la acción D.

Ponderación de la acción P.- En el caso de que se produzcan cambios en la consigna, es posible atenuar la acción P.

Se recomiendan valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción P es totalmente efectiva cuando se cambia la consigna
- 0.0: La acción P no actúa al cambiar la consigna

Si se produce una modificación del valor real, la acción P es totalmente efectiva.

Ponderación de la acción D.- En el caso de que se produzcan cambios en la consigna, es posible atenuar la acción D.

Se recomiendan valores comprendidos entre 0.0 y 1.0.

- 1.0: La acción D es totalmente efectiva cuando se cambia la consigna.
- 0.0: La acción D no actúa al cambiar la consigna.

Si se produce una modificación del valor real, la acción D es totalmente efectiva.

Tiempo de muestreo algoritmo PID.- Dado que el sistema regulado necesita cierto tiempo para responder a un cambio del valor de salida, no es razonable calcular este valor en cada ciclo. El tiempo de muestreo del algoritmo PID es el tiempo entre dos cálculos del valor de salida. Este se determina durante la

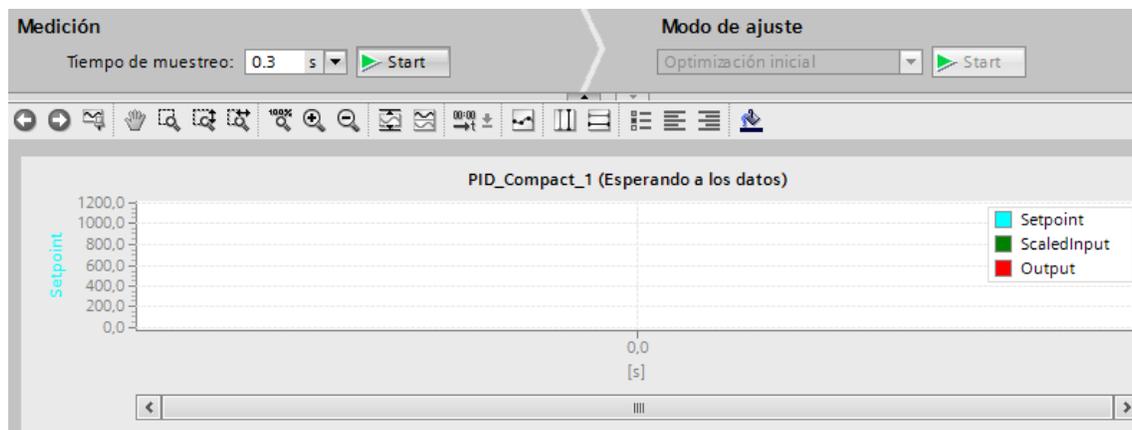
optimización y se redondea a un múltiplo del tiempo de ciclo. Todas las demás funciones de PID_Compact se ejecutan con cada llamada.

Si utiliza Output_PWM, la precisión de la señal de salida se determina mediante el comportamiento del tiempo de muestreo del algoritmo PID al tiempo de ciclo del OB. El tiempo de muestreo del algoritmo PID equivale a la duración del período de la modulación del ancho de pulso. El tiempo de ciclo debería ser de al menos 10 veces el tiempo de muestreo del algoritmo PID.

c. Poner en servicio PID_Compact

La ventana de puesta en servicio (Figura 130) ayuda durante la puesta en servicio del regulador PID. En el visor de curvas se puede observar los valores de la consigna, valor real y valor de salida a lo largo del eje de tiempo. En la ventana de puesta en servicio se soportan las siguientes funciones:

- Optimización inicial del regulador.
- Optimización fina del regulador.



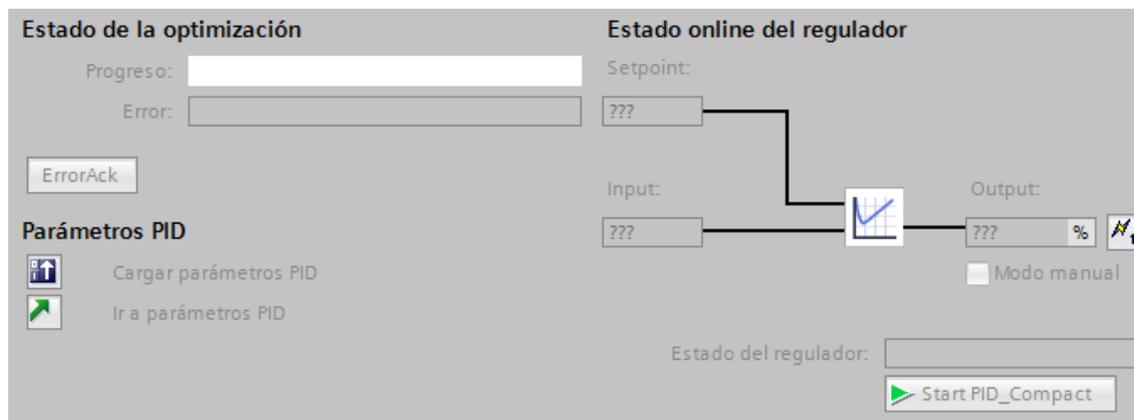


Figura 130.- Ventana de puesta en servicio PID.

Utilice la optimización fina si desea realizar un ajuste de precisión del parámetro PID.

- Observación de la regulación en curso en la ventana de curvas.
- Probar el sistema regulado especificando un valor de salida manual

Para todas las funciones es preciso realizar una conexión online a la CPU.

Optimización Inicial.- La optimización inicial determina el comportamiento del proceso a un escalón del valor de salida y busca el punto de inflexión. A partir de la inclinación máxima y del tiempo muerto del sistema regulado se calculan los parámetros PID óptimos.

Cuanto más estable es el valor real, con mayor facilidad y precisión se pueden calcular los parámetros PID. Un ruido del valor real es aceptable siempre que la subida del valor real sea considerablemente mayor que el ruido. Requisitos:

- La instrucción "PID_Compact" se llama en un OB de alarma cíclica.
- ManualEnable = FALSE
- PID_Compact se encuentra en el modo de operación "Inactivo" o "Manual".

- La consigna no puede modificarse durante la optimización. De lo contrario se desactiva PID_Compact.
- La consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados (véase la configuración "Monitorización del valor real").
- La diferencia entre la consigna y el valor real es mayor del 30% de la diferencia entre el límite superior e inferior del valor real.
- La diferencia entre la consigna y el valor real es superior al 50% de la consigna.

Procedimiento Optimización Inicial.- Para poder realizar una optimización inicial, proceda del siguiente modo:

1).- Haga doble clic en la navegación del proyecto en la entrada "PID_Compact" > Puesta en servicio".

2).- En la lista desplegable "Modo de optimización" seleccione la entrada "Optimización inicial".

3).- Haga clic en el símbolo "Start".

- Se establece una conexión online.
- Se inicia el registro de los valores.
- Se inicia la optimización inicial.

En el campo "Estado" se muestran los pasos actuales y, de haberlos, los fallos ocurridos. La barra de progreso muestra el progreso del paso actual.

Si la optimización inicial ha finalizado sin ningún mensaje de error, significa que los parámetros PID se han optimizado. PID_Compact cambia al modo automático y utiliza los parámetros optimizados. Los parámetros PID optimizados se conservan al desconectar (Power OFF) y al rearrancar por completo la CPU.

Si no es preciso realizar la optimización inicial, PID_Compact cambia al modo de operación "Inactivo".

Optimización fina.- La optimización fina genera una oscilación constante y limitada del valor real. Los parámetros PID se optimizan para el punto de operación a partir de la amplitud y la frecuencia. A partir de los resultados se vuelven a calcular todos los parámetros PID. Los parámetros PID existentes después de la optimización fina muestran en su mayoría un comportamiento de guía y ante fallos mucho mejor que los parámetros PID de la optimización inicial.

PID_Compact intenta generar automáticamente una oscilación que es mayor que el ruido del valor real. La estabilidad del valor real ejerce tan sólo una mínima influencia sobre la optimización fina. Es preciso realizar una copia de seguridad de los parámetros PID antes de volver a calcularlos. Requisitos:

- La instrucción "PID_Compact" se llama en un OB de alarma cíclica.
- ManualEnable = FALSE
- La consigna y el real se encuentran dentro de los límites configurados.
- El lazo de regulación es estacionario en el punto de operación. El punto de operación se ha alcanzado cuando el valor real coincide con la consigna.
- No se esperan perturbaciones.
- La consigna no puede modificarse durante la optimización.
- PID_Compact se encuentra en el modo de operación inactivo, automático o manual.

Para poder realizar una optimización fina, proceda del siguiente modo:

1).- En la lista desplegable "Modo de optimización" seleccione la entrada "Optimización fina".

2).- Haga clic en el símbolo "Start".

- Se establece una conexión online.
- Se inicia el registro de los valores.
- Se inicia el proceso de optimización fina.
- En el campo "Estado" se muestran los pasos actuales y, de haberlos, los fallos ocurridos. La barra de progreso muestra el progreso del paso actual.

Si la optimización fina se ha completado sin ningún aviso de error, significa que los parámetros PID se han optimizado. PID_Compact cambia al modo automático y utiliza los parámetros optimizados. Los parámetros PID optimizados se conservan al desconectar (Power OFF) y al rearrancar por completo la CPU.

Si se produjeran errores durante la optimización fina, PID_Compact cambia al modo de operación "Inactivo".

CAPITULO IV

4.- PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Terminada la construcción del módulo de red Profinet se inicia con las pruebas de encendido y funcionamiento de los dispositivos instalados, para lo cual se realizan diferentes prácticas de laboratorio.

4.1.- ENCENDIDO DEL MÓDULO DE RED PROFINET

Para energizar el módulo de red Profinet se requiere una toma de 110 voltios de corriente alterna. En la Figura 131 se muestra la forma de energizar el módulo.

Verificaciones realizadas en el módulo de red Profinet:

1).- Entrada de voltaje de 110 voltios de corriente alterna proveniente de la red local suministrada por la Empresa Eléctrica.

2).- Voltaje de 24 voltios de corriente directa suministrada por la fuente SITOP PSU100S 24 V/10 A de siemens.

3).- Correcto encendido del PLC S7-1200, PLC S7-1500, Panel HMI TP700, Switch y módulos analógicos SM 1234.

4).- Verificar el correcto funcionamiento de la red Profinet realizando una comunicación con el software TIA PORTAL V13.



Figura 131.- Dispositivo encendido módulo.

En la Figura 132 se muestra el módulo de red Profinet energizado y con todos los dispositivos encendidos al siguiente detalle.

- Fuente de Alimentación SITOP funcionando correctamente.
- PLC S7-1200 CPU 1214C encendido correctamente, en estado STOP esperando programa.
- Módulo de entradas y salidas analógicas SM 1234 encendido correctamente.
- PLC S7-1500 encendido correctamente, en estado STOP.
- Panel HMI TP 700 encendido correctamente.



Figura 132.- Dispositivos encendidos en el módulo.

4.2.- FUNCIONAMIENTO PLC S7-1500.

El PLC S7-1500 CPU 1511-1 PN requiere una SIMATIC Memory Card que es imprescindible para el funcionamiento del controlador lógico programable.

En la Figura 133 se muestra la pantalla del PLC S7-1500 en estado STOP por las siguientes razones:

- 1).- No se encuentra instalado una SIMATIC Memory Card.
- 2).- No cuenta con ningún tipo de programación.

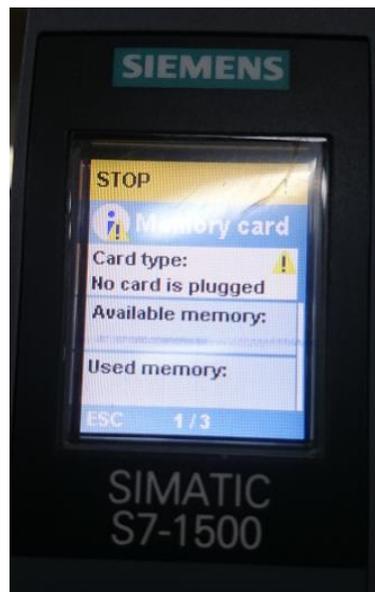


Figura 133.- PLC S7-1500 en estado STOP.

4.2.1.- SIMATIC Memory Card.

El sistema de automatización S7-1500 utiliza como memoria de programa una tarjeta denominada SIMATIC Memory Card (Figura 134). La SIMATIC Memory Card es una tarjeta de memoria preformateada compatible con el sistema de archivos de Windows. La tarjeta de memoria está disponible con

distintas capacidades de almacenamiento y puede usarse para los siguientes fines:

- Soporte de datos transportable
- Tarjeta de programa
- Tarjeta de actualización de firmware

Para la escritura/lectura de la SIMATIC Memory Card con la PG o el PC se requiere un lector de tarjetas SD convencional.

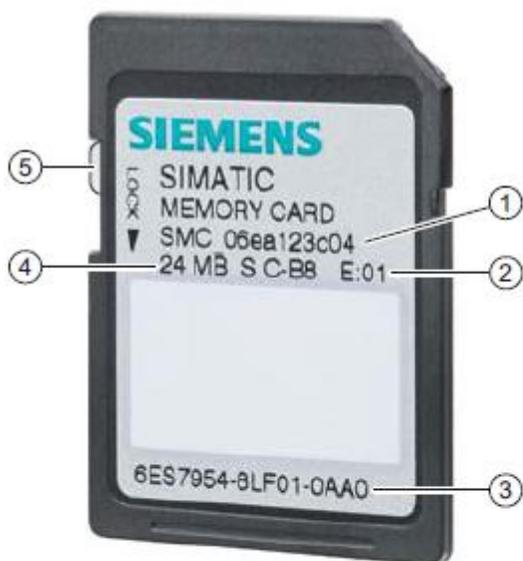
La SIMATIC Memory Card es imprescindible para el funcionamiento de la CPU.



Figura 134.- SIMATIC Memory Card.

Una tarjeta de programa sirve como memoria de carga externa para la CPU. Contiene el programa de usuario completo para la CPU. El programa de usuario se transfiere de la memoria de carga a la memoria de trabajo y se ejecuta aquí. Si se extrae la SIMATIC Memory Card que contiene el programa del usuario, la CPU conmuta a STOP.

En la Figura 135 se muestra la rotulación de la tarjeta SIMATIC Memory Card.



- ① Número de serie, p. ej. SMC_06ea123c04
- ② Versión, p. ej. E:01
- ③ Referencia, p. ej. 6ES7954-8LF01-0AA0
- ④ Tamaño de memoria, p. ej. 24 MB
- ⑤ Corredera de protección contra escritura:
 - Corredera arriba: no protegida contra escritura
 - Corredera abajo: protegida contra escritura

Figura 135.- Rotulación SIMATIC Memory Card.

a. - Inserción de la SIMATIC Memory Card.

- 1).- Abra la tapa frontal de la CPU.
- 2).- Asegúrese de que la CPU está desconectada o en estado operativo STOP.
- 3).- Inserte la SIMATIC Memory Card como se ilustra en la CPU, en el acceso previsto para la SIMATIC Memory Card (Figura 136).
- 4).- Presione ligeramente la SIMATIC Memory Card en la CPU hasta que la SIMATIC Memory Card encaje.

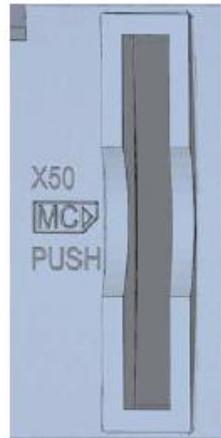


Figura 136.- Ranura para la SIMATIC Memory Card.

b.- Retirar la SIMATIC Memory Card.

- 1).- Abra la tapa frontal.
- 2).- Conmute la CPU a STOP.
- 3).- Inserte la SIMATIC Memory Card en la CPU ejerciendo una leve presión.

Tras el desbloqueo audible de la SIMATIC Memory Card, retírela.

Al insertar y retirar la SIMATIC Memory Card, la CPU ejecuta automáticamente el borrado total y a continuación conmuta a STOP.

La CPU evalúa la SIMATIC Memory Card y lo muestra mediante el parpadeo de los LED RUN/STOP.

En la Figura 137 se muestra la pantalla del PLC S7-1500 CPU 1511-1 PN instalado la SIMATIC Memory Card con programación y en estado RUN, sin presenta ningún tipo de error.



Figura 137.- Pantalla PLC S7-1500, estado RUN.

4.3.- PRUEBAS DE COMUNICACIÓN RED PROFINET.

Basado en Industrial Ethernet, PROFINET permite la comunicación directa de equipos de campo con controladores. Además, PROFINET permite la automatización distribuida con ayuda de la tecnología de componentes.

Se establece una comunicación con el software TIA PORTAL V13 de manera perfecta sin ningún inconveniente, reconociendo todos los dispositivos que intervienen en la red Profinet, asignando direcciones IP y permitiendo realizar todo tipo de configuraciones y programación de procesos en red.

En la Figura 138 se muestra una red Profinet configurada en el software TIA PORTAL V13.

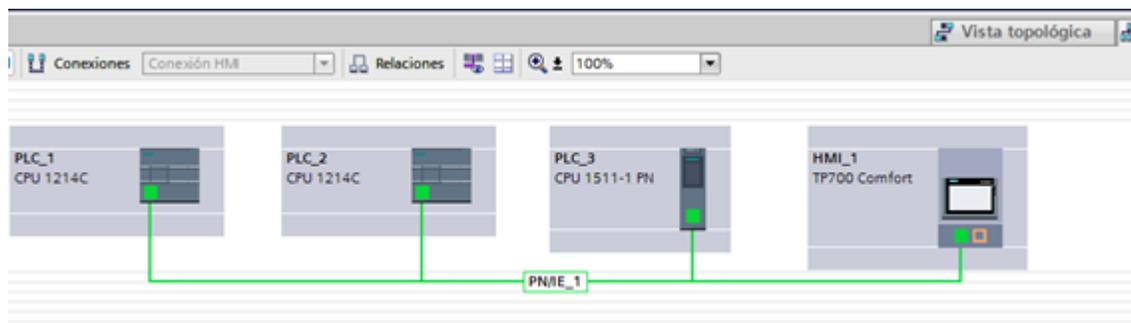


Figura 138.- Red Profinet en TIA PORTAL V13.

Luego de reconocer cada uno de los dispositivos que intervienen en la red Profinet se configura dicha red para realizar todo tipo de aplicaciones como se puede evidenciar en la Figura 139.

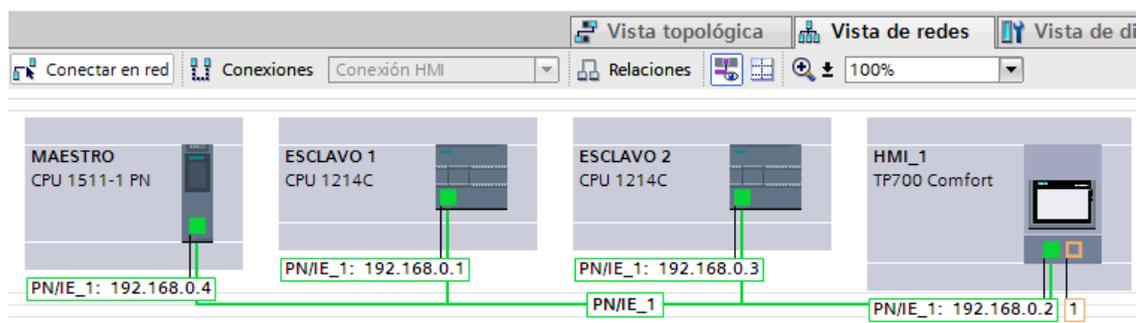


Figura 139.- Configuración Red Profinet

Se puede reasignar una dirección IP a cada uno de los dispositivos en la Ventana Propiedades (Figura 140), Interfaz PROFINET y Protocolo IP. Aquí se puede ajustar la dirección IP en el proyecto y ajustar la dirección IP directamente en el dispositivo.

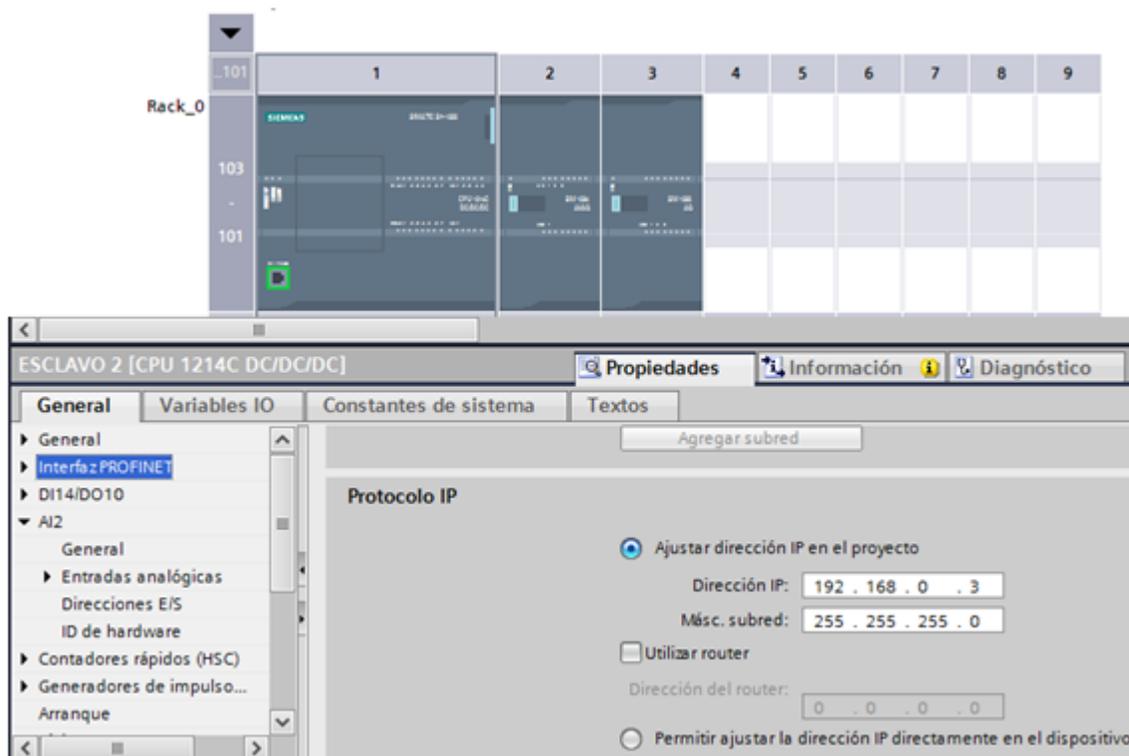


Figura 140.- Protocolo IP en los dispositivos.

4.3.1.- Prueba de Comunicación TIA PORTAL – PANEL HMI.

En el panel HMI TP 700 se visualizan los parámetros de cada proceso programado en el software TIA PORTAL V13.

En la Figura 141 se muestra la comunicación entre el panel HMI TP 700 y el software.

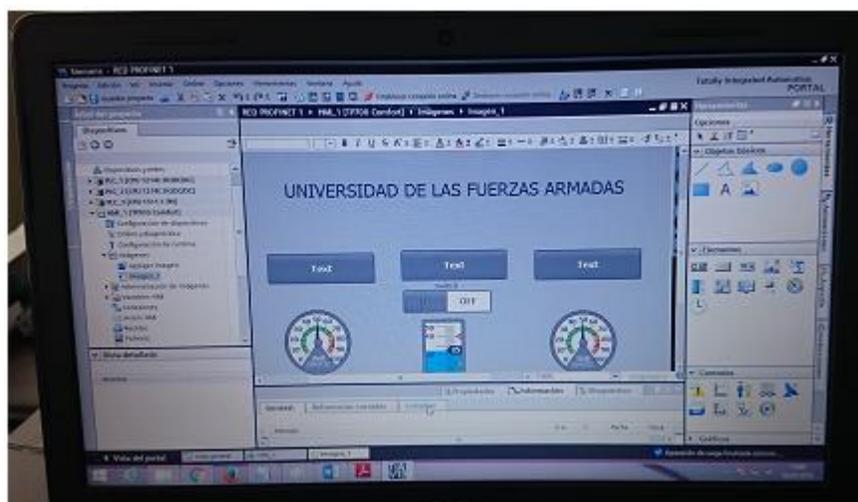


Figura 141.- Comunicación TIA PORTAL – Panel HMI.

Comunicación realizada sin presentar ningún tipo de inconvenientes.

Mediante la función TSEND_C (Figura 142) del TIA PORTAL V13, se envía datos del Cliente (PLC S7-1500) al Servidor (PLC S7-1200), en la Figura 142 se envía la variable DATO.

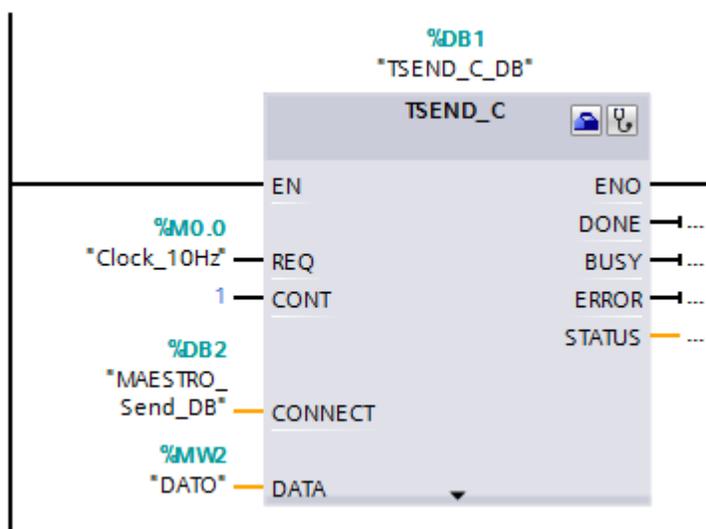


Figura 142.- Envío de la variable DATO al Servidor (PLC S7-1200).

Mediante la función TRCV_C se reciben datos en el PLC Servidor sin presentar ningún tipo de inconvenientes. (Figura 143)

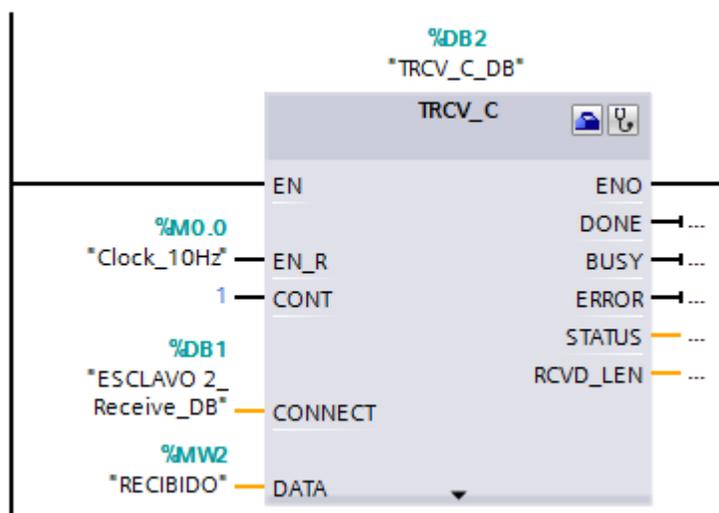


Figura 143.- Recepción de variable “RECIBIDO” en el Servidor.

Realizando este envío y recepción de datos entre el Cliente (PLC S7-1500) y el Servidor (PLC S7-1200), se verifica en eficiente funcionamiento de la Red Profinet implementada en el módulo.

4.3.2.- Pruebas de Funcionamiento del Sistema Hidráulico Proporcional.

Luego de realizar la programación de los dispositivos se procede a probar el funcionamiento correcto del proceso. En la Figura 144 se muestra el proceso listo a trabajar.

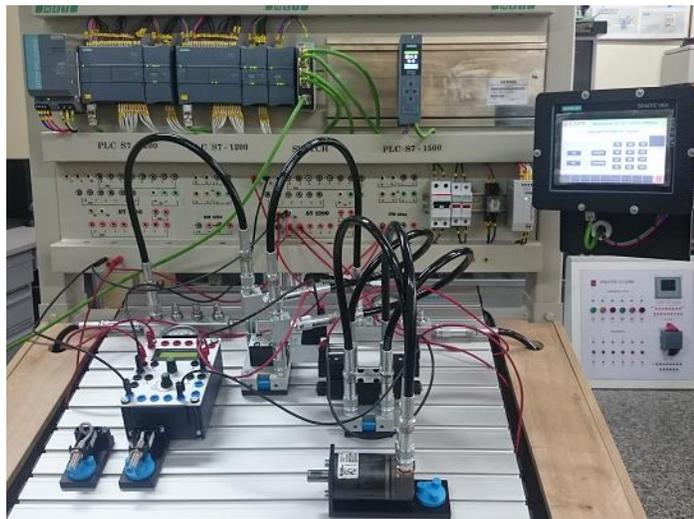


Figura 144.- Funcionamiento proceso.

En la Tabla 22 se muestra los datos obtenidos de acuerdo a las velocidades del motor Hidráulico.

Tabla 22
Datos Obtenidos.

CONFIGURACIÓN CLIENTE - SERVIDOR			
RPM	Corriente (mA)	Voltaje (V)	RPM(real)
150	301	1,27	225,2
200	331	1,68	248,5
300	398	2,51	289,1
400	465	3,34	288,9
500	525	4,26	289
600	591	5	289
700	658	5,84	289
800	723	6,66	289
900	790	7,51	289
1000	857	8,34	289,4
1100	921	9,16	289,2
1200	987	10	289,2

En la Figura 145 se muestra la Curva Velocidad – Voltaje y el valor de voltaje que muestra el amplificador es igual al obtenido en la pantalla HMI TP-700.

Se puede evidenciar un control óptimo del proceso hidráulico, así como una adquisición y visualización de datos en la Pantalla HMI correcta.

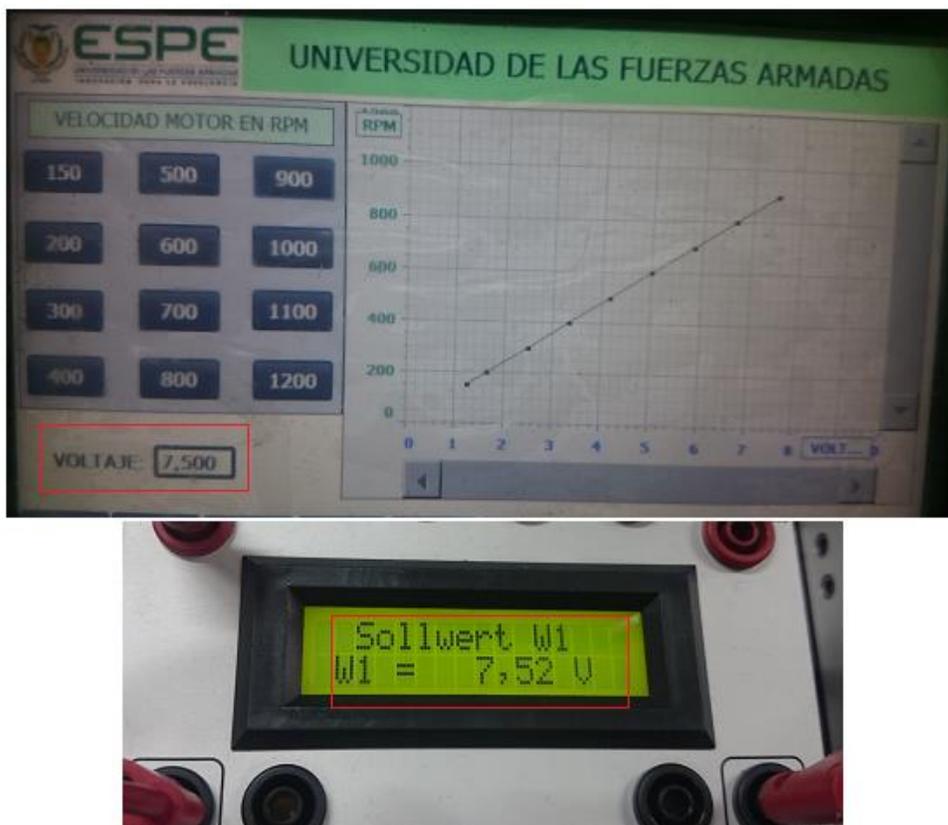


Figura 145.- Curva Velocidad – Voltaje.

En la Figura 146 se muestra la Curva Velocidad – Corriente y el valor de Corriente que muestra el amplificador es similar al obtenido en la pantalla HMI.

La configuración de la Red Profinet así como la programación y adquisición de datos de los procesos hidráulicos proporcionales se realizan sin que se presente ningún tipo de inconvenientes.



Figura 146.- Curva Velocidad – Corriente.

4.4.- PRÁCTICAS DE LABORATORIO.

Para implementar aplicaciones para el módulo de red Profinet, se realizan prácticas de laboratorio similares a procesos industriales, para lo cual se utilizan equipos Festo de hidráulica proporcional. Dichas prácticas se detallan en los siguientes Anexos:

Anexo D-1: Configuración Cliente – Servidor en una red Profinet para el control proporcional de un motor hidráulico.

Anexo D-2: Configuración Cliente – Servidor en una red Profinet para el control secuencial de un cilindro hidráulico utilizado en un Contenedor de basura.

Anexo D-3: Configuración de una red Profinet para el control proporcional de la velocidad de un motor hidráulico, cambio de sentido de giro y visualización de curvas de velocidad y presión

Anexo D-4: Configuración de una Red Profinet para el control de un PID de Presión utilizando un motor hidráulico.

CAPITULO V

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1.- CONCLUSIONES.

- Se realizó el diseño y construcción e implementación del módulo de red PROFINET tomando como base una estructura metálica con los parámetros mecánicos adecuados para alojamiento de todos dispositivos (PLC's S7-1200, S7.1500, Switch, HMI TP-700, Módulos analógicos SM-1234, TABLERO FESTO, fuente de alimentación, etc.), requeridos para la implementación del módulo de red PROFINET.
- El modulo implementado permitirá realizar prácticas de laboratorio que tendrán orientación similar a procesos industriales reales, ya que la red industrial PROFINET fue desarrollada para trabajar en ambientes que se encuentran bajo condiciones físicas reales.
- La configuración de la red PROFINET se realizó mediante el software de SIEMENS TIA PORTAL V13, el mismo que facilita el trabajo de programación gracias a su interfaz gráfica que en determinados momentos es intuitiva que nos permite ahorrar tiempo durante el proceso de configuración y facilita el aprendizaje de manera didáctica sobre la red PROFINET.

- El módulo de red PROFINET, implementado permite realizar prácticas de configuración maestro esclavo, mediante PLC's S7-1500 (maestro) y S7-1200 (esclavo), tomando en cuenta que el PLC maestro no dispone de módulos de entradas y salidas, para lo cual se utiliza en su configuración memorias internas tratadas por medio del panel HMI TP-700.
- El módulo de red PROFINET al estar equipado con PLC's de última generación siemens, por lo cual permite la configuración de objetos tecnológicos para control procesos industriales y tratar todo tipo de variables, dentro de estos objetos tecnológicos más utilizados se encuentra el PID Compact.
- Al realizar prácticas de control proporcional en el módulo de red PROFINET, se observó caídas de presión principalmente cuando se utilizó un motor hidráulico ya que este necesita una presión hidráulica elevada por lo que se suministró el máximo de presión por parte del grupo hidráulico, y válvulas estranguladoras para limitar la presión y así equilibrar la presión del sistema.
- Se realizó y se validó las pruebas tanto para comunicación en la Red Profinet, así como las pruebas de Control Hidráulico proporcional de Presión, Caudal y Posición con los elementos FESTO TP-702.

5.2.- RECOMENDACIONES.

- Se recomienda, verificar la alimentación de los PLC's desde la fuente de acuerdo a la nomenclatura existente en los mismos.

- Para la comunicación entre la red Profinet implementada y la PC, verificar las condiciones en las que se encuentra el cable de comunicación así como el software de programación TIA PORTAL V13 de ser la versión profesional.
- Al realizar el acoplamiento entre el PLC S7-1200 y el módulo de entradas y salidas analógicas SM-1234, seguir el procedimiento detallado en el capítulo II de este libro. Un acople incorrecto puede ocasionar daños tanto en el PLC como en el módulo SM-1234.
- Para realizar el acoplamiento entre PLC S7-1200 y modulo SM-1234, así como para insertar la tarjeta SIMATIC CARD en la CPU del PLC S7-1500 el sistema debe estar desenergizado completamente.
- Con la implementación de la Red Profinet se ha logrado obtener un control distribuido de los sistemas Hidráulicos proporcionales. Se recomienda implementar un sistema SCADA, ERP, así como también una Red entre sensores y actuadores con la finalidad de que este módulo complete la Pirámide de Automatización.

BIBLIOGRAFÍA.

CHAVEZ, M. S., & VILLA PLAZAS , E. P. (2009). *ESTUDIO DEL PROTOCOLO FIELDBUS Y APLICACION PRÁCTICA CON EL CONTROLADOR SMAR DF51 PARA EL MANEJO DE INSTRUMENTOS INDUSTRIALES*. Bucaramanga: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA.

Guerrero, V., Yuste, L., & Martínez, L. (Noviembre 2012). *Comunicaciones Industriales*. México, D.F. : Alfaomega Grupo Editor.

Penin, A. R. (2008). COMUNICACIONES INDUSTRIALES. En *COMUNICACIONES INDUSTRIALES* (págs. Capítulo IV, Página 155). Primera Edición.

Penin, A. R. (Mayo 2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona: Gráficas Díaz Tuduri, S.L.

LINKOGRAFÍA.

Didactic, F. (Enero de 2016). *FESTO*. Obtenido de Dirección: <http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/mps-sistema-de-produccion-modular/accesorios/placa-perfilada-de-aluminio-700-x-700.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjcxMy4zNTg0> / Recuperado: 08 de Abril del 2016

Adrián, A. (2011). Obtenido de Dirección: <http://informaticaclaret.redmadrigalejo.es/modelo-de-referencia-osi/> Recuperado: 26 de Octubre del 2015

Angelfire. (2014). Obtenido de Dirección: http://www.angelfire.com/sk3/tucu/direccion_ip.htm / Recuperado: 12 de Enero del 2016

CICLOSINFORMATICA. (2016). Obtenido de Dirección: <http://www.ciclosinformatica.net/fibra/certired/p05f/p05f.html> / Recuperado el 12 de Noviembre del 2015

CINTAC. (2007). *Cintac* S.A. Obtenido de Dirección: www.cintac.cl/novedades/wp/11/catalogo_tubos_perfiles.pdf / Recuperado: 12 de Abril del 2016

Fernández, J. (08 de Agosto de 2014). *Redes*. Obtenido de Dirección: https://rm.aloxa.eu/projects/redes/wiki/Capa_f%C3%ADsica_y_de_enlace / Recuperado: 20 de Diciembre del 2015

Fernández, M. (20 de Abril de 2012). *Automatizar*. Obtenido de Web Dedicada al Mundo de la Ingenieria y Automatización: Dirección: <http://www.automatizar.org/2012/04/ethernetip-es-aceptado-como-estandar.html> / Recuperado: 01 de Noviembre del 2015

- Gonzales, D. (28 de Octubre de 2015). *Mecánica Industrial*. Obtenido de Dirección: <http://valegonzalez828837.blogspot.com/2015/10/informe-mes-de-octubre-profinet.html> / Recuperado: 15 de Enero del 2016
- Holman, E. (Febrero de 2014). *SEA Group*. Obtenido de Dirección: <http://www.sea-electronics.com/en/our-offer/spare-parts.html> / Recuperado: 06 de Marzo del 2016
- Industry, S. (Enero de 2012). *InfoPLC_TIA PORTAL*. Obtenido de Dirección: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/.../GS_STEP7Bas105esES.pdf / Recuperado: 17 de Marzo del 2016
- Industry, S. (Marzo de 2012). *Simatic HMI*. Obtenido de Dirección: http://www.technical.cat/PDF/Siemens/HMI/operating_instructions_hmi_comfort_panels.pdf / Recuperado 16 de Marzo del 2016
- Industry, S. (Enero de 2013). *Info_PLC_S7-1500*. Obtenido de Dirección: http://www.infopl.net/files/descargas/siemens/infoPLC_net_s71500_system_manual_es-ES_es-ES.pdf / Recuperado: 02 de Febrero del 2016
- Industry, S. (Noviembre de Siemens AG 2014). *SIEMENS*. Obtenido de Dirección: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF> / Recuperado: 28 de Enero del 2016
- instruments, N. (15 de 09 de 2015). Obtenido de Dirección: <http://www.ni.com/white-paper/7675/es/> Recuperado: 25 de Octubre del 2015
- IPAC. (Febrero de 2013). *Ipac S.A.* Obtenido de Dirección: http://www.ipac-acer.com/revista-digital/IPAC_catalogo.html / Recuperación: 23 de Abril del 2016

- juanmaperezmicroinformatica. (11 de Junio de 2015). Obtenido de Dirección: <https://juanmaperezmicroinformatica.wordpress.com/2015/06/11/componentes-de-una-red-que-tenemos-que-saber-para-montar-una-red-buena-y-segura/> Recuperado: 17 de Noviembre del 2015
- Miranda, R. R. (30 de Octubre de 2015). *Roberto Ramirez Miranda*. Obtenido de Dirección: <http://robertomiranda828793.blogspot.com/> / Recuperado: 15 de Enero del 2016
- Perez, J. M. (2013). *Automatas y Control*. Obtenido de Dirección: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electro/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/CAP%209%20Pco.pdf / Recuperado: 30 de Enero del 2016
- Sierra, E. R. (05 de Abril de 2014). Obtenido de Dirección: <http://erpaterninas.blogspot.com/> Recuperado: 05 de Diciembre del 2015
- Tanenbaum. (1997). *Wikitel*. Obtenido de Dirección: <http://wikitel.info/wiki/TCP/IP> / Recuperado: 20 de Diciembre del 2015
- Torres, J. M. (09 de Mayo de 2011). *SlideShare*. Obtenido de Dirección: <http://es.slideshare.net/arelycardona/redes-de-comunicacion-7897949> / Recuperado: 10 de Octubre del 2015
- Wikipedia. (13 de mayo de 2014). Obtenido de Dirección: https://es.wikipedia.org/wiki/Codificaci%C3%B3n_Manchester / Recuperado 11 de Octubre del 2015
- Zapata, E. (27 de Agosto de 2014). *Conceptos de Redes*. Obtenido de Dirección: <http://elliottzapataicas.blogspot.com/2014/08/conceptos-de-red.html> / Recuperado: 18 de Enero del 2016
- Zermeño, K. (2013). Obtenido de Dirección: <http://www.taringa.net/post/info/14563222/Como-ponchar-utp-con-rj45.html> / Recuperado 15 de Noviembre del 2015

ANEXOS



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:

Edwin Geovanny Huilcamaigua Checa.

Luis Alfredo Viracucha Masabanda

En la ciudad de Latacunga, a los 12 días del mes de Julio del 2016.

Ing. Wilson Sánchez

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Katya Torres

DIRECTORA DE CARRERA

Dr. Rodrigo Vaca

SECRETARIO ACADÉMICO