



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: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE RED
DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, PARA CENTRALIZAR EL
CONTROL DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR EN
EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE
EXTENSIÓN LATACUNGA**

AUTORES: LEONARDO SALVADOR CHILIQUEA ALVAREZ

RICARDO ISRAEL EUGENIO EUGENIO

DIRECTOR: WILSON SÁNCHEZ

LATACUNGA

2017



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, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, PARA CENTRALIZAR EL CONTROL DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” realizado por el señor **LEONARDO SALVADOR CHILQUINGA ALVAREZ** y el señor **RICARDO ISRAEL EUGENIO EUGENIO** 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 **LEONARDO SALVADOR CHILQUINGA ALVAREZ** y el señor **RICARDO ISRAEL EUGENIO EUGENIO** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de Marzo 2016

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser la del Ing. Wilson Edmundo Sánchez Ocaña.

.....
ING. WILSON EDMUNDO SÁNCHEZ OCAÑA

DIRECTOR



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **LEONARDO SALVADOR CHILQUINGA ALVAREZ** y **RICARDO ISRAEL EUGENIO EUGENIO** declaramos que este trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, PARA CENTRALIZAR EL CONTROL DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA 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 declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 16 de Marzo 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco, con una línea punteada horizontal debajo.

Leonardo Salvador Chiliquina Alvarez

C.C.: 172151586-2

Una firma manuscrita en tinta azul sobre un fondo blanco, con una línea punteada horizontal debajo.

Eugenio Eugenio Ricardo Israel

C.C.: 180479798-1



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **LEONARDO SALVADOR CHILQUINGA ALVAREZ** y **RICARDO ISRAEL EUGENIO EUGENIO**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL, PARA CENTRALIZAR EL CONTROL DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN MODULAR EN EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEUTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 14 de Marzo 2017

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea punteada.

Leonardo Salvador Chiquinga Alvarez

C.C.: 172151586-2

Una firma manuscrita en tinta azul sobre una línea punteada.

Ricardo Israel Eugenio Eugenio

C.C.: 180479798-1

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Madre Magdalena Alvarez a mi Padre Salvador Chiliquina a mis hermanos Gaby, Daniela, Priscila y Jordy; quien con su apoyo incondicional siempre estuvieron ahí para darme una mano y sobresalir en los buenos y malos momentos.

A mis sobrinos que también fueron pieza fundamental en este logro, ya que para ellos siento que soy un ejemplo a seguir; en las noches de tristeza, amargura y soledad, mi familia siempre estuvo presente, el objetivo siempre fue no defraudarlos. Esta dedicatoria se llenaría al igual de las hojas de mi tesis de tantas cosas que debería decirles. Le agradezco mucho

Leonardo CH. A

Quiero agradecer a toda mi familia por todo el apoyo brindado. A mis padres Guillermo y Leonor, por ser unos padres ejemplares que supieron guiarme y apoyarme. A mis hermanos, Matilde, Nelson y Susana, por ser un ejemplo para mí en todas las facetas de mi vida. A mi novia Grace, por compartir sus sueños conmigo y alentarme para seguir. A mis sobrinas, Daniela, Melanie y Celeste, por ser una luz en momentos de oscuridad. A William, Patricia y Byron por ser unos hermanos más para mí y a mi mejor amigo Patricio por todos esos momentos vividos. Gracias por el apoyo, amor y amistad.

Ricardo

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento no sería la palabra que en estos momentos se debería utilizar; es algo inefable la forma en que mi Madre, Padre, Hermanos y una persona tan especial; que con sus repeladas, apoyo y consejos me supieron ayudar para conseguir este tan hermoso logro que es obtener el título de ingeniero.

Agradezco a mi primo Fernando Herrería, que fue un pilar fundamental para el inicio de mi etapa estudiantil universitaria, a mis tías y primos que me supo apoyar de apoco pero sirvió mucho.

A mi tutor de tesis Ing. Wilson Sánchez que me han orientado, apoyado y corregido para poder finalizar este proyecto.

Al ing. Washington Freire que con su apoyo y acolite que sin él no hubiéramos podido alcanzar unos de nuestros más grande logro en esta vida.

A mi compañero de tesis que sin el apoyo de él no hubiéramos podido realizar lo inalcanzable para otros.

Leonardo CH. A.

Agradezco a toda mi familia, mis padres, mis hermanos, mi novia, mis sobrinas y demás, ya que sin ellos yo no estaría aquí cumpliendo este sueño. A mi tutor de tesis, Ing. Wilson Sánchez por el apoyo brindado durante este proceso. Al Ing. Washington Freire, por los ánimos para seguir. A mi compañero de tesis y compañeros, Leonardo, Edison, Jonathan, Wilson y Erik por los el apoyo brindado dentro de la vida académica.

Ricardo

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARATULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xviii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii

CAPÍTULO I

GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación e importancia	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Alcance	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO	5
2.1. Redes de comunicación industrial.....	5
2.1.1. La pirámide de la automatización CIM	6
a. N5 Nivel de gestión y dirección	6
b. N4 Nivel de control de producción	7
c. N3 Nivel de control de procesos	7
d. N2 Nivel de campo	7
e. N1 Nivel entrada/salida	7
2.1.2. Ventajas de las redes de comunicación industrial.....	8

2.1.3.	Sistemas de control en una red de comunicación industrial.....	8
a.	Sistema de control centralizado	8
b.	Sistema de control distribuido SCD.....	9
2.1.4.	Topología de redes	9
a.	Punto a punto.....	9
b.	Bus.....	10
c.	Árbol.....	10
d.	Anillo	11
e.	Estrella	12
2.1.5.	Buses de campo	12
2.2.	Redes de comunicación industrial AS-interface	15
2.2.1.	AS-i dentro de la pírame de la automatización.....	16
2.2.2.	Ventajas y Desventajas de una red AS-i.....	17
a.	Ventajas	17
b.	Desventajas	17
2.2.3.	Características principales de una red AS-i	18
2.2.4.	Componentes de la red AS-i	19
a.	Maestro AS-i	19
b.	Esclavos AS-i.....	20
c.	Fuente de alimentación AS-i	20
d.	Fuente de alimentación auxiliar.....	21
e.	Cable AS-i.....	22
f.	Conectores.....	23
2.2.5.	Versiones Operativas de AS-i	23
a.	Versión 2.0	24
b.	Versión 2.1	24
c.	Versión 3.0.....	24
2.2.6.	Funcionamiento de la red AS-i	25
2.2.7.	Principios de Maestro – Esclavo	25
2.2.8.	Métodos de sondeo y selección	26
2.2.9.	Modulación y codificación de señales dentro de la red AS-i	27
2.2.10.	Ciclo de lectura y escritura de esclavos	29
2.3.	Estación de trabajo compacta para la regulación de variables	30

2.4.	Redes de comunicación industrial Profinet	31
2.5.	PLC S7-1200.....	32
2.6.	SIMATIC COMFORT PANEL TP700	34
2.7.	TIA PORTAL	34

CAPÍTULO III

	DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	36
3.1.	Diseño Mecánico del Módulo de red AS-interface	36
3.1.1.	Diseño Estructural del módulo	36
3.1.2.	Selección de materiales	38
3.1.3.	Análisis computacional estructural del MPS.....	40
3.1.4.	Análisis computacional estructural	49
3.2.	Diseño de la red AS-i	55
3.2.1.	Requerimientos y Características del sistema modular.....	56
3.2.2.	Diagrama de instrumentación de la planta	57
3.2.3.	Descripción de los principales componentes del sistema	58
a.	Sensor Ultrasónico UB800-18GM40	58
b.	PT100.....	59
c.	Sensor de flujo YF-S201	59
d.	Sensor de presión DANFOSS MSB33M	60
3.2.4.	Arquitectura de la red AS-i	60
a.	Topología	61
b.	Tipo de sensores y actuadores	61
c.	Cantidad de estaciones o esclavos.....	62
3.2.5.	Selección y reconocimiento de componentes	62
a.	Maestro AS-interface CM 1243-2 3RK7243-2AA30-0XB0	63
b.	Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3.....	65
c.	Eslavo Analógico AS-i K60 3RK12071BQ440AA3.....	66
d.	Columna de señalización AS-i	68
e.	Caja de mando AS-i 3SF5812-0DA00.....	72
f.	Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00	74
g.	Cable AS-i 3RX9010-0AA00	75
3.3.	Diseño de la red Profinet.....	76

3.3.1.	Topología	76
3.3.2.	Dispositivos	77
a.	PLC S7 1200	77
b.	Comfort panel HMI TP700.....	78
c.	Switch SFNB 5TX.....	78
d.	Cable Standard Profinet IE FC TP	79
e.	Conector RJ45	80

CAPÍTULO IV

	IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL	81
4.1.	Construcción de la estructura.....	81
4.2.	Montaje de la red AS-i.....	83
4.2.1.	Cableado de la red AS-i	83
4.2.2.	Conexión de la fuente de alimentación AS-i.....	84
4.2.3.	Conexión del maestro AS-i.....	87
4.2.4.	Conexión de los esclavos AS-i.....	90
4.2.5.	Conexión de la columna de señalización	94
4.2.6.	Conexión de la caja de mando.....	97
4.2.7.	Conexión de los sensores y actuadores existentes	97
4.2.8.	Direccionamiento de esclavos AS-i.....	98
4.2.9.	Configuración de la red AS-i en TIA PORTAL.....	99
4.2.10.	Configuración del sistema de diagnóstico de fallas AS-i.....	107
4.2.11.	Escalamiento de señales analógicas para PID	109
4.3.	Montaje de la red Profinet	110
4.3.1.	Cableado de la red Profinet.....	110
4.3.2.	Configuración de la red Profinet.....	111
4.3.3.	Configuración del HMI.....	114
4.4.	Circuito de desacoplamiento de señales.....	115

CAPÍTULO V

	PRUEBAS y RESULTADOS	119
5.1.	Puesta en marcha y pruebas de la red As-i	119
5.2.	Fallas en el módulo de comunicación Simatic CM 124-3-2.....	120

5.3.	Prueba esclavos AS-interface	122
5.4.	Transferencia de datos de los esclavos	124
5.5.	Pruebas y sintonización el PID.....	125
5.6.	Análisis de costos.....	128
5.7.	Manual de operación.....	129

CONCLUSIONES	130
RECOMENDACIONES.....	132
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133
ANEXOS.....	137

ANEXO A: DATOS TÉCNICOS DE LOS EQUIPOS QUE CONFORMAN
LA RED DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL

ANEXO B: PLANO MECÁNICO DEL MÓDULO

ANEXO C: PLANO DEL BUS DE COMUNICACIÓN AS-INTERFACE

ANEXO D: PLANO DE LA RED PROFÍNET

ANEXO E: MANUAL DE OPERACIÓN

ANEXO F: PROGRAMACIÓN EN TIA PORTAL

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa entre los buses de campo.....	13
Tabla 2 Dimensiones del módulo de comunicación industrial.....	36
Tabla 3 Dimensiones finales del módulo ensamblado con la planta	37
Tabla 4 Calidad de la estructura.....	44
Tabla 5 Requerimientos del sistema modular	56
Tabla 6 Nomenclatura del diagrama de instrumentación	57
Tabla 7 Parámetros para un correcto diseño de la red AS-i	60
Tabla 8 Sensores y actuadores existentes en el módulo	61
Tabla 9 Características principales del Maestro AS-i CM 1243-2	63
Tabla 10 LEDs del Maestro AS-i CM 1243-2	64
Tabla 11 Datos técnicos Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3	66
Tabla 12 Datos técnicos Esclavo Analógico AS-i 3RK12071BQ440AA3.....	68
Tabla 13 Designación de los elementos	69
Tabla 14 Datos técnicos caja AS-interface para ap. de mando	73
Tabla 15 Datos técnicos Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00	75
Tabla 16 Datos técnicos PLC S7-1200 AC/DC/Rly.....	77
Tabla 17 Conexiones en los bornes de entrada de la fuente de alimentación	85
Tabla 18 Conexiones en los bornes de salida de la fuente de alimentación	87
Tabla 19 Significado de la rotulación en el Maestro AS-i CM 1243-2	89
Tabla 20 Código de colores para conexión de sensores y actuadores	98
Tabla 21 Direcciones de los esclavos que conforman la red AS-i	99
Tabla 22 Referencia de cada esclavo que compone la red AS-i	104
Tabla 23 Opciones de ingreso en el parámetro MODE	108
Tabla 24 Características de los parámetros de DeviceStates.....	108
Tabla 25 Significado de los LEDs del maestro AS-i.....	120
Tabla 26 Estado de los LEDs para los esclavos AS-i	122
Tabla 27 Dirección inicial de los esclavos	124
Tabla 28 Direcciones para enviar y recibir de cada bit	124
Tabla 29 Costos de los equipos utilizados para el módulo	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución de los procesos y comunicaciones industriales.....	5
Figura 2 Jerarquía de comunicaciones industriales Pirámide CIM	6
Figura 3 Sistema de control centralizado	8
Figura 4 Estructura de un sistema de control distribuido SCD.....	9
Figura 5 Estructura de una red punto a punto	10
Figura 6 Estructura de una red tipo bus	10
Figura 7 Estructura de una red de tipo árbol	11
Figura 8 Estructura de una red en forma de anillo.....	11
Figura 9 Estructura de una red en forma de estrella	12
Figura 10 Ejemplo de sistema AS-i para más de 100m.....	15
Figura 11 Los distintos niveles de comunicación industrial	16
Figura 12 Comparación de costes	18
Figura 13 Maestro SIMATIC S7-1200, CM 1243-2.....	19
Figura 14 Esclavos AS-i digital con alimentación auxiliar	20
Figura 15 Fuente AS-i con desacoplamiento de datos	21
Figura 16 Cable amarillo AS-i y cable negro auxiliar	22
Figura 17 Conectores para sensores y actuadores	23
Figura 18 Principios maestro esclavo en una red AS-i	26
Figura 19 Bus AS-i como ejemplo de aplicación de sondeo y selección	27
Figura 20 Representación esquemática de la modulación APM.....	28
Figura 21 Estructura del ciclo lectura/escritura desde el maestro a los esclavos ...	29
Figura 22 Telegrama AS-i.....	30
Figura 23 Estación de trabajo compacta	31
Figura 24 Principio de funcionamiento de una red Profinet	32
Figura 25 PLC S7 -1200 CPU 11214C AC/DC/Rly.....	33
Figura 26 Panel SIMATIC HMI TP700 Comfort.....	34
Figura 27 Proceso de comunicación TIA PORTAL.....	35
Figura 28 Sistema de ingeniería unitario STEP 7 – WinCC Basic	35
Figura 29 Diseño estructural del módulo de comunicación industrial	37
Figura 30 Diseño final de la planta.....	38
Figura 31 Especificaciones generales del tubo cuadrado.....	39
Figura 32 Especificaciones de planchas de acero.....	39
Figura 33 Estructura del módulo AS-i.....	40
Figura 34 Módulo MSP	40
Figura 35 Estructura del módulo didáctico AS-i.....	41

Figura 36	Punto de aplicación de la carga en el MPS	42
Figura 37	Mallado criterio Ratio Jacobiano	45
Figura 38	Análisis de esfuerzos estáticos MPS.....	46
Figura 39	Análisis de deflexión MPS.....	47
Figura 40	Factor de seguridad	48
Figura 41	Interfaz “Static Structural” del Módulo AS-i.....	49
Figura 42	Mallado de la estructura del Módulo AS-i	49
Figura 43	Puntos donde se aplicaran las cargas en la estructura del módulo AS-i.....	50
Figura 44	Mallado de la estructura con el criterio Jacobiano.....	53
Figura 45	Análisis de esfuerzos estáticos de la estructura	54
Figura 46	Factor de seguridad de la estructura	55
Figura 47	Diagrama de instrumentación de la estación de trabajo	57
Figura 48	Sensor ultrasónico UB800-18GM40	58
Figura 49	PT100 de tres hilos	59
Figura 50	Sensor de flujo YF-S201	59
Figura 51	Sensor de presión DANFOSS MSB33M	60
Figura 52	Topología de la red AS-i BUS O LINEAL	61
Figura 53	Maestro AS-i CM 1243-2.....	63
Figura 54	Ubicación de los LEDs del Maestro AS-i CM 1243-2.....	64
Figura 55	Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3	65
Figura 56	Placa de montaje K45 para fijación a perfil	66
Figura 57	Esclavo Analógico AS-i 3RK12071BQ440AA3.....	67
Figura 58	Placa de montaje K60 para montaje en perfil	68
Figura 59	Columna de señalización elemento as-interface	70
Figura 60	Columnas de señalización elemento luz permanente.....	70
Figura 61	Elemento de conexión montaje sobre piso o pared.....	71
Figura 62	Elemento de montaje sobre pared	71
Figura 63	Esclavo A/B columna de señalización AS-interface.....	72
Figura 64	Caja AS-i de 2 puntos mando con 4E/3S	73
Figura 65	Esclavo AS-interface de tipo A/B, Digital, 4E/3S	74
Figura 66	Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00.....	74
Figura 67	Cable AS-i amarillo y negro.....	75
Figura 68	Topología de una red Profinet en estrella.....	76
Figura 69	PLC S7-1200 CPU AC/DC/Rly	77
Figura 70	Panel Comfort TP 700.....	78
Figura 71	Switch Profinet	79
Figura 72	Cable Profinet	79

Figura 73 Conector RJ45	80
Figura 74 Estructura construida bajo las especificaciones establecidas.....	81
Figura 75 Soportes tipo L para el acoplamiento del módulo	82
Figura 76 Cableado de la red AS-i, cable amarillo y negro.....	83
Figura 77 Cableado real y físico de la red AS-i	84
Figura 78 Bornes de entrada de la fuente AS-i	85
Figura 79 Bornes de salida de la fuente de alimentación AS-i.....	86
Figura 80 Conexión de la fuente de alimentación 3RX9501-0BA00	87
Figura 81 Bornes de conexión para el maestro CM 1243 – 2.....	88
Figura 82 Conexión del Maestro AS-i CM 1243-2	89
Figura 83 Método de conexión vampiro para un bus AS-i.....	90
Figura 84 Método de conexión modular para un bus AS-i.....	91
Figura 85 Instalación de las cajas de montaje en conjunto con el cable.....	91
Figura 86 Disposición de las conexiones para el Esclavo Digital K45	92
Figura 87 Disposición de las conexiones para el Esclavo Análogo K60	93
Figura 88 Montaje de las dos partes de los esclavos AS-i	93
Figura 89 Conexión e instalación finalizada de los esclavos AS-i	94
Figura 90 Interruptor de conmutación de AS-i a Aux.	95
Figura 91 Bornes de conexión en el elemento de conexión	95
Figura 92 Conexión del cable AS-i amarillo y Aux negro.....	96
Figura 93 Orden de montaje de la columna de señalización	96
Figura 94 Elemento de conexión al bus AS-i para la caja de mando.....	97
Figura 95 Conectores M12.....	98
Figura 96 Direccinamiento de los esclavos AS-i.....	99
Figura 97 Creación de un nuevo proyecto en TIA PORTAL	100
Figura 98 Inicio de configuración de un nuevo dispositivo.....	100
Figura 99 Selección del controlador S7 1200.....	101
Figura 100 Vista general de TIA PORTAL.....	101
Figura 101 Selección del maestro AS-i CM 1243-2.....	102
Figura 102 Ubicación del Maestro hacia el Rack de módulos de comunicación ...	102
Figura 103 Ventana de propiedades del Maestro CM 1243-2	103
Figura 104 Ubicación de los esclavos en el catálogo de hardware	103
Figura 105 Ubicación de los esclavos en la vista de redes	104
Figura 106 Direccinamiento de los esclavos dentro del TIA PORTAL.....	105
Figura 107 Conexión de los esclavos con el Maestro AS-i.....	106
Figura 108 Red AS-i totalmente formada	106
Figura 109 Instrucción Device States.....	107

Figura 110 DeviceStates para detección de fallos.....	109
Figura 111 Ecuación de la recta Grafica	109
Figura 112 Cableado de la red Profinet.....	111
Figura 113 Configuración de un nuevo dispositivo HMI.....	111
Figura 114 Configuración de las conexiones con el PLC	112
Figura 115 Comunicación entre PLC y HMI	112
Figura 116 Finalización de las configuraciones.....	113
Figura 117 Red AS-i y Profinet en vista de redes.....	113
Figura 118 Pantalla para la construcción del HMI	114
Figura 119 Pantalla inicial para el control de variables y diagnóstico de fallas	115
Figura 120 Diseño esquemático del circuito de desacoplamiento	116
Figura 121 Diseño de la placa electrónica previa a la impresión	116
Figura 122 Visualización en 3D de la placa de desacoplamiento de datos.....	117
Figura 123 Circuito previo a la impresión	117
Figura 124 Circuito final impreso.....	118
Figura 125 Producto final Placa de desacoplamiento de señales.....	118
Figura 126 Puesta en marcha de los equipos	119
Figura 127 Fallas en el maestro AS-i	120
Figura 128 Maestro correctamente configurado.....	121
Figura 129 LEDs de los esclavos AS-i	122
Figura 130 Esclavos correctamente configurados.....	123
Figura 131 PID_Compact.....	125
Figura 132 SetPoint ingresado en modo forzado	126
Figura 133 Sintonización del PID	126
Figura 134 Sintonización Finalizada.....	127
Figura 135 Parámetros obtenidos con la sintonización	127

RESUMEN

En la automatización de procesos industriales es necesaria la utilización de una gran cantidad de dispositivos de campo en conjunto con dispositivos de control para mejorar el rendimiento y la eficiencia de los procesos productivos. Todo esto conlleva al uso de técnicas de automatización, en donde se implementa el cableado tradicional de sensores y actuadores directamente al PLC de control, para lo cual se utiliza una gran cantidad de cables, borneras, canaletas, etc. Actualmente para la conexión en red de sensores y actuadores se utiliza una técnica denominada “Bus AS-interface”, cumpliendo con todos los requisitos para la automatización de procesos, reduciendo costes y tiempo en el proceso de cableado y permitiendo la interconexión con un sistema de bus superior como “PROFINET”. El presente trabajo de titulación describe el diseño e implementación de un módulo de red de comunicación industrial para centralizar el control de un sistema de producción modular y realizar el control de variables, el mismo que se desarrolló con la ayuda de la metodología del diseño de la ciencia, en la cual se demostró que los sistemas de comunicación industrial son una herramienta muy eficiente y eficaz en los procesos de automatización y es por ello que a través de este proyecto, utilizando esta tecnología de “Bus”, se busca integrar todos los equipos seleccionados en un solo sistema de control y comunicación industrial y permitir que los estudiantes realicen prácticas en ellos.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**
- **DISPOSITIVOS DE CONTROL INDUSTRIAL**
- **BUS AS-INTERFACE**
- **COMUNICACIONES INDUSTRIALES**

ABSTRACT

In the automation of industrial processes, is necessary to use a large number of field devices together with control devices to improve the performance and efficiency of production processes. All this leads to the use of automation techniques, where the traditional wiring of sensors and actuators is implemented directly to the control PLC, for which a large number of cables, terminals, channels, etc. are used. Currently, a technique known as "Bus AS-interface" is used for the networking of sensors and actuators, complying with all requirements for process automation, reducing costs and time in the wiring process and allowing interconnection with a system of Bus as "PROFINET". The present research project describes the design and implementation of an industrial communication network module to centralize the control of a modular production system and make the control of variables, which was developed with the help of the methodology science of design, in which was demonstrated that the industrial communication systems are a very efficient and effective tool in the automation processes and that is why through this project, using this technology of "Bus", it search to integrate all the equipment into a single control and industrial communication system and allow that the students practice on them.

KEYWORDS:

- **INDUSTRIAL AUTOMATION**
- **INDUSTRIAL CONTROL DEVICES**
- **BUS AS-INTERFACE**
- **INDUSTRIAL COMMUNICATION**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

En Ecuador, la necesidad del análisis e interpretación de información, que permiten mejorar el rendimiento y la eficiencia de los procesos productivos en la industria moderna, conlleva a el uso de redes industriales para la comunicación o interconexión de dispositivos de campo y elementos de control, que existen actualmente de forma exhaustiva en todas las empresas del sector industrial.

En los inicios de esta tecnología, se utilizaban soluciones poco flexibles, a causa de estos problemas se vio la necesidad de crear redes de comunicación industrial que permita el control y monitoreo de los procesos automatizados reduciendo la utilización de conectores y mejorando el rendimiento de los procesos. Es así que hoy existen una gran cantidad de buses de campo estandarizados como lo son la red de comunicación industrial AS-i y Profinet.

Según Festo S.A. el control a través de un red de comunicación industrial AS-i, aporta con un control más limpio y efectivo en el momento de controlar y monitorear todas las variables del proceso de muy bajo nivel, lo que permite definir que el bus de campo AS-i no es más que una interface entre el sensor y el actuador que sustituye una gran cantidad de señales provenientes de los sensores y los dirige hacia los actuadores desde el controlador. En tanto que un control a través de una red de comunicación Profinet soporta el transporte de datos de diferentes protocolos.

Los sistemas de comunicación industrial demostraron ser una herramienta muy eficiente y eficaz en los procesos de automatización y es por ello que través de este proyecto, utilizando esta tecnología, se busca integrar todos los equipos en un solo sistema de comunicación.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los principales problemas que se tiene en los procesos industriales, es la acumulación de conductores, que se utilizan para el desarrollo de protocolos de comunicación entre procesos industriales, de modo que se creó un sustituto a la lógica de cableado tradicional, proporcionando un nivel de flexibilidad, fiabilidad y ahorro muy superiores. Mediante un cable de alimentación bifilar se puede transmitir alimentación y datos realizando un tipo de red de comunicación tal como lo es, el protocolo AS-i, que puede optimizar recursos en la comunicación y alimentación entre procesos mediante un bus de datos a distancias optimizando recursos tales como los económicos y espacio.

En el área de control industrial y protocolos de comunicación, los estudiantes de Ingeniería en Electromecánica necesitan módulos para fortalecer los conocimientos de los mismos, para lo cual, se implementará una red de comunicación industrial a una estación de trabajo reguladora de variables de control, tales como, nivel, caudal, presión y temperatura; en el cual se podrá realizar prácticas de protocolos de comunicación como lo es el AS-i, Profinet controlados mediante un HMI y conectados a un PLC maestro, que a su vez son utilizados en gran demanda en los procesos industriales de un sin número de empresas con mejor remuneración del país, obteniendo así mayor conocimiento teórico y práctico para la vida laboral del estudiante.

1.3. Justificación e importancia

Todos los aspectos mencionados influyen a considerar la importancia y necesidad que conlleva la implementación de una estación de trabajo compacta para la regulación de variables de control, que permita realizar prácticas a los estudiantes en protocolos de comunicación, AS-i y Profinet controlados mediante un HMI y PLC's maestros, las cuales contribuyan con

el aprendizaje y fortalecimiento de los conocimientos. Este proyecto de investigación consolida; el estudio e implementación de protocolos de comunicación y redes industriales, beneficiando a los estudiantes de Ingeniería Electromecánica y brindando el suficiente conocimiento que ayude a un mejor desarrollo de las actividades académicas y profesionales

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un módulo de red industrial AS-Interface + Profinet + HMI para un sistema de producción modular (MPS) existente en el laboratorio de hidrónica y neutrónica de la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Estudiar las características eléctricas-mecánicas y los componentes de redes industriales basadas en el bus de campo AS-Interface.
- b) Seleccionar y dimensionar los equipos necesarios (maestros, esclavos, módulos y fuentes) participantes en la implementación de la red industrial AS-Interface.
- c) Realizar la configuración y programación de una red AS-Interface con los PLC's S7-1200.
- d) Realizar la configuración y programación de un sistema de diagnóstico de fallos de una red AS-i
- e) Implementar la red de comunicación AS-Interface + Profinet aplicado al sistema de producción modular MPS.
- f) Implementar el conjunto de redes de comunicación AS-Interface + Profinet mediante la configuración de un HMI.
- g) Validar el funcionamiento de la red de comunicación AS-Interface +Profinet + HMI en los sistemas de producción modular MPS digitales y análogos.

1.5. Alcance

Con el diseño e implementación de una red de comunicación industrial mediante los buses de campo AS-Interface + Profinet, se obtendrá un control efectivo y centralizado de un sistema de producción modular MPS en el laboratorio de Hidrónica y Neutrónica de la Universidad De Las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga, contribuyendo al proceso de enseñanza y aprendizaje de los estudiantes.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Redes de comunicación industrial

Las comunicaciones industriales hoy en día deben contar con unas características particulares para responder a las necesidades de la industria, cuyo objetivo fundamental es buscar mejorar las acciones entre conjuntos automatizados y tener total control, monitoreo y detección de fallas sobre la transferencia de componentes, mediante el intercambio de datos entre PLC's, maestros, esclavos, etc. en tiempo real, los cuales forman parte del proceso de producción. Todo este debe estar diseñado para resistir un ambiente y condiciones ambientales hostiles.

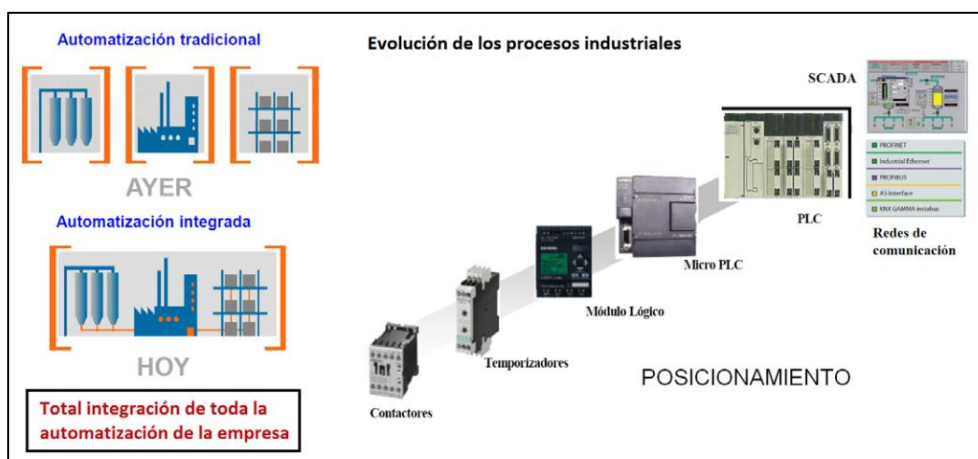


Figura 1. Evolución de los procesos y comunicaciones industriales.

Fuente: (Hurtado Torres, 2011)

Se pueden definir las Comunicaciones Industriales (industrial Communications) como el área de la tecnología que estudia la transmisión de información entre circuitos y sistemas electrónicos utilizados para llevar a cabo tareas de control y gestión del ciclo de vida de los productos industriales. (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

2.1.1. La pirámide de la automatización CIM

Las industrias modernas cuentan con sistemas o equipos que funcionan en diferentes niveles de automatización, pero a la vez se necesita enlazarlos para que trabajen de manera integrada y así obtener un resultado conjunto satisfactorio, el cual depende de la comunicación que va desde la sala de control hasta los instrumentos de campo, formando así la pirámide de la automatización CIM.

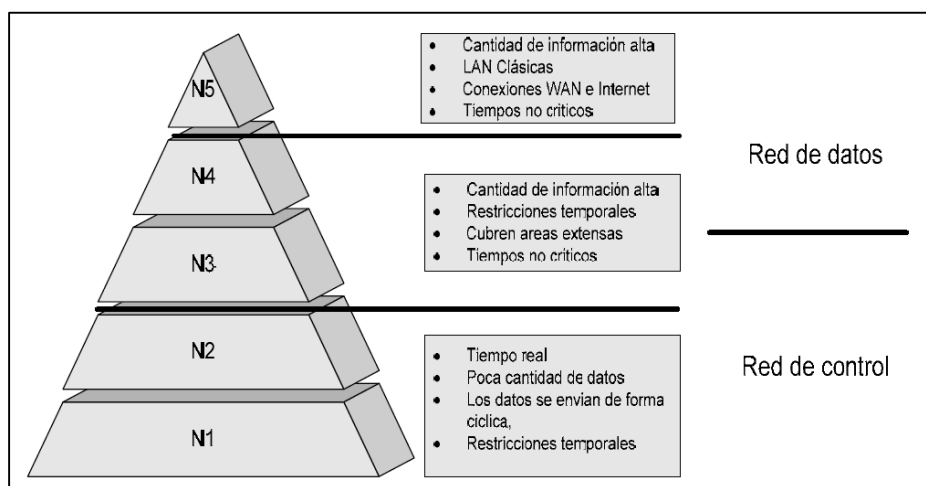


Figura 2. Jerarquía de comunicaciones industriales Pirámide CIM

Fuente: (Castro, y otros, 2007)

La pirámide de automatización cuenta con los siguientes niveles

a. N5 Nivel de gestión y dirección

Es el nivel más elevado de la pirámide CIM constituido principalmente por computadores y cuya función es extraer o recopilar la información del nivel de control de producción, para gestionar estadísticas acerca de costes de fabricación, estrategias de venta, materiales, rendimiento, calidad etc., lo cual ayudará a tomar decisiones para un mejor desarrollo y funcionamiento de la planta.

b. N4 Nivel de control de producción

Este nivel incluye una serie de unidades destinadas al control global del proceso, tales como ordenadores de proceso, terminales de diálogo, terminales de enlace con otros departamentos de la empresa, etc. Desde estas unidades se tiene acceso a la mayor parte de las variables del proceso, generalmente con el propósito de supervisarlas, presentarlas, registrarlas y/o almacenarlas, cambiar consignas, alterar programas y obtener datos para su posterior procesamiento. (Castro, y otros, 2007)

c. N3 Nivel de control de procesos

Según (Castro, y otros, 2007) este nivel está encargado del control automático de ciertas partes de la planta. La integración en red de estas unidades permite el intercambio de datos e información útil para el control global del proceso. En este nivel es donde se suelen emplear las redes de tipo LAN (MAP o Ethernet).

d. N2 Nivel de campo

En este nivel están ubicados los elementos que gestionan o controlan los actuadores, sensores, entradas y salidas del nivel e/s para que funcionen en forma conjunta. Los elementos más importantes que realiza esta función son los PLC's o los maestros de la red.

e. N1 Nivel entrada/salida

Este nivel está constituido básicamente por unidades de captación de señales, de actuación y de entrada/salida de datos del proceso o de un operador local. (Castro, y otros, 2007)

2.1.2. Ventajas de las redes de comunicación industrial

Las redes de comunicación industrial cuentan con las siguientes ventajas:

- Existe un control total de todas las acciones de las unidades automatizadas que conforman el proceso productivo.
- Monitorización y supervisión de todo el proceso productivo desde un único puesto de operación.
- Adquisición e intercambio de datos del proceso entre todos los niveles de la pirámide de automatización, en una forma más rápida y eficaz.
- Mejora la confiabilidad y seguridad de todos los sistemas o procesos de producción.
- Permite la detección rápida de fallas o acciones de riesgo del proceso, mediante funciones de alarma, supervisión y verificación.

2.1.3. Sistemas de control en una red de comunicación industrial

Existen dos sistemas de control que dependen de la complejidad de su estructura o sistema.

a. Sistema de control centralizado

Son sistemas pocos complejos cuyos procesos pueden ser controlados por solo un elemento o proceso, estos procesos incluyen producción, control, monitoreo y supervisión.

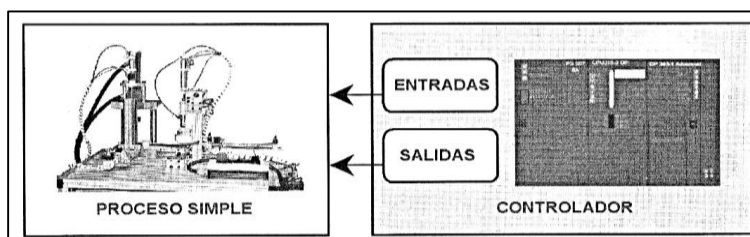


Figura 3. Sistema de control centralizado

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

b. Sistema de control distribuido SCD

La arquitectura de un SCD está formada por múltiples procesadores, cada uno de los cuales controla una unidad de proceso de una planta, de forma que en caso de fallo solo es esa parte la que queda sin control. (Ríos, 2008)

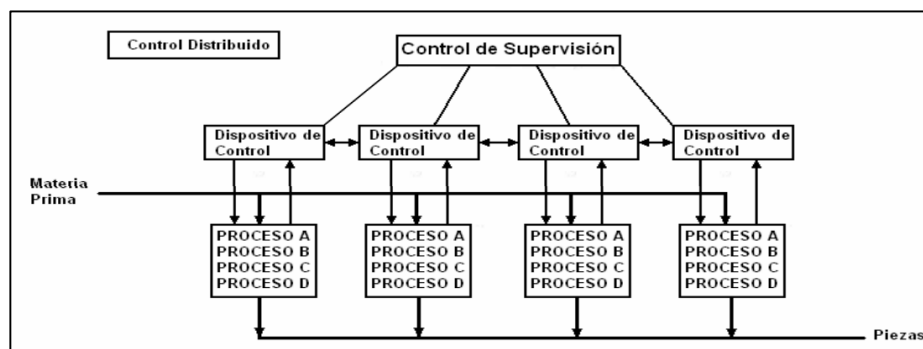


Figura 4. Estructura de un sistema de control distribuido SCD.

Fuente: (López Risquez, 2011)

2.1.4. Topología de redes

La topología de una red de comunicaciones (Communication network topology) establece la forma en que se interconectan los diferentes procesadores o equipos que la constituyen. (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009). Esto también incluye la forma del cableado.

Se pueden encontrar redes de comunicaciones industriales con las siguientes características:

a. Punto a punto

Permite la conexión directa entre dos equipos o dispositivos, lo que la hace la más sencilla de todas las estructuras en su configuración y en el cableado.

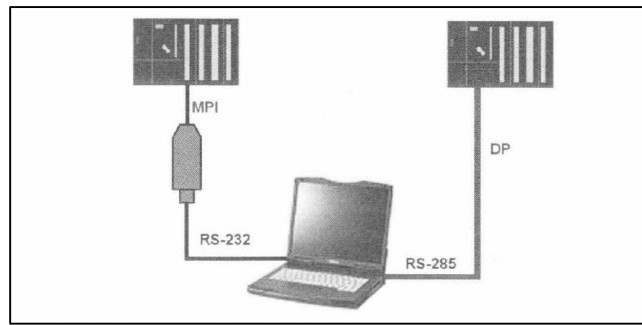


Figura 5. Estructura de una red punto a punto

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

b. Bus

Consta de un bus lineal con el cual se conectan todas las estaciones, de forma que todas ellas comparten el mismo medio físico de difusión. El fallo de una estación no afecta a la red pero un fallo en el bus la paraliza completamente. (Castro, y otros, 2007)

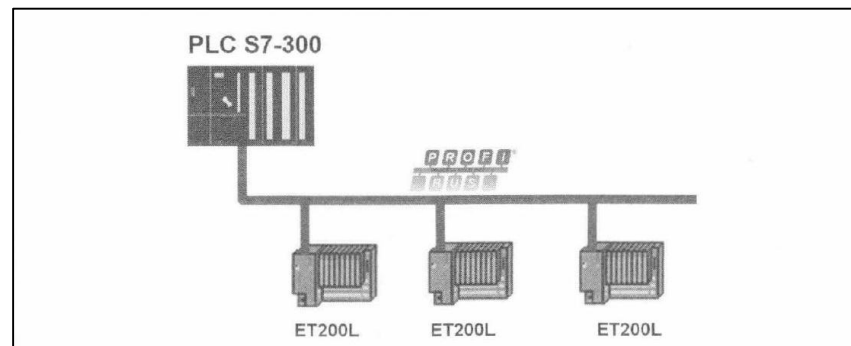


Figura 6. Estructura de una red tipo bus

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

c. Árbol

Está formado por un grupo de buses conectados entre sí, dando lugar a una estructura arbórea. Con este sistema se consigue mayor alcance que el

proporcionado por un bus simple, aunque se incrementa el problema de la atenuación. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

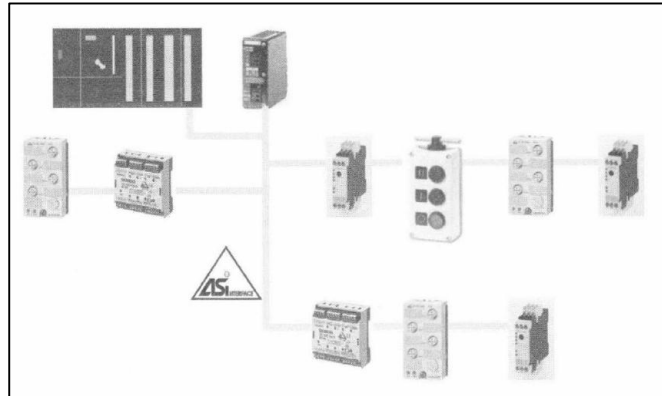


Figura 7. Estructura de una red de tipo árbol

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

d. Anillo

En esta topología las estaciones están conectadas en forma de un lazo cerrado. Cada estación tiene conexión con otras dos y los datos circulan en una única dirección, de forma que cada estación recoge los datos de la anterior, comprueba si es ella la destinataria y, en caso contrario, los retransmite a la siguiente estación. (Balcells & José Luis, 2000)

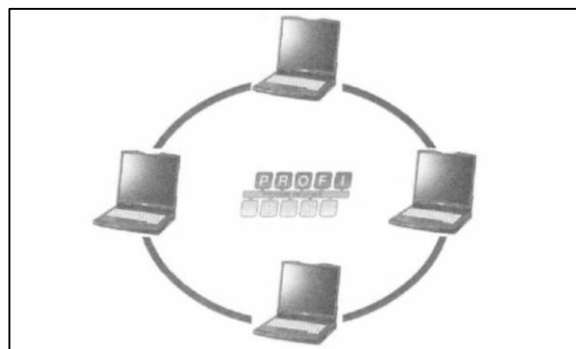


Figura 8. Estructura de una red en forma de anillo

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

e. Estrella

En una estructura en estrella, toda la información se canaliza mediante un dispositivo de control central, como por ejemplo un ordenador de proceso. Cada participante dispone de su propia línea de enlace y de un punto de conexión con el controlador central (denominado nodo). (Domingo Peña, Gámiz Caro, Grau i Saldes, & Martínez García, 2003)

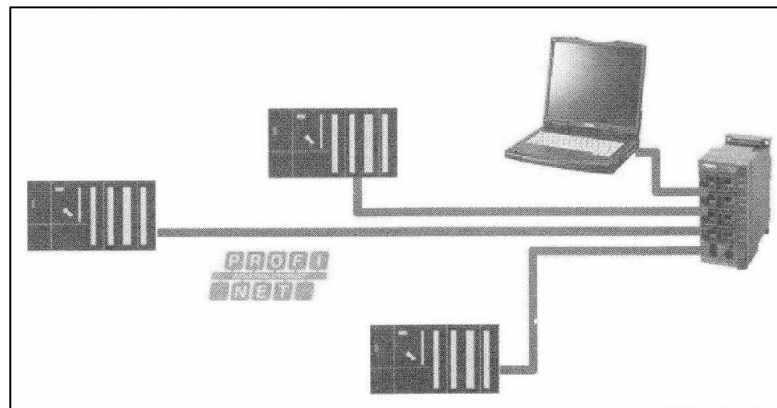


Figura 9. Estructura de una red en forma de estrella

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

2.1.5. Buses de campo

El *bus de campo* constituye el nivel más simple y próximo al proceso dentro de la estructura de comunicaciones industriales. Está basado en procesadores simples y utiliza un protocolo mínimo para gestionar el enlace entre ellos. (Balcells & José Luis, 2000)

La característica básica para que una red de comunicación pueda denominarse propiamente bus de campo es que permita intercambiar órdenes y datos entre productos de un mismo o de distintos fabricantes a través de un protocolo reconocido por cada uno de los nodos. (Balcells & José Luis, 2000)

En la Tabla 1 se muestra una comparativa de los buses de campo existentes en el mercado.

Tabla 1.

Comparativa entre los buses de campo

BUS DE CAMPO	TOPOLOGÍA	MEDIO FÍSICO	VELOCIDAD	DIST. SEGM ENTO	NODOS POR SEGMENTO	ACCES O AL MEDIO
P-NET	Anillo	Par trenzad o apantallado	76,8 kbps	1200m	125	Paso de testigo Maestro/ Esclavo
PROFIB US	Bus lineal Anillo Estrella Árbol	Par trenzad o apantallado	Hasta 12Mbps	Hasta 9,6 Km y 90 Km	125	Paso de testigo Maestro/ Esclavo
WORLD FIP	Bus lineal	Par trenzad o apantallado Fibra óptica	Hasta 1 Mbps y 5Mbps	Hasta 5 Km y 20 Km	64	Arbitro de bus
HART	Bus lineal	Cable 2 Hilos	1,2Kbps	3000m	30	Maestro/ esclavo
MODBUS	Bus lineal	Par trenzad o	Hasta 19,2Kbps	1km	248	Maestro/ esclavo
INTERBUS US-S	Anillo	Par trenzad o	500 Kbps			
BITBUS	Bus lineal	Par trenzad o Fibra óptima	Hasta 1,5Mbps	Hasta 1.200m	29	Maestro/ esclavo
CAN	Bus lineal	Par trenzad o	Hasta 1 Mbps	Hasta 1.000m	127-64	CSMA/CD con arbitraje de bit

CONTINÚA 

SDS	Bus lineal	Cable de 4 hilos	Hasta 1 Mbps	500 m	64	CSMA
DEVICE NET	Bus lineal	Par trenzado o	Hasta 500 Kbps	Hasta 500 m	64	CSMA/CDBA
CONTRONET	Bus lineal Árbol Estrella	Coaxial Fibra óptica	5 Mbps	Hasta 3.000m	48	CTDMA
SERIPL EX	Bus lineal	Cable de 4 hilos apantallado	98 Kbps	1.500m	300	Maestro/esclavo
AS-i	Bus lineal Árbol Estrella	Cable 2 hilos	167 Kbps	Hasta 200 m	Hasta 200 m	Maestro/esclavo
LONWORKS	Bus Anillo Libre	Par trenzado o Fibra óptica Red eléctrica Coaxial Radio Infrarrojos	Hasta 1,25 Mbps	Hasta 2.700 m	64	CSMA/C A
ARCNET	Bus lineal	Par trenzado o Fibra óptica Coaxial	2,5 Mbps	122 m	255	Paso de testigo
M-BUS	Bus lineal	Cable 2 hilos	Hasta 9,6 Kbps	1.000 m	250	Arbitro de bus
UNI-TELWAY	Bus lineal	Par trenzado o	Hasta 19,2Kbps	20 m	Hasta 28	Maestro/esclavo

CONTINÚA 

		apantallado				
COMOB	Bus lineal	Cable	Hasta 750	Hasta	32	Maestro/
US/S		de 2 ó 4 hilos	Kbps	500 m		esclavo

Fuente: (Hurtado Torres, 2011)

2.2. Redes de comunicación industrial AS-interface

AS-Interface es un bus estándar abierto creado a partir del año 1994 y que según (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010) fue creado para la sustitución de la gran cantidad de señales provenientes de los sensores y dirigidos hacia los actuadores desde el controlador.

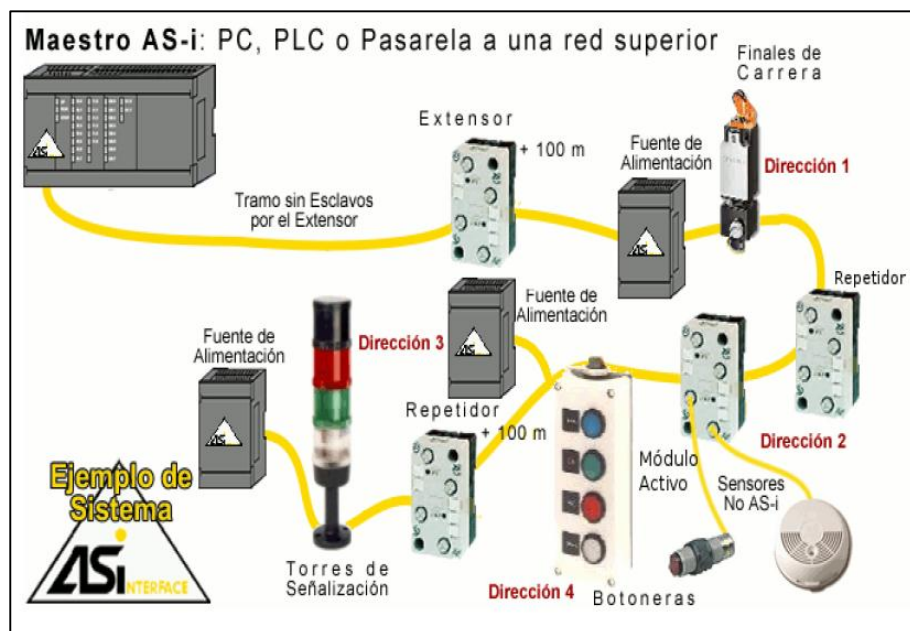


Figura 10. Ejemplo de sistema AS-i para más de 100m

Fuente: (Hurtado Torres, 2011)

Las redes de comunicación industrial AS-i brindan nuevas características tecnológicas de instalación, comunicación y automatización, permitiéndole al usuario obtener beneficios económicos en el diseño, funcionamiento y mantenimiento de las máquinas.

2.2.1. AS-i dentro de la p irame de la automatización

(Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010), mencionan en su obra que el bus AS-interface es una red estándar de mercado, robusta y suficientemente flexible, que cumple con todos los requerimientos para un bus de comunicación industrial.

AS-i se sitúa en el nivel más bajo de la pirámide de control permitiendo conectar todos los sensores y actuadores con el maestro específico para el nivel de campo, es decir, realiza la transferencia de datos en tiempo real.

Los maestros pueden ser autómatas o PCs situados en los niveles bajos de control, o pasarelas que comuniquen la red AS-Interface con otras redes de nivel superior, como Profibus o DeviceNet. (ODYSSEY, 2016).

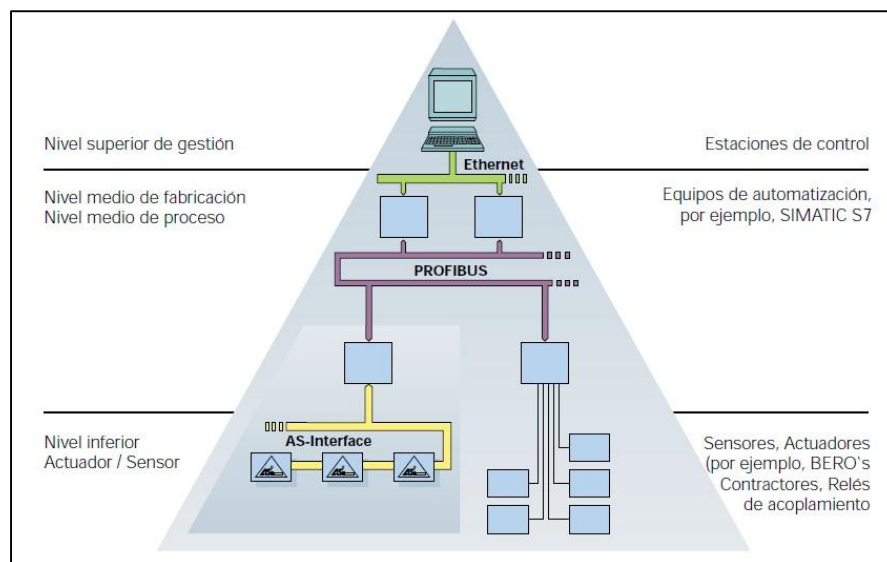


Figura 11. Los distintos niveles de comunicación industrial

Fuente: (Salzer & Schirmer_Kaegebein, 2000)

Es así, que AS-i dentro de las redes de comunicación industrial permite la conexión o comunicación de un PLC con elementos analógicos y digitales que pueden ser de entrada o salida.

2.2.2. Ventajas y Desventajas de una red AS-i

a. Ventajas

AS-interface como bus de campo tiene las siguientes ventajas operativas y de instalación.

- Tiene un bajo costo de instalación.
- Permite reducir del cableado utilizado para el control de la instalación, sustituyéndole por un solo cable AS-i.
- Permite realizar un diagnóstico del estado de cada esclavo o estación conectado a la red de comunicación.
- La transmisión de datos y alimentación entre maestros y esclavos se la realiza mediante un solo cable AS-i.
- La distancia posible de cableado pueden ser superiores a las del cableado tradicional.

b. Desventajas

La principal desventaja de la red AS-i está relacionada con el costo elevado de los elementos (maestros y esclavos) que conforman la red de comunicación AS-i interface.

Según un estudio de la universidad técnica de Múnich, en una máquina fresadora se ahorra hasta un 25% de los costes de la instalación, si se utiliza la red AS-Interface. A pesar de que los costes de los módulos de AS-Interface son en principio superiores a los de los sensores y actuadores tradicionales, al considerar los costes totales de montaje e instalación de toda la instalación, el ahorro que se obtiene suele ser de un 15-30%. (Balcells & José Luis, 2000)

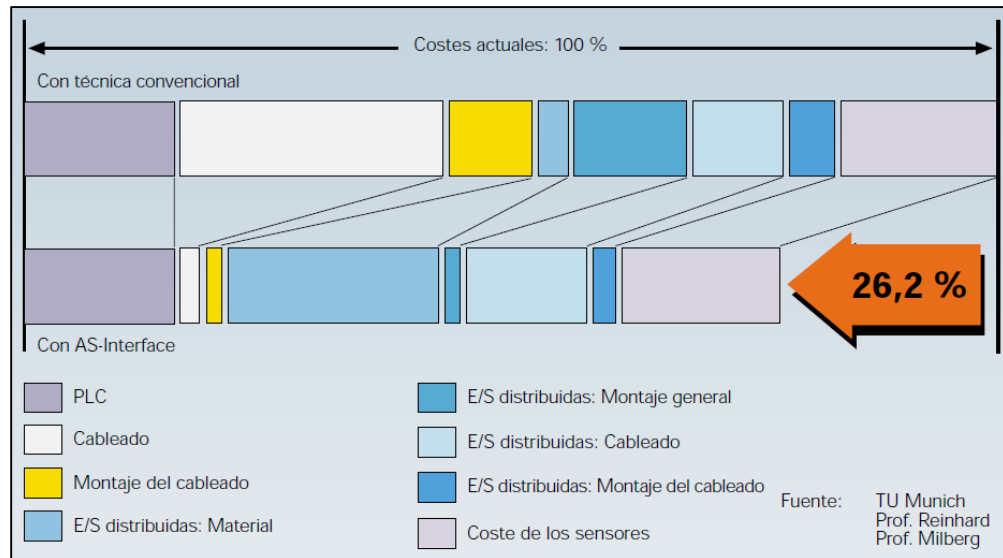


Figura 12. Comparación de costes

Fuente: (Balcells & José Luis, 2000)

2.2.3. Características principales de una red AS-i

AS-interface tiene varias características que los diferencian de la técnica convencional de comunicación y cableado, como son:

- Es un sistema desarrollado para los niveles más bajos de la pirámide de automatización en donde prevalecen los equipos de tipo binario (sensores, electroválvulas, actuadores, etc.).
- Uso de un cable común de dos hilos para la transmisión de datos y la distribución de la tensión auxiliar entre los sensores. (SIEMENS, SIEMENS IK PI MANUAL, 2012).
- Puede utilizar cualquier topología de red existente (estrella, anillo, árbol, línea, etc.)
- Su montaje es relativamente fácil y sencillo ya que utiliza el método de perforación del aislamiento del conductor.

- Reacción rápida: el maestro AS-i necesita como máximo 5 ms para el intercambio de datos cíclico con hasta 31 estaciones conectadas. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)
- Los componentes del bus AS-i se basan en un circuito integrado específico que reúne en una sola pastilla todos los elementos electrónicos necesarios para las comunicaciones y el control de entradas y salidas del esclavo AS-i. (Rodríguez Penin, 2008)
- Se pueden conectar a los niveles jerárquicos superiores de la red mediante bridges (pasarela) como por ejemplo Modbus/AS-i o aprovechando la capacidad de comunicación de un módulo del bus en un PLC. (ODYSSEY, 2016)

2.2.4. Componentes de la red AS-i

Los componentes que forman la red AS-i son los siguientes:

a. Maestro AS-i

El Maestro AS-i tiene como función principal el controlar la red AS-i, ya que permite al usuario tener control sobre los datos o las E/S de cada esclavo AS-i conectado a la red y que posteriormente se los envía al PLC, e inversamente.



Figura 13. Maestro SIMATIC S7-1200, CM 1243-2

Fuente: (SIEMENS, www.siemens.com, 2016)

Aparte de la correspondiente consulta sobre el estado de las señales de los esclavos, el maestro también es capaz de transmitir parámetros de configuración a los esclavos, o supervisar la red constantemente y suministrar datos de diagnóstico. (Salzer & Schirmer_Kaegebein, 2000)

b. Esclavos AS-i

Los Esclavos AS-i son las estaciones de la red, provistas de entradas y salidas análogas o digitales las cuales aceptan los datos enviados por el maestro y envían sus propios datos, permiten conectar sensores y actuadores, además se pueden encontrar balizas de señalización, botoneras, paros de emergencias, etc.



Figura 14. Esclavos AS-i digital con alimentación auxiliar

Fuente: (SIEMENS, SIEMENS IK PI MANUAL, 2012)

c. Fuente de alimentación AS-i

La fuente de alimentación AS-i es única, desarrollada específicamente para esta red y que suministra una tensión aproximada de 30 V en DC al maestro AS-i y a todas las estaciones (esclavos) conectados a la red. Son

resistentes a sobrecarga, cortocircuito y cumplen con la especificación PELV (cable de protección a tierra).

Incluyen un desacoplador de datos de rendimiento optimizado para separar las señales de comunicación de la tensión de alimentación. Gracias a ello, AS-Interface puede transmitir los datos y la tensión por una misma línea. (SIEMENS, 2012)



Figura 15. Fuente AS-i con desacoplamiento de datos

Fuente: (SIEMENS, www.siemens.com, 2016)

d. Fuente de alimentación auxiliar

Para ciertos esclavos o estaciones es necesaria la conexión de una fuente de alimentación auxiliar, para dar mayor potencia a los sensores y actuadores conectados a la red por medio de los esclavos. Esta tensión auxiliar puede ser e 24 V en DC o 220 V en AC.

e. Cable AS-i

El cable As-i, funciona como un cable bifilar plano no apantallado y sin trenzar, diseñado especialmente para este tipo de red industrial con el objetivo de transmitir señales y energía de alimentación mediante el mismo cable. Generalmente el cable es de color amarillo pero pueden existir otros tipos de coloración de acuerdo a la necesidad del usuario.

- Para módulos que necesiten alimentación a 24 V DC se puede utilizar una fuente de alimentación corriente (PELV), y si es posible el cable plano negro de alimentación auxiliar.
- Para módulos que necesiten alimentación a 230 V AC se puede utilizar, si es posible, el cable plano rojo de alimentación auxiliar.

El cable está envuelto por una cubierta codificada mecánicamente, que sólo puede encajar en una posición, de esta manera se previenen problemas de inversión de polaridad. (Rodríguez Penin, 2008)

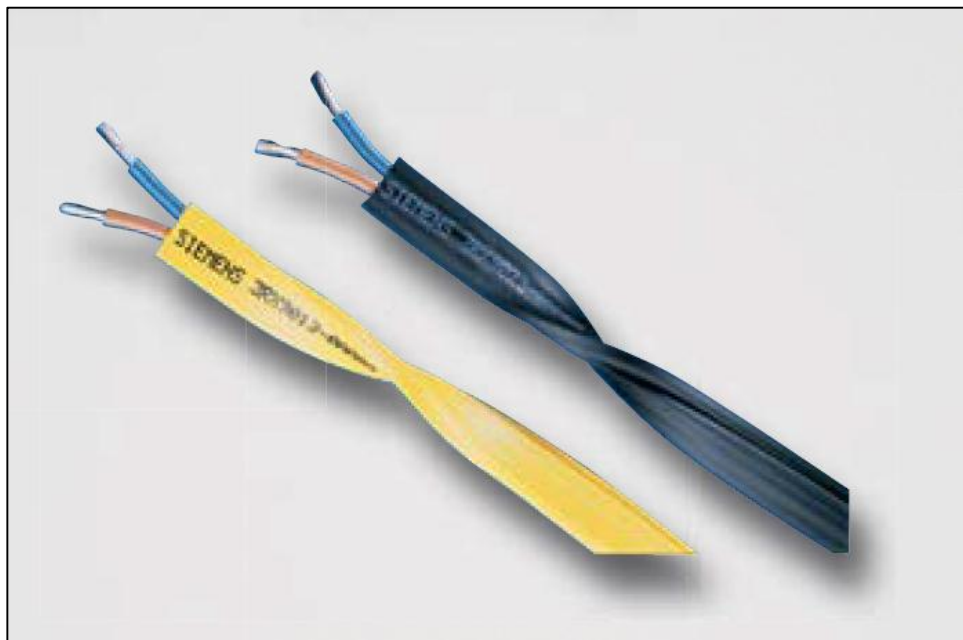


Figura 16. Cable amarillo AS-i y cable negro auxiliar

Fuente: (SIEMENSAG, 2009)

f. Conectores

Los conectores se utilizan cuando se desea conectar un sensor/actuador a los esclavos de la red de comunicación AS-i, los conectores más utilizados para esta finalidad son los M12.

Los conectores M12 pueden unirse en campo a sensores o cables de extensión existentes con conductores de #18 a #24 CAE (AWG) y a cables de 4 a 6 mm (0,16 a 0,24") de diámetro mediante conexiones de tipo tornillo. (OMEGA, 2003-2017)

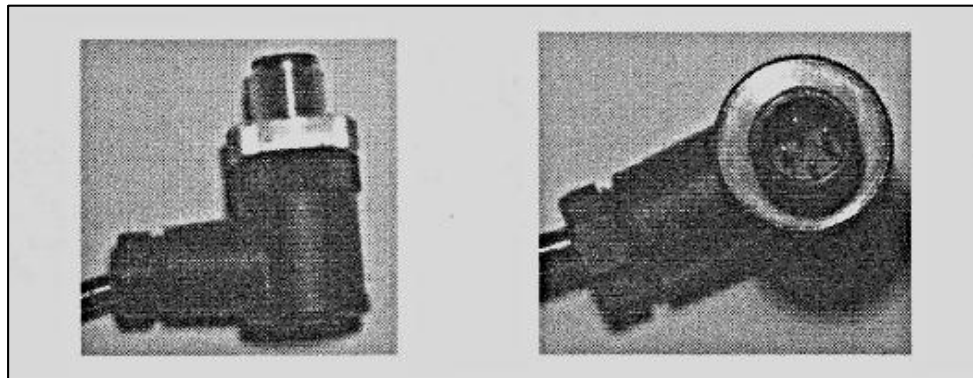


Figura. 17 Conectores para sensores y actuadores

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

2.2.5. Versiones Operativas de AS-i

Actualmente existen 3 versiones operativas con las que cuenta AS-interface, cuyas diferencias están relacionadas con las características y cantidad de esclavos que puede tener un maestro, pero que son compatibles entre sí.

a. Versión 2.0

Según (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010) en la versión 2.0 tan sólo existe un esclavo con un número de dirección unívoca y cada esclavo puede contener con máximo 4 entradas + 4 salidas.

Esto quiere decir que en esta versión un maestro puede controlar un número máximo de 32 esclavos y con 124 señales de entrada y 124 señales de salida.

b. Versión 2.1

La versión 2.1 de AS-i, aparecida en 2002, mejora las prestaciones del bus. Entre otras, aumenta el número de esclavos al doble (pasan a llamarse esclavos ampliados, A/B), mejora los diagnósticos o permite la gestión de señales analógicas, todo ello manteniendo la compatibilidad de elementos. (Rodríguez Penin, 2008)

(Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010) mencionan en su obra que en la versión 2.1 pueden existir dos esclavos con la misma dirección, pero se diferencia porque existe uno que será esclavo "A" y otro que será esclavo "B", en la que cada uno de ellos puede contener como máximo 4 señales de entradas + 3 señales de salidas.

Esto quiere decir que en esta versión un maestro puede controlar un número máximo de 62 esclavos (32 "A" y 32 "B") y con 248 señales de entrada y 186 señales de salida.

c. Versión 3.0

Según (Rodríguez Penin, 2008) en esta versión se siguen transmitiendo 4 bit a cada esclavo y se recibe 4 bit de cada uno, pero se gestionan de manera

más eficiente para obtener intercambios equivalentes de mayor tamaño (utilización de multiplexado de información).

En esta versión también aparecen esclavos con mayor capacidad de entradas-salidas y esclavos A/B con entradas y salidas analógicas. Cabe destacar que esta versión es compatible con las 2 anteriores.

2.2.6. Funcionamiento de la red AS-i

El sistema de comunicación AS-I presenta una interface simple para acceder a la información de los sensores o actuadores que se encuentran conectados a la red. Estas conexiones se las realiza por el cable AS-i, el cual transmite datos y alimentación al mismo tiempo a través de su controlador o PLC correspondiente. Toda red AS-i está controlada y monitoreada por un maestro el cual realiza el intercambio de información, actuando como una red monomaestro.

AS-i es una red monomaestro que funciona mediante polling cíclico, es decir, hay un único maestro que direcciona uno a uno a los esclavos y realiza la comunicación con ellos. El maestro de la red puede establecer una comunicación no cíclica con algún esclavo para adaptar su configuración o en la fase de arranque de la red. La red es de difusión, por lo que en cada trama se ha de indicar la dirección del esclavo con el que se establecerá la comunicación. El mensaje del maestro incluye los datos o la función que envía al esclavo y es devuelto por éste con los datos solicitados por el maestro. (Cassiolato, 2011)

2.2.7. Principios de Maestro – Esclavo

El AS-Interface trabaja según el principio Maestro-Esclavo. Esto significa que el maestro AS-i conectado al cable AS-i controla el intercambio de datos con los esclavos AS-i a través de la interfaz con el cable AS-i. (SIEMENS, 2012)

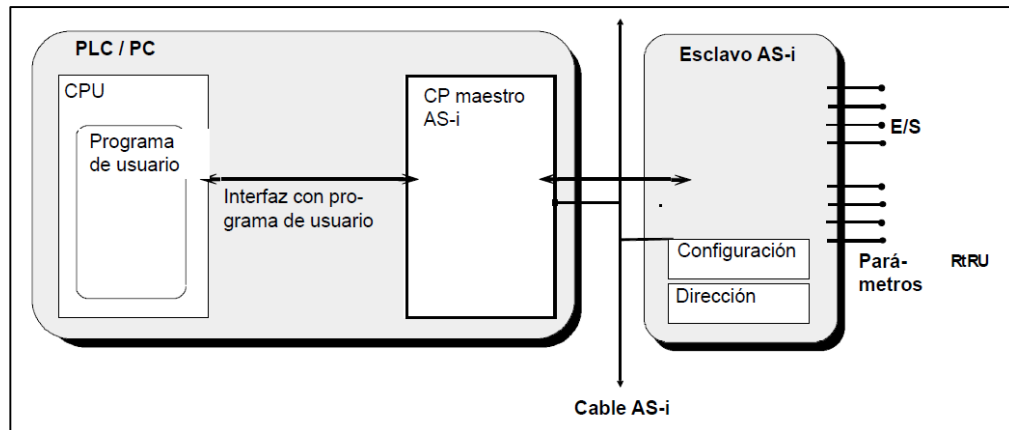


Figura 18. Principios maestro esclavo en una red AS-i

Fuente: (SIEMENS, 2012)

La Figura 18 muestra las dos interfaces del CP maestro AS-i:

- Mediante la interface PLC y maestro AS-i transitan los datos existentes en el programa de usuario y también los comandos de parametrización.
- Por medio de la interface entre el maestro AS-i y el medio de transmisión (cable AS-i) se intercambian datos e información con los esclavos AS-i.

2.2.8. Métodos de sondeo y selección

Las redes de tipo Maestro – Esclavo utilizan esta alternativa de sondeo y selección, las cuales tienen las siguientes características operativas.

- Sondeo o Polling: La estación central (Master) interroga al resto de estaciones de forma secuencial una tras otra (Poli). Cuando una estación Slave tiene el "Poli" es cuando se le permite transmitir la información, si es que dispone de ella. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

- Selección: La estación Master envía un "Select" a la estación Slave para decirle que tienen información para enviarle. Esta le contesta si está o no preparada; si lo está, le envía el mensaje. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

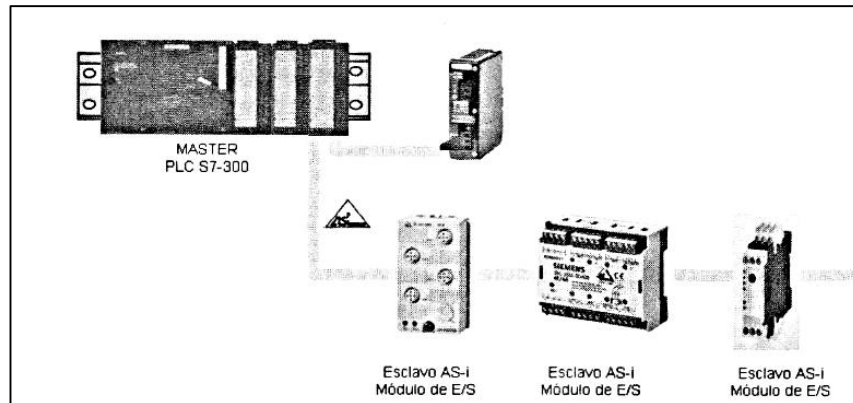


Figura 19. Bus AS-i como ejemplo de aplicación de sondeo y selección

Fuente: (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

2.2.9. Modulación y codificación de señales dentro de la red AS-i

Para elegir el proceso de modulación de la señal mediante la cual se transmite la información se ha tenido en cuenta que:

- La señal de información se superpone con la tensión de alimentación de los dispositivos de campo cuya corriente circula por el cable AS-i. Por ello, su valor medio debe ser nulo, a fin de no perturbar a la alimentación de los módulos.

- La señal de información ha de tener un ancho de banda limitado a fin de minimizar en lo posible la radiación de interferencias electromagnéticas y evitar el efecto de la atenuación del cable AS-i a las señales de altas frecuencias. Para conseguir un bajo coste y un elevado aprovechamiento del ancho de banda disponible, los mensajes deben ser lo más simples y eficientes posible. (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

Por estas y otras razones, la norma AS-i utiliza un proceso específico de modulación de la señal en banda base digital, que se denomina APM (acrónimo de Alternating Pulse Modulation). La modulación APM utiliza las inductancias integradas en el circuito de desacoplo de la fuente de alimentación AS-i para convertir los impulsos de corriente, que generan los procesadores de comunicaciones AS-i, en impulsos de tensión (Figura 20). (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

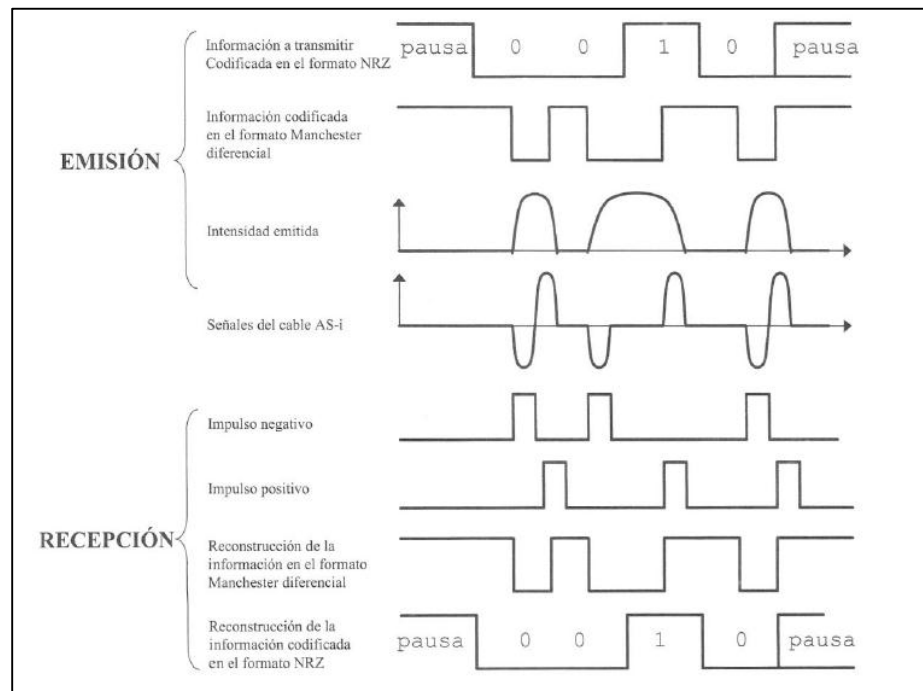


Figura 20. Representación esquemática de la modulación APM

Fuente: (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

Esta técnica de modulación, junto con las características del cable de comunicación, la distancia máxima elegida y las topologías de red utilizables, hace que la duración de cada bit pueda ser de 6 microsegundos, por lo cual la velocidad de transmisión de información en la red de campo AS-i se ha normalizado en 167 Kbits/segundo. (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

2.2.10. Ciclo de lectura y escritura de esclavos

El maestro en primer lugar realiza una llamada a todos y cada uno de los esclavos tipo "A" o únicos en donde copia el estado de sus entradas y les fuerza las salidas al estado indicado por el programa en cada momento, desde el esclavo 1 o 1A hasta el esclavo 31 o 31A uno tras otro y en ese orden. Una vez finalizado, inicia el mismo proceso pero con los esclavos tipo "B", desde el 1B al 31B. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

Al ser un sistema determinista asegura que en 5 ms ha realizado la actualización de datos en los 31 esclavos tipo "A" y únicos y en otros 5 ms asegura la actualización de datos en los 31 esclavos tipo "B", lo que indica que si se encuentran los 62 esclavos conectados en una misma red, el maestro AS-i habrá actualizado los datos en un tiempo de 10 ms. (Guerrero, Yuste, & Martínez, 2010)

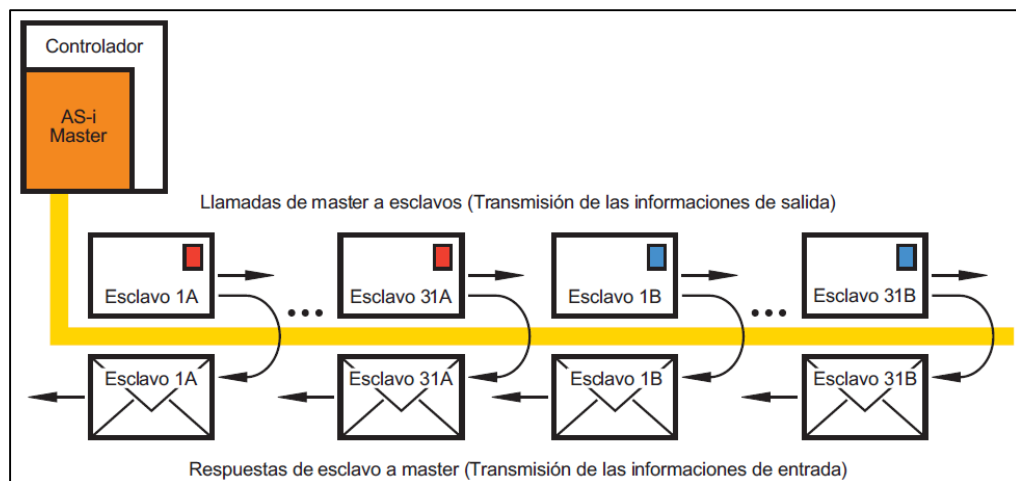


Figura 21. Estructura del ciclo lectura/escritura desde el maestro a los esclavos

Fuente: (ELECTRONIC, 2009)

El maestro AS-i utiliza un telegrama muy sencillo para la comunicación con los esclavos están conectados. Gracias a un encabezamiento reducido al

mínimo, AS-i obtiene tiempos de ciclo cortos, como por ejemplo 5 milisegundos para 248 entradas y salidas que tienen que ser escaneadas. El telegrama AS-i se repite 31 veces por ciclo, y en funcionamiento extendido se repite 62 veces. (ELECTRONIC, 2009)

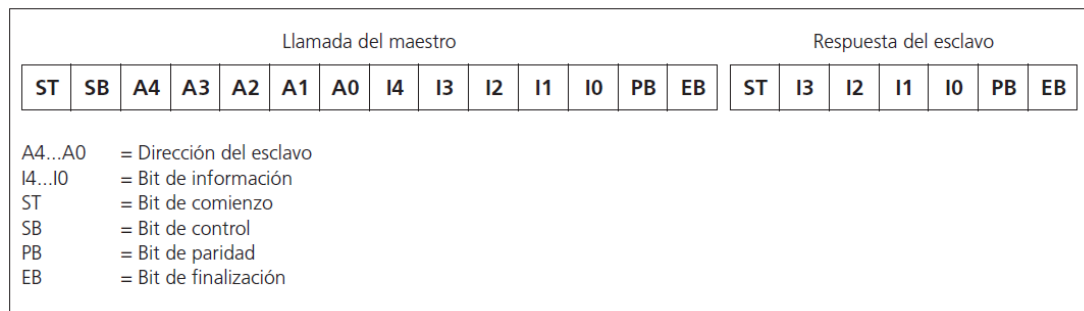


Figura 22. Telegrama AS-i

Fuente: (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)

2.3. Estación de trabajo compacta para la regulación de variables

El módulo es un sistema didáctico enfocado a la enseñanza y práctica de instrumentación industrial y sistemas de automatización así como al desarrollo de procesos de control, en su diseño esta planta contiene varios componentes entre los cuales se pueden mencionar sensores, transductores y actuadores, mediante los cuales el operador puede establecer distintos lazos de control según la variable que se maneje ya sea: flujo, presión, nivel o temperatura. Este módulo está enfocado en cumplir con una serie de procesos formativos y requisitos profesionales ya que dispone de varios componentes usados ampliamente en el área industrial. (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)

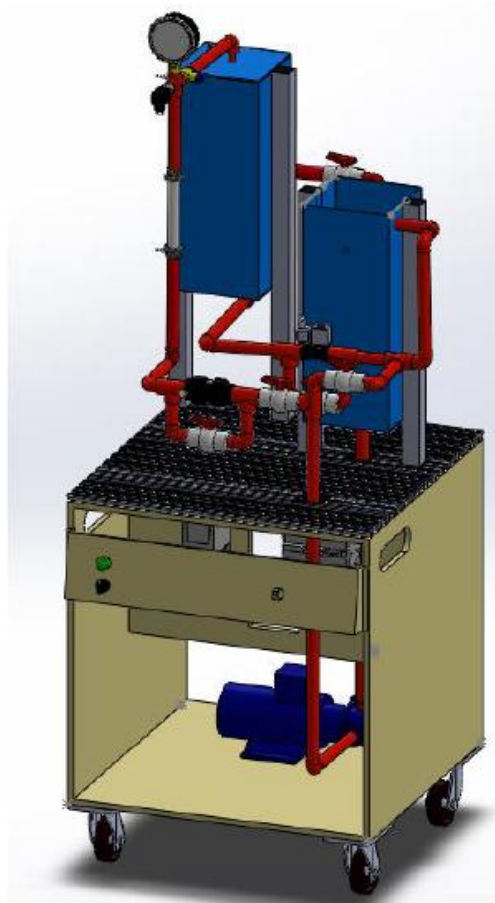


Figura 23. Estación de trabajo compacta

Fuente: (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)

2.4. Redes de comunicación industrial Profinet

En el contexto de la 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, 2010)

En la Figura 24 se representa un esquema de bloques que muestra el principio de funcionamiento de una red Profinet que facilita la comunicación entre los diferentes tipos de sistemas electrónicos utilizados en la pirámide CIM:

- Los controladores (autómatas programables) y las unidades de interfaz usuario-máquina (HMI) que se utilizan en aplicaciones que necesitan un tiempo de respuesta TR comprendido entre 10 y 100ms.
- Los controladores (autómatas programables) y las unidades de entrada/salida remotas Distributed field devices) que se utilizan en aplicaciones que necesitan un tiempo de respuesta TR, comprendido entre 1 y 10 ms.
- Los equipos de control de movimientos, como por ejemplo los sistemas de control numérico de gran capacidad, que necesitan un tiempo de respuesta inferior a 1ms. (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

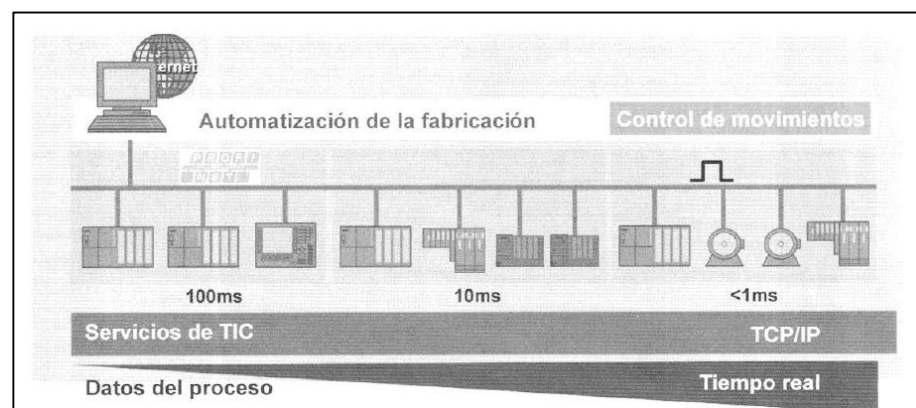


Figura 24. Principio de funcionamiento de una red Profinet

Fuente: (Mandado Pérez, Acevedo, Fernández Silva, & Armesto Quiroga, 2009)

2.5. PLC S7-1200

El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades 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. (SIEMENS, 2009)



Figura 25. PLC S7 -1200 CPU 11214C AC/DC/RIy

Fuente: (HMK, 2017)

La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, circuitos de entrada y salida, PROFINET integrado, E/S de control de movimiento de alta velocidad y entradas analógicas incorporadas, todo ello en una carcasa compacta, conformando así un potente controlador. Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. (SIEMENS, 2009)

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación en redes PROFIBUS, GPRS, RS485 o RS232. (SIEMENS, 2009)

2.6. SIMATIC COMFORT PANEL TP700

Los SIMATIC HMI Comfort Panels son una línea de productos totalmente nueva desarrollada a partir de paneles táctiles y paneles con teclado. 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". (SIEMENS, 2012)

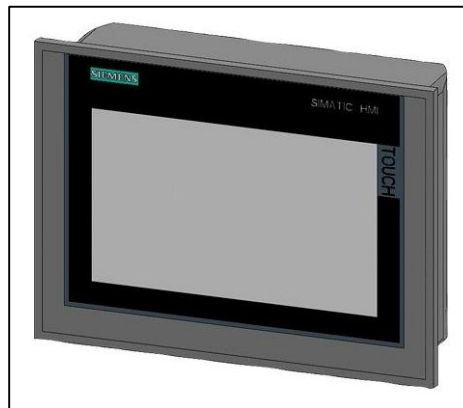


Figura 26. Panel SIMATIC HMI TP700 Comfort

Fuente: (MASVOLTAJE, 2017)

Desde el panel de operador se puede leer el diagnóstico del sistema de los controladores SIMATIC, por lo que no es necesaria ninguna otra programadora. (SIEMENS, 2012)

2.7. 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. 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. (SIEMENS, 2009)

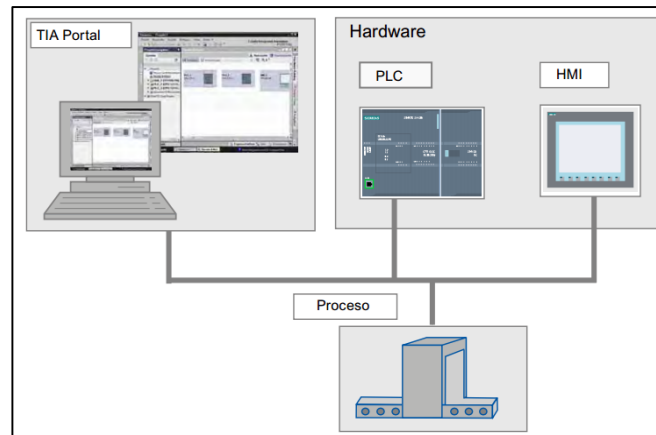


Figura 27. Proceso de comunicación TIA PORTAL

Fuente: (SIEMENS, 2009)

Con el TIA Portal se configura tanto el control como la visualización en un sistema de ingeniería unitario. Todos los datos se guardan en un proyecto. Los componentes de programación (STEP 7) y visualización (WinCC) no son programas independientes, sino editores de un sistema que accede a una base de datos común. Todos los datos se guardan en un archivo de proyecto común. (SIEMENS, 2009)

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. (SIEMENS, 2009)

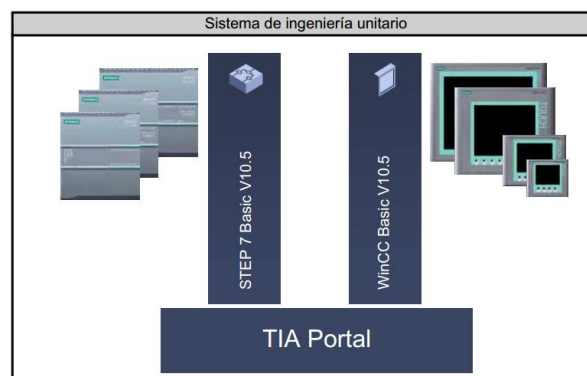


Figura 28. Sistema de ingeniería unitario STEP 7 – WinCC Basic

Fuente: (SIEMENS, 2009)

CAPÍTULO III

DISEÑO, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

3.1. Diseño Mecánico del Módulo de red AS-interface

Para el diseño y construcción del módulo, se debe tomar en cuenta que tipo de estructura se va a realizar y las dimensiones que no afecten el diseño del módulo MPS; utilizando varios software computacionales, como ANSYS y SolidWorks (licencias estudiantiles), se puede realizar el modelado en 3D de su estructura para llegar a su análisis y construcción final.

3.1.1. Diseño Estructural del módulo

En las siguientes figuras se observa los modelamientos en 3D de los módulos reales que se implementaron, de acuerdo a las necesidades del laboratorio de hidrónica y neutrónica. Los módulos fueron diseñados en partes individuales, ensamblados y colocando sus elementos para obtener el MSP final, tal como se indica en la Figura 29 y sus dimensiones se muestran en la Tabla 2

Tabla 2.

Dimensiones del módulo de comunicación industrial

Dimensión	Valor
Alto	1130 mm
Largo	700 mm
Ancho	150 mm

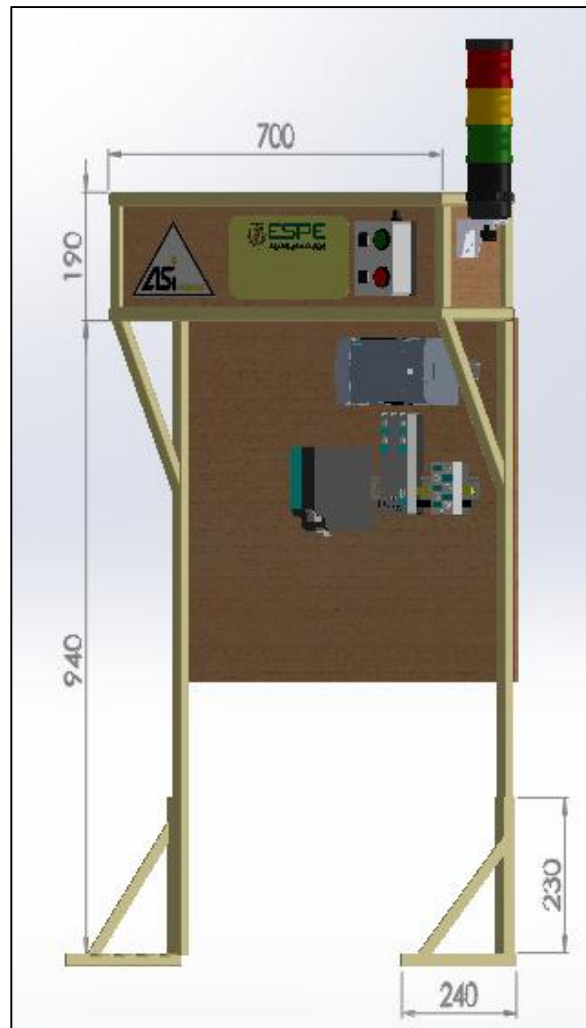


Figura 29. Diseño estructural del módulo de comunicación industrial

Una vez realizado el diseño del módulo de comunicación industrial, se implementó el módulo didáctico AS-i en el módulo MPS como se podrá observar en la Figura 30 en su ensamble final y en la Tabla 3 sus dimensiones finales.

Tabla 3.

Dimensiones finales del módulo ensamblado con la planta

Dimensión	Valor
Alto total	1880 mm
Largo total	700 mm
Ancho total	700 mm

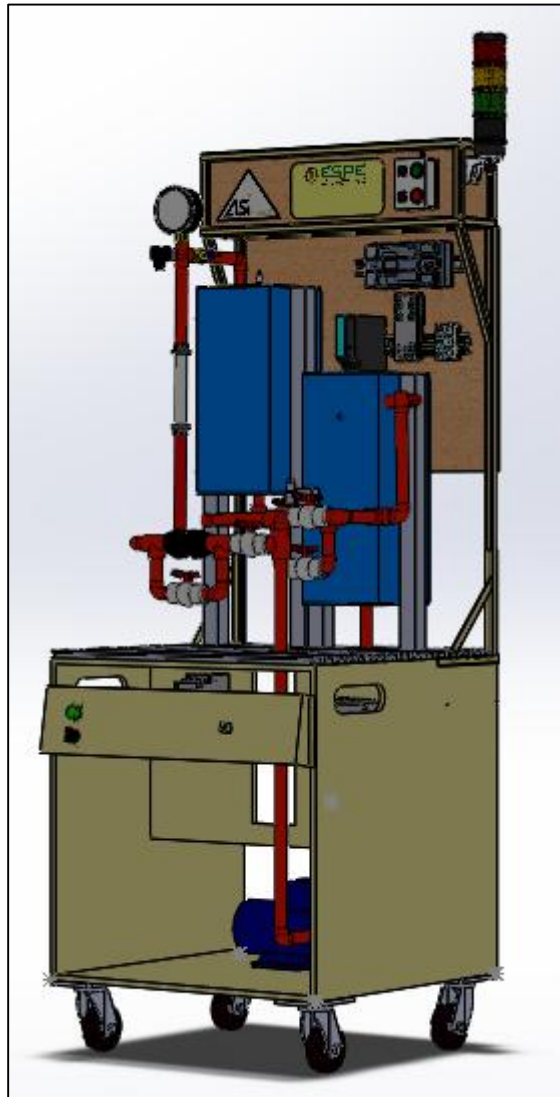


Figura 30. Diseño final de la planta

3.1.2. Selección de materiales

Se determinó mediante el modelado en 3D y el análisis de esfuerzos de la estructura, que tipo de materiales serán utilizados para este diseño; en este caso se utilizó dos tipos de tubos cuadrados con diferente espesor (observar en la Figura 31), los que fueron implementados en el panel y los soportes del módulo didáctico AS-i.

Denominación	Dimensión		Peso	
	a	e	kg/m	kg/6m
Pulgadas	mm	mm	kg/m	kg/6m
1/2	12	0.75	0.29	1.71
		0.90	0.34	2.06
3/4	20	0.75	0.46	2.75
		0.90	0.54	3.24
		1.10	0.65	3.88
1	25	0.75	0.58	3.48
		0.90	0.69	4.15
		1.10	0.84	5.05
1 1/4	30	0.90	0.83	5.00
		1.10	1.02	6.09
1 1/2	40	0.90	1.05	6.27
		1.10	1.27	7.61

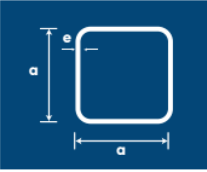


Figura 31. Especificaciones generales del tubo cuadrado

Fuente: (NOVACERO, 2011)

Mediante las pruebas se determinó que se debería realizar las cubiertas del panel con tol laminado de 1mm de espesor ya que el módulo AS-i va centrado con finales estudiantiles y debe garantizar durabilidad en su manipulación excesiva. El tablero de control es aquel donde se va a colocar la mayoría de equipos AS-i y debe garantizar el soporte de ellos.

REDUCCION DE FRACCIONES DE PULGADAS A MILIMETROS					
PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS	PULGADAS	MILIMETROS
1/20	= 1.27	1/2	= 12.70	61/64	= 24.21
1/16	= 1.59	33/64	= 13.10	61/32	= 24.61
5/64	= 1.98	17/32	= 13.49	63/64	= 25.00
23/64	= 9.13	13/16	= 20.64		
3/8	= 9.53	53/64	= 21.03		

Figura 32. Especificaciones de planchas de acero

Fuente: (DIPAC, 2016)

Para los soportes se recomiendan utilizar ángulos y pletinas, y a su vez sujetos con pernos que permitirá que el módulo no pueda inclinarse a cualquier dirección mediante su manipulación; se puede observar en la Figura, la estructura del módulo AS-i en la figura, también sus diseños de sus planos constructivos se los puede encontrar más detallados en el Anexo B.

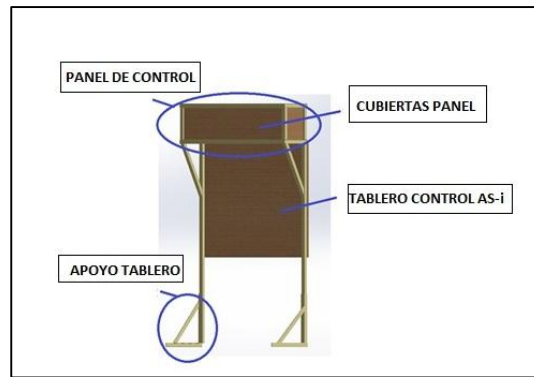


Figura 33. Estructura del módulo AS-i

3.1.3. Análisis computacional estructural del MPS

Para la simulación de la estructura del módulo didáctico, es necesario realizar el análisis en algún software computacional en este caso ANSYS, para garantizar que el módulo MPS (Figura 34), sea capaz de soportar en su parte posterior el peso del módulo didáctico AS-i sin que ocurra deformaciones afectando el diseño; la estructura del módulo AS-i (Figura 35), fueron realizadas en función a las dimensiones del módulo MPS que se encuentra en el laboratorio de hidrónica y neumática.



Figura 34. Módulo MPS

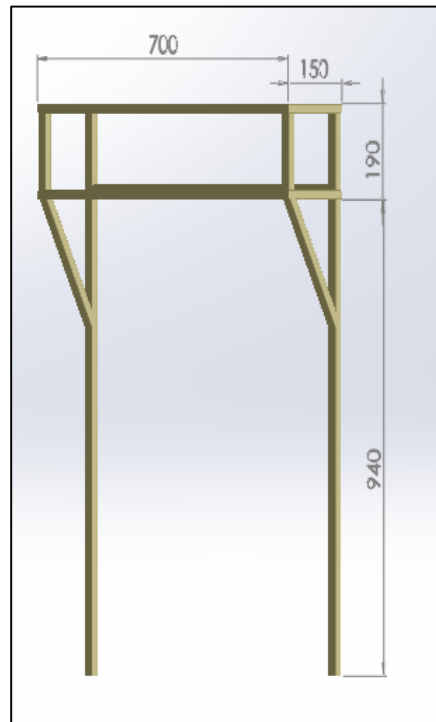


Figura 35. Estructura del módulo didáctico AS-i

Una vez ya seleccionado el material a utilizar con todas sus características establecida., se la debe someter a esfuerzos, cabe recalcar que los diseños hechos en SolidWorks se los debe pasar a formato .STEP para poderlos exportar al software ANSYS para sus respectivos análisis.

- Para obtener el peso del módulo total, se sumó el peso de cada uno de los equipos que se instalarán en el módulo As – i

$$w_{total} = 58 \text{ lbf} = 26.31 \text{ kgf}$$

Para poder realizar el análisis, se transforma las *lbf* en *Newton*

$$w_{total} = 26.31 \text{ kgf} * \frac{9.8 \text{ Newton}}{1 \text{ kgf}} = 257.92 \text{ Newton}$$

- El módulo As-i será instalado en la parte superior del módulo MPS, ya que depende en su gran parte de su área para no tener afectación es su diseño.
- Calculo del área de la mesa del módulo MPS

Alto total: 750 mm (incluido ruedas)

Largo: 700 mm

Ancho: 700 mm

$$\text{Área}_{\text{mesa}} = (750 \text{ mm} * 700 \text{ mm}) = 525000 \text{ mm}^2 = 0.525 \text{ m}^2$$

- Cálculo de esfuerzos

En este caso van a ser dos esfuerzos puntuales en la parte superior de la mesa, donde van a ir colocados los apoyos del módulo AS-i, como se muestra en la Figura 36.

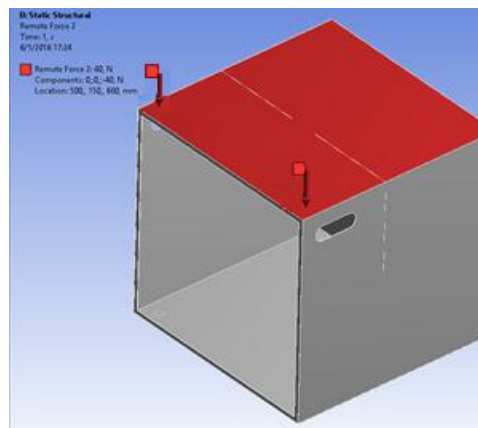


Figura 36. Punto de aplicación de la carga en el MPS

- Cálculos de carga estática del MPS

Se aplicara una fuerza de 257.92 *Newton*, en los puntos de la mesa móvil del módulo MPS tal como se muestra la imagen anterior. Se utilizara la ecuación de esfuerzo aplicado, para poder calcularlo tomando en cuenta la sección de la estructura; considerando que la mesa es un material dúctil y se aplicará una carga estática se establece un Factor de Diseño (seguridad) $N=0.62$

$$F = 257.92 \text{ Newton}$$

$$A = 525000 \text{ mm}^2 = 0.525 \text{ m}^2$$

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

Donde:

$$\sigma_{calc} = \text{Esfuerzo calculado}$$

$$\sigma_{calc} = \frac{257.92 \text{ N}}{0.525 \text{ m}^2} \text{ Pa}$$

$$\sigma_{calc} = 491.97 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

Donde:

$$\sigma_{permi} = \text{Esfuerzo permisible}$$

$$S_y = \text{resistencia de fluencia}$$

El valor de S_y está en los datos característicos del material, estos se encuentran en la página web del fabricante, en este caso dirigirse a la Tabla 4 y obtener el valor de la resistencia a la fluencia.

Tabla 4.

Calidad de la estructura

Norma.	Composición Química					Propiedades Mecánicas					
	%C	%M N	%P	%S	%SI	%C U	Flu enc ia (Mpa)	Esfuerzo Máx. (Mpa)	Alargamiento %	Doblado	
ASTM	0,12	0,3	0,025	0,03	0,04	0,2		205 min	380	516	0=0.5e
A-283	0,18		máx.	máx.	máx.	máx			máx.		
GRAD											
O C											

Fuente: (DIPAC, 2016)

$$S_y = 205 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 (205 \text{ MPa})$$

$$\sigma_{permi} = 135.3 \text{ MPa}$$

Una vez que se obtuvieron los cálculos, se aplica la ecuación básica de diseño estructural:

$$\sigma_{calc} \leq \sigma_{permi}$$

$$491.97 \text{ Pa} \leq 172.5 \text{ MPa}$$

- Calculo de esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \text{Esfuerzo de diseño máximo}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{205 \text{ MPa}}{2}$$

$$\sigma_{max} = 102.5 \text{ MPa}$$

- Cálculos de soportes del módulo AS-i

Para colocar el módulo As-i, sobre el módulo MSP se realizó en el modelado dos soportes, para lo cual de la fuerza total se dividió para dos.

$$w_{total} = \frac{257.92 \text{ Newton}}{2}$$

$$w_{total} = 128.96 \text{ Newton}$$

Una vez ya seleccionado el material a utilizar con todas sus características establecidas, se la debe someter a esfuerzos, cabe recalcar que los diseños hechos en SolidWorks se los debe pasar a formato .STEP para poderlos exportar al software ANSYS para sus respectivos análisis.

En el análisis realizado del módulo MPS, se expone que:

- El diseño cumple con el criterio estático del ratio Jacobiano, el valor se debe aproximar a 1 y en el resultado obtenido por el software tiene como resultado 1.0007 que está dentro de su rango nominal tal como indica la Figura 37.

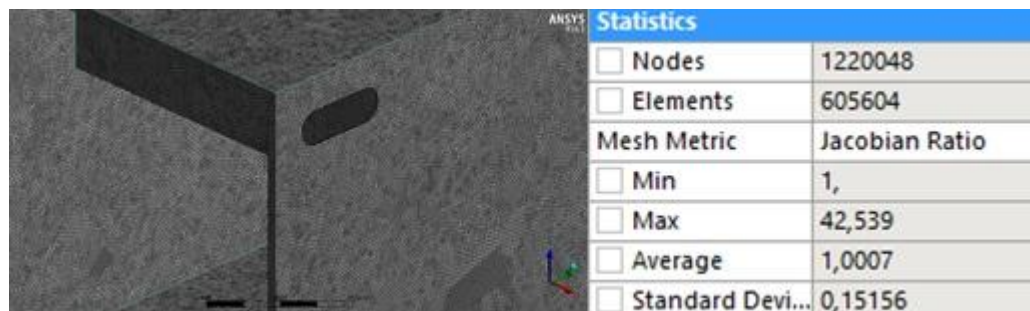


Figura 37. Mallado criterio Ratio Jacobiano

En la siguiente figura del análisis de la mesa móvil del MPS, indica el valor del esfuerzo máximo que puede realizar la estructura es de 108.42 MPa aplicando una fuerza de 257.92 N el valor de su límite elástico como lo indica en la Figura 38 es 203.943 MPa.

$$w_{total} = 257.92 \text{ Newton}$$

$$\sigma_{max} = 108.42 \text{ MPa}$$

$$S_y = 203.943 \text{ MPa}$$

Se observa que los resultados obtenidos mediante el software computacional ANSYS, no tienen mucha diferencia hacia los datos que se calcularon anteriormente.

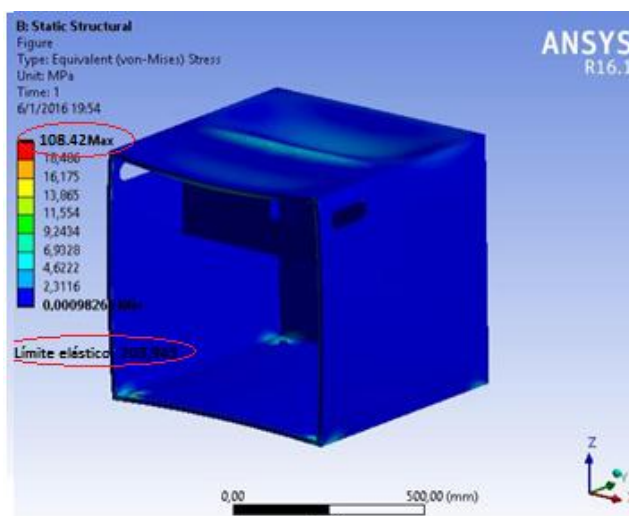


Figura 38. Análisis de esfuerzos estáticos MPS

$$\sigma_{calc} \leq \sigma_{permi}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 * 203.943 \text{ MPa}$$

$$108.42 \text{ MPa} \leq 134.60 \text{ MPa}$$

Aplicando la formula básica de diseño, se observa que los datos obtenidos del software ANSYS cumplen con las condiciones de diseño, dando como resultado un diseño es satisfactorio.

El análisis de deflexión que se puede observar en la Figura 39, indica que el desplazamiento que sufre el módulo tiene un valor de $1,0412 \cdot 10^{-4}$. Se puede indicar que su diseño es satisfactorio.

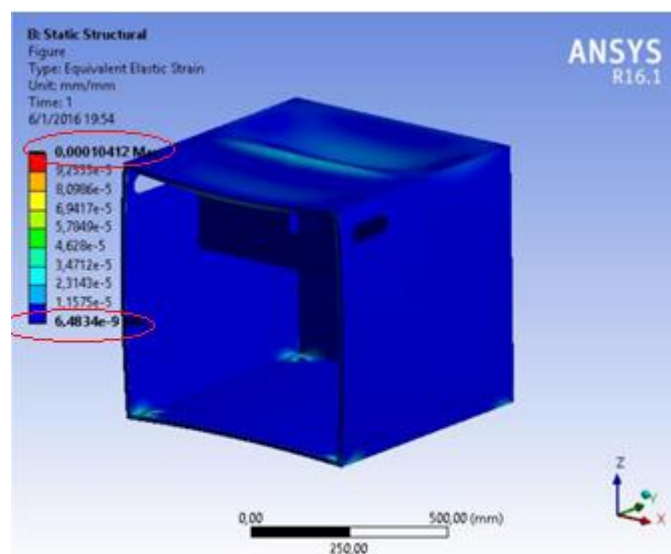


Figura 39. Análisis de deflexión MPS

Una vez realizado el análisis en el software computacional, se procede a realizar el cálculo de deflexión permisible $[\delta]$, donde se valida el diseño si cumple con las condiciones requeridas.

$$\delta r \leq [\delta]$$

Donde:

δr = Deflexión que soporta la lámina de acero

δ = Deflexión permisible de la mesa móvil

$$[\delta] = \frac{L}{800}$$

L = Distancia entre rodillos

$$[\delta] = \frac{700}{800} = 0,9375 \text{ mm}$$

Donde:

$$1,0412 * 10^{-4} \text{ mm} \leq 0,9375 \text{ mm}$$

- Factor de seguridad

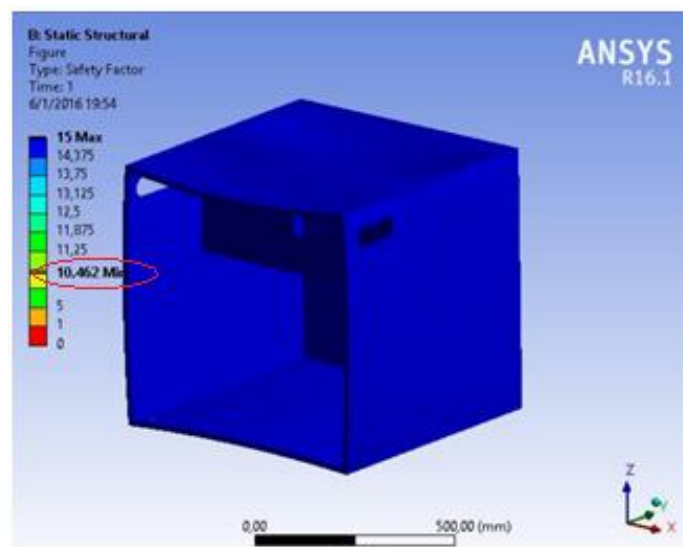


Figura 40. Factor de seguridad

El resultado del factor de seguridad para la mesa del MPS es de 10.462 y supera el valor aceptable que se encuentra dentro de 2 y 5, reflejando un sobredimensionamiento en el diseño; el módulo fue creado con fines didácticos y se podría aumentar más dispositivos sin que su punto de deflexión llegue a su punto crítico.

3.1.4. Análisis computacional estructural

Con las características antes indicadas del módulo AS-i, se procedió a simular su geometría en ANSYS Desing Model para someterla e sus esfuerzos respectivos.

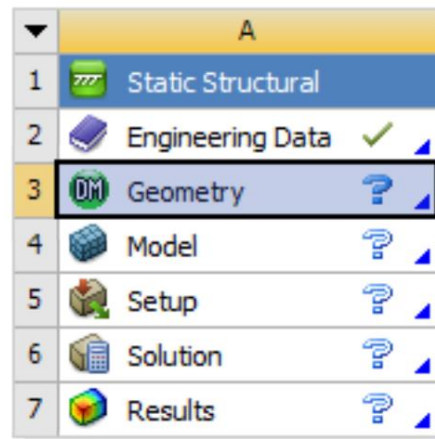


Figura 41. Interfaz “Static Structural” del Módulo AS-i

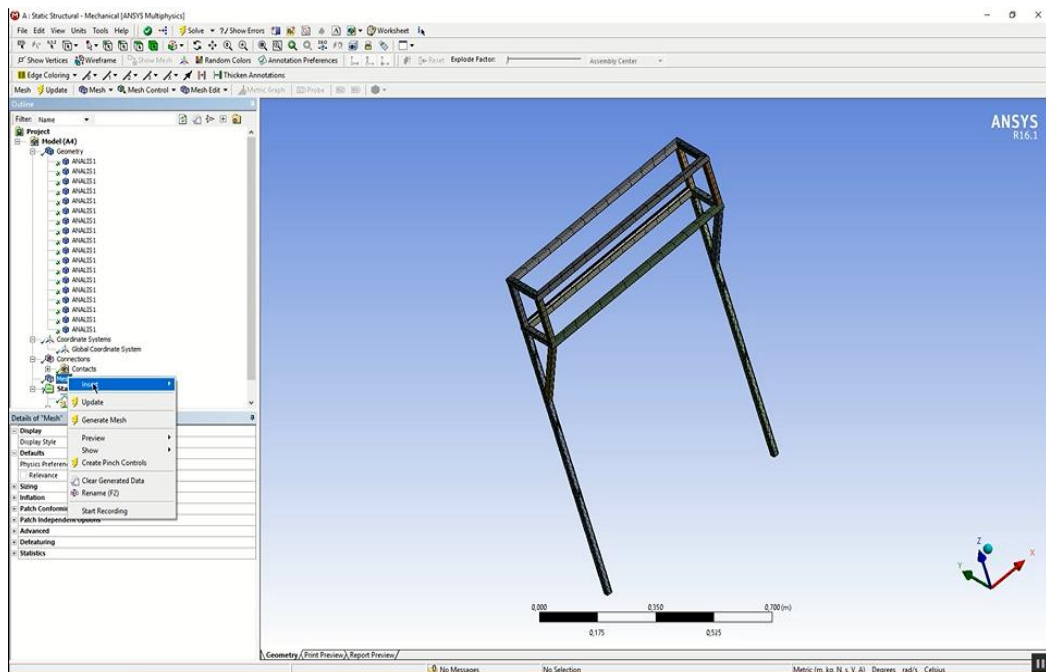


Figura 42. Mallado de la estructura del Módulo AS-i

En el diseño a analizar se debe tener en cuenta los puntos donde va a ir colocada las cargas puntuales; la estructura del módulo AS-i tiene 6 orificios donde va a ir colocados los pernos que unen el tablero de control los cuales van acentuadas las cargas puntuales como muestra en la Figura 43.

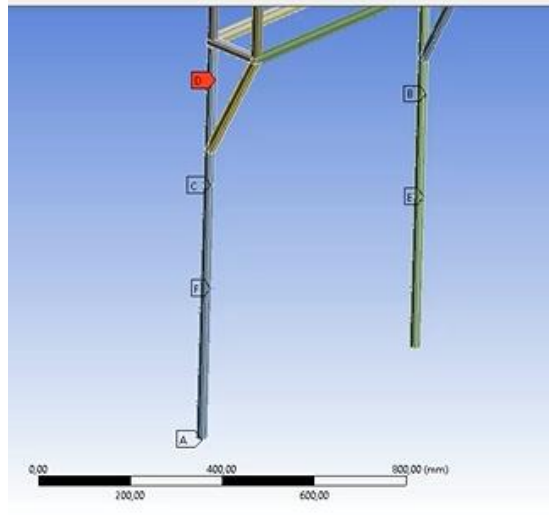


Figura 43. Puntos donde se aplicaran las cargas en la estructura del módulo AS-i

- Cálculo del área del módulo AS-i

Largo: 550 mm

Ancho: 700mm

$$\text{Área}_{\text{mesa}} = (550 \text{ mm} * 700 \text{ mm}) = 385000 \text{ mm}^2 = 0.385 \text{ m}^2$$

- Cálculos de carga estática del módulo AS-i

Se aplicara una fuerza de 35 lbf, en los puntos del módulo AS-i tal como muestra la imagen anterior. Se utilizará la Ecuación 2, para poder calcular el esfuerzo aplicado a la sección de la estructura; considerando que la estructura

del módulo es un material dúctil y se aplicará una carga estática se establece un Factor de Diseño (seguridad) $N=2$

$$F = 155.688 \text{ Newton}$$

$$A = 385000 \text{ mm}^2 = 0.385 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{calc} = \frac{F}{A} \text{ Pa} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$$\sigma_{calc} = \text{Esfuerzo calculado}$$

$$\sigma_{calc} = \frac{155.688/6N}{0.385 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{calc} = 67.39 \text{ Pa}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

Donde:

$$\sigma_{permi} = \text{Esfuerzo permisible}$$

$$S_y = \text{Resistencia de fluencia}$$

El valor de S_y se encuentra en los datos característicos del material, en este caso visualizar la Tabla 4 y obtener el valor de la resistencia a la fluencia.

$$S_y = 205 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 (205 \text{ MPa})$$

$$\sigma_{permi} = 135.3 \text{ MPa}$$

Una vez que se obtuvieron los cálculos, aplicar la ecuación básica de diseño estructural:

$$\sigma_{calc} \leq \sigma_{permi}$$

$$67.39 Pa \leq 135.3 MPa$$

- Cálculo del esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \text{Esfuerzo de diseño máximo}$$

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{2}$$

$$\sigma_{max} = \frac{205 MPa}{2}$$

$$\sigma_{max} = 102.5 MPa$$

- Cálculos para el tablero de control AS-

Para colocar el tablero de control sobre la estructura del módulo AS-i, se realizó el análisis en la estructura donde va colocado el tablero de control del módulo AS-i, para lo cual de la fuerza total se dividió para 6.

$$w_{total} = \frac{155.688 \text{ Newton}}{6}$$

$$w_{total} = 25.95 \text{ Newton}$$

Una vez seleccionado el material a utilizar con todas sus características establecidas y ya que se haya realizado los cálculos teóricos, se la debe someter a esfuerzos tal como se realizó con la mesa móvil del módulo MPS.

El diseño cumple con el criterio estático del ratio Jacobiano, el valor se debe aproximar a 1 y en el resultado obtenido por el software tiene como resultado 1.4847 que está dentro de su rango nominal tal como indica la Figura 44.

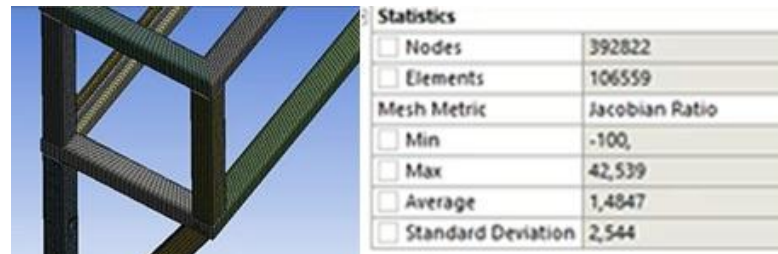


Figura 44. Mallado de la estructura con el criterio Jacobiano

En el análisis de la mesa móvil del MPS, indica el valor del esfuerzo máximo que puede realizar la estructura, que es de 14.575 MPa, aplicando una fuerza de 155.688 N.

$$w_{total} = 155.688 \text{ Newton}$$

$$\sigma_{max} = 14.575 \text{ MPa}$$

Se observar que los resultados obtenidos mediante el software computacional ANSYS, no hay mucha diferencia con los datos calculados anteriormente.

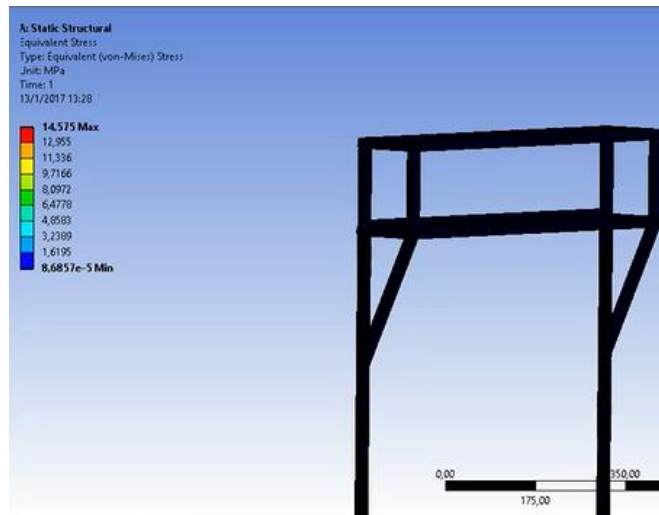


Figura 45. Análisis de esfuerzos estáticos de la estructura

$$\sigma_{calc} \leq \sigma_{permi}$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 S_y$$

$$\sigma_{permi} = 0.66 * 14.575 \text{ MPa}$$

$$0.962 \text{ MPa} \leq 134.60 \text{ MP}$$

Aplicando la formula básica de diseño, se observa que los datos obtenidos del software ANSYS cumplen con las condiciones de diseño, dando como resultado que el diseño es satisfactorio.

- Factor de seguridad

El factor de seguridad tiene un valor de 15, está sobre dimensionado, dado que el módulo fue creado con fines didácticos y su fatiga será excesiva, como se muestra en la Figura 46.

El resultado del factor de seguridad para la estructura del módulo AS-i es de 15 y supera el valor aceptable que se encuentra dentro de 2 – 5, es así, que se definió que el diseño está sobredimensionado; el módulo fue creado

con fines didácticos y se podrá aumentar más dispositivos sin que su punto de deflexión llegue a su punto crítico.

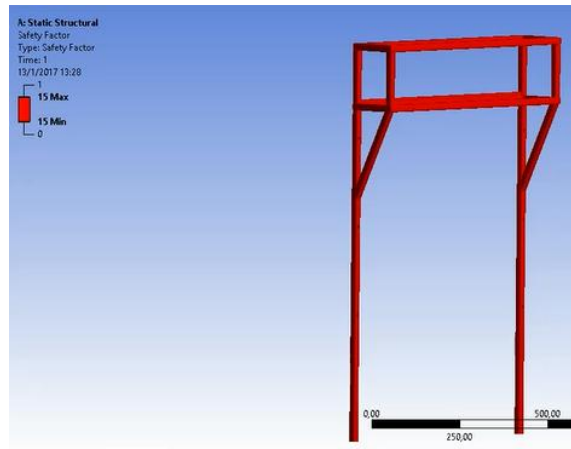


Figura 46. Factor de seguridad de la estructura

3.2. Diseño de la red AS-i

Para el diseño de la red AS-i se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

- PLC que se va a utilizar en el módulo, lo cual ayudará a una correcta selección del maestro.
- Longitud o extensión de la red(0-100m por segmento sin necesidad de repetidor)
- Topología de la red. Hay que tener en cuenta que la red AS-i puede ser de tipo bus, árbol, anillo, mixto)
- Número de estaciones o esclavos se va a implementar.
- Tipo de esclavos se va a implementar(esclavos estándar o tipo A/B)
- Tipo de señales que se va a manejar en el módulo (analógicos y digitales)
- Tipos de esclavos especiales (botoneras, pulsadores, paros de emergencia, etc.)
- Fuente con o sin desacoplamiento de datos.
- Fuente de alimentación auxiliar.
- Conectores necesarios para conectar los sensores y actuadores a los esclavos.

3.2.1. Requerimientos y Características del sistema modular

En la Tabla 5 se muestra las características de los elementos existentes en la planta de control de variables, los mismos que servirán para seleccionar los elementos de la red de comunicación industrial.

Tabla 5.

Requerimientos del sistema modular

CARACTERISTICA	MEDIDA
Máxima presión de funcionamiento para el sistema de tuberías	50 kPa (0.5bar)
Suministro de energía para el variador de velocidad	220 VAC
Dimensiones	700X700X907mm
Tasa de flujo de la bomba	100 L/min
Volumen máximo del tanque	15 L
Sistema de tubería flexible	½ pulgada
Entradas digitales	3
Salidas digitales	1
Entradas analógicas	2
Salidas analógicas	2
Cantidad de tanques	2
Rango de control para la bomba	30...60 Hz
Elemento calefactor	Corriente de 4-20 mA
Rango de medición del sensor de nivel	0-10lts
Señal de salida para el sensor de nivel	Corriente de 4-20 mA
Señal del sensor de flujo	0....1200Hz
Rango de trabajo en lazo cerrado para el control de presión	0...30kPa(0...300mbar)
Rango de medición del manómetro	0 – 1 bar
Rango de trabajo en lazo cerrado para control de temperatura	0-60°C
Rango de medición del sensor de temperatura	-50°C...150°C

3.2.2. Diagrama de instrumentación de la planta

En la Figura 47 se muestra el diagrama de la estación de trabajo compacta para el control de variables

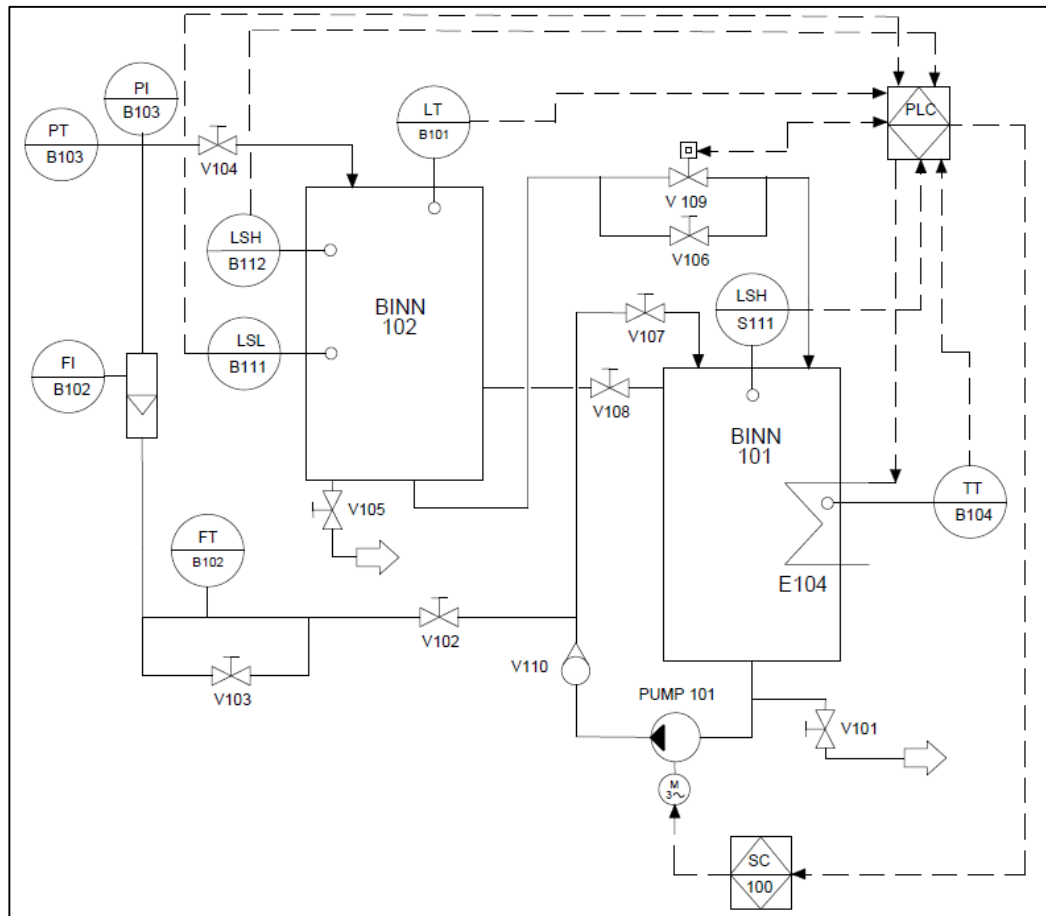


Figura 47. Diagrama de instrumentación de la estación de trabajo

En la Tabla se muestra la simbología de del diagrama de instrumentación de la estación de trabajo.

Tabla 6

Nomenclatura del diagrama de instrumentación

Nomenclatura	Descripción
BINN 101, BIN 102	Tanques 1 y 2
P 101	Bomba centrífuga

CONTINÚA 

E104	Elemento calefactor
V101, V102, V103, V104, V105, V106, V107, V108	Válvulas manuales
V109	Electroválvula 2/2
V110	Válvula anti retorno
FT B102	Transmisor de flujo
PI B103	Indicador de presión
PT B103	Transmisor de presión
FI B102	Rotámetro
LT B101	Transmisor de nivel
LSL B111	Interruptor de líquido nivel bajo
LSH B112	Interruptor de líquido nivel alto
LSH S111	Interruptor flotador
TT B104	Transmisor de temperatura

3.2.3. Descripción de los principales componentes del sistema

a) Sensor Ultrasónico UB800-18GM40

Estos sensores ultrasónico son detectores de proximidad que trabajan libres de roces mecánicos y que detectan objetos a distancias que van desde pocos centímetros hasta varios metros. (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)



Figura 48. Sensor ultrasónico UB800-18GM40

Fuente: (PEPPERLUFUCHS, 2017)

b) PT100

Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016).



Figura 49. PT100 de tres hilos

Fuente: (INDUSTRIAL, 2014)

c) Sensor de flujo YF-S201

Se necesita utilizar un sensor de caudal de tipo de rueda de turbina esto ayudará a sensar el flujo de agua que pasa a través de la tubería desde la bomba hasta el BINN 102. (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)



Figura 50. Sensor de flujo YF-S201

Fuente: (DFAST, 2017)

d) Sensor de presión DANFOSS MSB33M

Para el control de presión del módulo es necesario utilizar un sensor de presión o transmisor de presión el mismo que ayuda a tener una señal real y así poder realizar el respectivo control. (Muñoz Valverde & Pérez Guanoluisa, 2016)



Figura 51. Sensor de presión DANFOSS MSB33M

Fuente: (DANFOSS, 2017)

3.2.4. Arquitectura de la red AS-i

La arquitectura de una red AS-interface dependerá de una serie de parámetros que se detallan en la Tabla 7, lo cual permitirá proyectar la red AS-i previo a la adquisición de los componentes.

Tabla 7.

Parámetros para un correcto diseño de la red AS-i

Parámetro	Observaciones
Topología	bus, árbol, estrella, mixto
Tipo de sensores/actuadores	Digitales/ Análogos
Cantidad de estaciones o esclavos	Hasta 31 esclavos estándar y 62 esclavos A/B

a. Topología

Debido a que la red de comunicación industrial AS-i será dirigida a un módulo de pruebas, en el cual el espacio es limitado y la red no sobrepasará los 2 m de longitud, se forma un red compacta en donde los esclavos o estaciones estarán cerca del punto de control o maestro y estarán distribuidos de forma lineal o en forma de Bus.

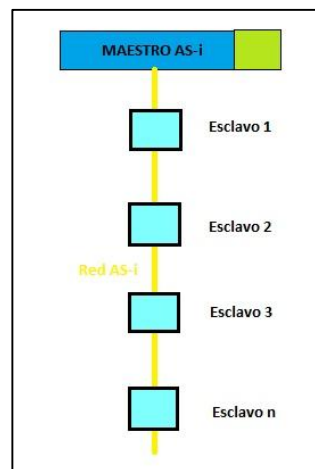


Figura 52. Topología de la red AS-i BUS O LINEAL

b. Tipo de sensores y actuadores

El sistema modular de control de variables cuenta con los siguientes sensores:

Tabla 8.

Sensores y actuadores existentes en el módulo

	Tipo	Características
Sensores	Sensor Ultrasónico	Salida analógica 4-20 mA
	Sensor Capacitivo	Configuración de salida NPN
	Pt 100 3 hilos	Rango de medida de -40 a +400°C
	Sensor de Caudal	Salida de pulsos 352 Hz a 40 L/min
	Sensor de Presión	Salida 4 -20 mA

CONTINÚA 

Actuadores	Calentador	ON/OFF
	Electroválvula	Temperatura de trabajo -5 a +60°C
	Variador de frecuencia	Frecuencia de salida de 0-55 Hz

c. Cantidad de estaciones o esclavos

El número de esclavos para una red AS-i está limitado a 62 para la versión 2.1 y 31 para la versión 2.0, de modo que no se tendrá problemas con el número de esclavos, debido a que el módulo es para prácticas estudiantiles, siendo una red y módulo de tipo didáctico. La diferencia entre las dos versiones es que en la versión 2.1 se pueden implementar esclavos de tipo A/B, es decir, con direcciones repetidas, pero las dos versiones pueden coexistir sin problemas, en otras palabras, un esclavo estándar puede estar trabajando alado de un esclavo A/B.

Analizando los tipos de sensores y actuadores que existen en la planta se decidió realizar el análisis para la adquisición de 4 esclavos, un digital, un analógico, una torre de señalización y una botonera, los mismos que permitirán realizar las prácticas respectivas.

3.2.5. Selección y reconocimiento de componentes

La selección de los componentes se hizo en base a los elementos que actualmente se encuentran en la planta. Se tomó en consideración todas las características de PLC, sensores analógicos, digitales, de corriente, de voltaje, actuadores y principalmente que sean capaces de satisfacer las necesidades del estudiante en cuando a prácticas y desarrollo de conocimientos de una red AS-i. A continuación se detallan cada uno de los elementos seleccionados permitiendo y reconocimiento de los mismos.

a. Maestro AS-interface CM 1243-2 3RK7243-2AA30-0XB0

El PLC que se dispone para la ejecución de las prácticas de laboratorio es un PLC S7 1200 CPU 1214C AC/DC/RLY y su maestro o módulo de comunicación AS-i disponible para dicho PLC es el Maestro AS-i CM 1243-2 el mismo que se muestra en la Figura 53.



Figura 53. Maestro AS-i CM 1243-2

El Maestro AS-i CM 1243-2 permite conectar una red AS-i a la serie de PLC's S7-1200 sin importar el tipo de CPU, además permite acceder a las entradas y salidas de todos los esclavos conectados a la red. Este maestro admite todos los esclavos excepto los esclavos con perfiles 7.1 y 7.2. A continuación en la Tabla 9 se presentan las características principales.

Tabla 9

Características principales del Maestro AS-i CM 1243-2

Datos técnicos MAESTRO AS-i CM 1243-2	
Grado de protección	IP20
Tipo de conexión eléctrica de AS-interface	Bornes de tornillo
Tipo de alimentación	Vía bus de fondo

CONTINÚA 

Corriente consumida de cables perfilados con 30 V máx.	100 mA
Pérdidas	2.9 W
Tipo de display	Visualizados de estados LEDs AS-i. PF. CM, CER, DIAG
Tipo de configuración de AS-interface	Con STEP 7, interfaz de comandos
Numero de esclavos AS-i por AS-interface máx.	62

Una de las características más importantes de este Maestro AS-i es que permite la conexión de esclavos de la versión 2.0 y la versión 2.1, con un total de 31 esclavos y 62 esclavos respectivamente debido a las características de los esclavos en cada versión.

También permite visualizar los estados del Maestro mediante los diferentes LEDs que se encuentra tras la tapa superior (Figura 54), y cuyo significado, se detallan a continuación en la Tabla 10.

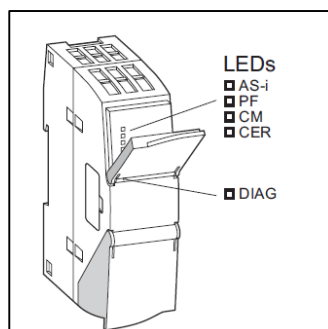


Figura 54. Ubicación de los LEDs del Maestro AS-i CM 1243-2

Tabla 10

LEDs del Maestro AS-i CM 1243-2

LED	Significado
DIAG	Indicación de estado y fallos del sistema
AS-i	Detalle sobre el estado de AS-interface
FP	Indicación de fallos de periferia
CM	Indicación del estado operativo
CER	Indicación de errores de configuración

Cabe recalcar que para cada LED existe un estado que se refleja en distintos colores, los mismos que se encuentran en el Anexo A.

b. Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3

El esclavo digital K45 se caracteriza por su tamaño y su facilidad en el manejo. En cuanto al montaje se puede instalar en pared o en un perfil normalizado. La selección del esclavo se hace tomando en cuenta los sensores digitales existentes en el módulo, el tipo de esclavo que se desea adquirir y el número de entradas y salidas con las que vendrá dotado el módulo. Es esclavo seleccionado se muestra en la Figura 55.



Figura 55. Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3

Este esclavo digital viene provistos de 2 entradas y 2 salidas digitales de tipo estándar con conexión de tipo M12, con un grado de protección IP67. A continuación en la Tabla 11 se muestran las características de este esclavo.

Tabla 11

Datos técnicos Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3

Datos técnicos Esclavo Digital AS-i K45 3RK14001BQ200AA3	
Número de entradas/salidas	2 entradas/2salidas
Intensidad máxima admisible en salidas	2A
Tipo de esclavo	Standard
Asignación de pines	Standard
V Aux. 24 V	Disponible
Conexión	M12

Cada destacar que este esclavo viene suministrado sin la placa de montaje, la misma que es adquirida de manera separada. La placa de montaje puede ser para montaje en pared o para montaje en perfil. Para este caso debido a que es un módulo didáctico se elige una tipo de montaje en perfil con la designación 3RK1 901-2DA00, la misma que se muestra en la Figura 56.



Figura 56. Placa de montaje K45 para fijación a perfil

c. Esclavo Analógico AS-i K60 3RK12071BQ440AA3

Los esclavos analógicos K60 permiten el registro y la entrada de señales analógicas a nivel local y solo pueden ser conectados a un nivel superior

mediante un maestro que cumpla las especificaciones de las versiones 2.1 o 3.0. El Maestro CM 1243-2 cumple con estas especificaciones. Estos módulos pueden dividirse en:

- Esclavos de entrada para sensores tipo corriente
- Esclavos de entrada para sensores tipo voltaje
- Esclavos de entrada para sensores tipo termoresistencia.
- Esclavo de salida para actuadores tipo corriente
- Esclavos de salida para actuadores tipo voltaje

Se elegí un esclavo de entrada para sensores de tipo corriente debido a que estos sensores son los más comunes en toda planta. De igual forma se toma en cuenta las versiones de los diferentes esclavos existentes en el mercado, ya que estos pueden ser de tipo estándar para la versión 2.1 y de tipo A/B para la versión 3.0. El esclavo seleccionado se muestra en la Figura 57.



Figura 57. Esclavo Analógico AS-i 3RK12071BQ440AA3

Este esclavo analógico cuenta con 4 entradas analógicas de tipo corriente cuyo rango de medición es de 4 a 20 mA, esclavo tipo standard con tipo de protección M12 y grado de protección IP67. En la Tabla 12 se muestran las características de este esclavo analógico.

Tabla 12.

Datos técnicos Esclavo Analógico AS-i 3RK12071BQ440AA3

Datos técnicos Esclavo Analógico AS-i 3RK12071BQ440AA3	
Entradas	4 entradas
Tipo	Intensidad
Rango de medida	4-20Ma o +/- 20 mA conmutable
Versión	2.1 Standard

De igual manera que el esclavo digital, el esclavo analógico viene suministrado sin la placa de montaje. Puede también instalarse en pared o perfil DIN normalizado, debido a que se trata de un módulo didáctico se selecciona una placa de montaje para perfil con la designación 3RK1 901-0CB01, la misma que se muestra en la Figura 58.



Figura 58. Placa de montaje K60 para montaje en perfil

d. Columna de señalización AS-i

Para la selección de la columna de señalización hay que mencionar que todos los elementos, luces, elementos de conexión, adaptadores AS-i y elementos de montaje, vienen por separado.

Hay que tomar en cuenta que existes dos series disponibles actualmente en la marca Siemens, la 8WD42 y la 8WD44. En la serie 8WD42 se pueden montar hasta 4 elementos entre la tapa y el elemento de conexión y funciona solo como un esclavo Standard, en cuenta a la serie 8WD44 son diseños mucho más avanzados con la iluminación mejorada, puede funcionar con esclavo estándar y como tipo A/B y el número de elementos que permite montar entre la tapa y el elemento de conexión se aumenta a 5.

La serie seleccionada para el módulo de comunicación industrial AS-i es el 8WD44, debido a que permite conectar más elementos y puede funcionar como esclavo Standard o tipo A/B. La columna de señalización cuenta con 3 elementos de iluminación, un adaptador para la red AS-i y dos elementos de montaje para pared. A continuación se describen cada uno de ellos y en la Tabla 13 se muestra su designación correspondiente.

Tabla 13.

Designación de los elementos

Designación	Elemento
8WD4428-0BD	Adaptador AS-interface
8WD4420-5AB	Luz Roja
8WD4420-5AC	Luz Verde
8WD4420-5AD	Luz Amarilla
8WD4408-0AB	Tapa y elemento de conexión
8WD4408-0CD	Elemento de montaje para pared

- El adaptador AS-interface funciona como esclavo del tipo A/B, permite conectar 3 elementos de señalización y puede conmutar su tensión de funcionamiento entre AS-i y auxiliar de 24 V. Su tensión de carga es de 20 – 30 V.



Figura 59. Columna de señalización elemento as-interface

- Las columnas de señalización roja, verde y amarilla tienen las mismas características. Funcionan con 24V AC/DC con fuente luminosa tipo LED.



Figura 60. Columnas de señalización elemento luz permanente

- El primer elemento de montaje permiten conectar todos los elementos anteriores, luces y adaptador AS-i, este posee una tapa superior y un elemento de conexión inferior. Está diseñado para permitir el montaje en pared y sobre el piso.



Figura 61. Elemento de conexión montaje sobre piso o pared

- El segundo elemento de montaje permite el montaje sobre una superficie vertical o pared.



Figura 62. Elemento de montaje sobre pared

A continuación se muestra el montaje completo de la columna de señalización.



Figura 63. Esclavo A/B columna de señalización AS-interface

e. Caja de mando AS-i 3SF5812-0DA00

Este tipo de esclavos permite tener aparatos de maniobra que puedan añadirse directamente a la red como esclavos Standard o A/B. Las cajas vienen disponibles desde 2 a 6 puntos de mando y pueden ser metálicas y de plástico.

La caja seleccionada es un esclavo de tipo A/B con 4 entradas/3 salidas y con 2 puntos de mando. Su cableado se lo realiza en la parte superior mediante pasacables para el cable AS-i perfilado y su material es de plástico. La caja de mando AS-i se muestra en la Figura 64.



Figura 64. Caja AS-i de 2 puntos mando con 4E/3S

Si en esta caja no se llegan a utilizar estas todas las entradas y salidas como puntos de mando, las entradas y salidas disponibles pueden sacarse a voluntad mediante un conector M12. A Continuación se muestran las características principales de la caja de mando.

Tabla 14.

Datos técnicos caja AS-interface para ap. de mando

Datos técnicos CAJA AS-INTERFACE PARA AP. DE MANDO,	
Equipamiento	B=Pulsador verde, placa "I" A=Pulsador rojo, placa "O"
Número de puntos de mando	2 puntos de mando
Material	Plástico
Tensión de empleo	Aprox. 30 V
Fijación	Vertical

Internamente esta caja de mando cuenta con un esclavo de tipo A/B, con 4 entradas y 3 salidas. Solo tiene conectado 2 puntos de mando pero se pueden conectar hasta 6. La designación de este esclavo es 3SF5 500-0BB y se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Esclavo AS-interface de tipo A/B, Digital, 4E/3S

f. Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00

Para la red AS-i se necesita una fuente de alimentación única y especialmente diseñada para este tipo de red, que permite transmitir datos y alimentación por la misma línea y que además realice el desacoplamiento de dichas señales. La fuente de alimentación se muestra en la Figura 66.

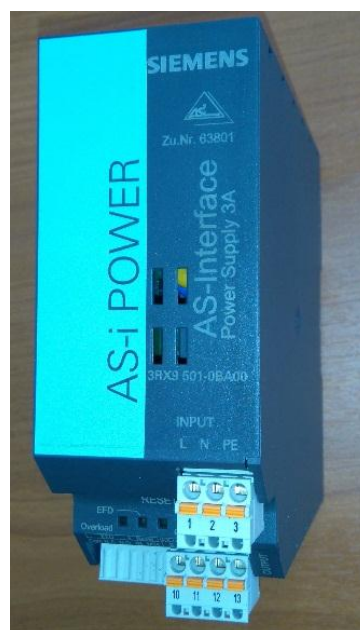


Figura 66. Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00

Esta fuente de alimentación AS-i, función con 110 V o 230 V AC y tiene una salida de 30V DC que es la alimentación requerida por los esclavos. Es una fuente que soporta sobrecargas y cortocircuitos. A continuación se presentan las características principales de esta fuente Tabla 15.

Tabla 15.

Datos técnicos Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00

Datos técnicos Fuente de alimentación AS-i 3RX9501-0BA00	
Tensión de entrada	120/230 V AC conmutable
Tensión de salida	30 V DC AS-i
Intensidad de suministro	3 A
Grado de protección	IP20
Adicional	Detección de defectos a tierra, detector de sobrecarga y desacoplamiento de datos AS-i

g. Cable AS-i 3RX9010-0AA00

Es un cable especial diseñado especialmente para el bus AS-i. Está formado por dos conductores y cuenta con un perfil que ayuda a evitar la polaridad incorrecta. En el tendido de la red no es necesaria cortar o pelar el cable.

Para el módulo de comunicación industrial se utiliza el cable amarillo AS-i necesario para la alimentación de la red AS-i y el cable AS-i negro de 24 VDC para los actuadores que tengan un elevado consumo de corriente.



Figura 67. Cable AS-i amarillo y negro

3.3. Diseño de la red Profinet

Para el diseño de la red AS-i se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

3.3.1. Topología

La topología que se utiliza para este caso es de tipo estrella, debido a que se dispone de un SWITCH el cual por defecto permite trabajar en este tipo de red.

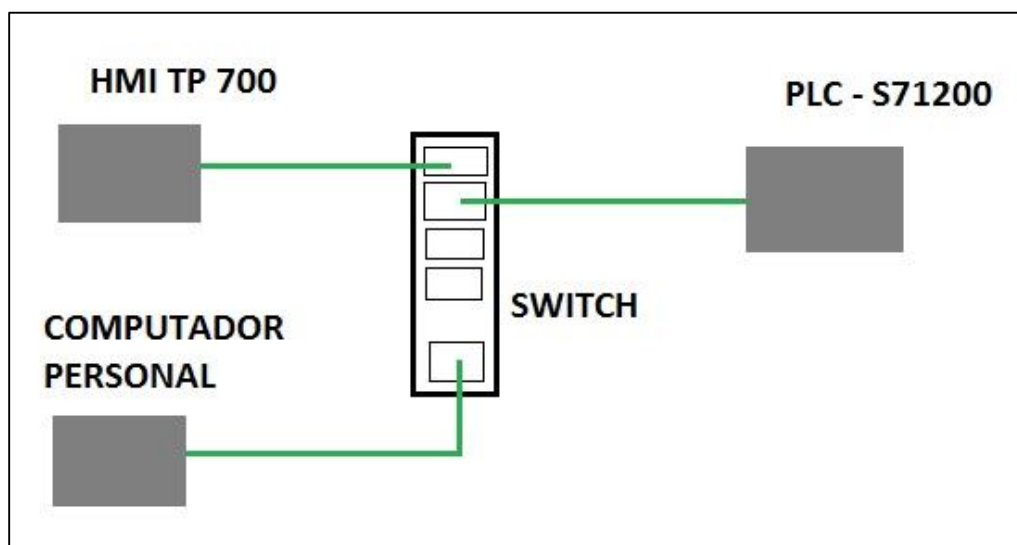


Figura 68. Topología de una red Profinet en estrella

Este tipo de topología tiene la ventaja sobre otras redes de que si se produce algún fallo, este no afectará a toda la red, solo afectará al dispositivo que está fallando.

3.3.2. Dispositivos

Los dispositivos que actualmente se encuentran disponibles para el diseño y montaje de este tipo de red son los siguientes:

a) PLC S7 1200

Con CPU 1214C AC/DC/RLy es un dispositivo que posee circuitos de entrada y salida, además posee un puerto PROFINET integrado. Muy utilizado en tareas complejas de automatización.



Figura 69. PLC S7-1200 CPU AC/DC/RLy

Fuente: (HMK, HMK Automation Group, 2017)

Tabla 16.

Datos técnicos PLC S7-1200 AC/DC/RLy

Datos técnicos PLC S7-1200 CPU AC/DC/RLY	
Tensión de alimentación	120/230 V AC
Consumo	100 mA con 120 V AC; 50 mA con 240 AC
Intensidad del salida	1600 mA; máx. 5V DC
Alimentación de sensores	24

b) Comfort panel HMI TP700

Es un panel de 7" que permite conectar con comunicaciones Profibus, Profinet y USB y cuya programación tiene que ser ejecutada desde WinCC Comfort v11 desde el TIA PORTAL



Figura 70. Panel Comfort TP 700

Fuente: (MASVOLTAJE, MASVOLTAJE, 2017)

c) Switch SFNB 5TX

Switch para Profinet, con 5 puertos TP-RJA45, detección automática de la velocidad de transmisión de datos de 10 ó 100 Mbits/s (RJ45), función autocrossing.



Figura 71. Switch Profinet

Fuente: (ELEKTROTOOLS, 2017)

d) Cable Standard Profinet IE FC TP

El cable utilizado en la red Profinet es el IE FC TP Standard Cable GP 2X2 que fue diseñado por Siemens especialmente para este tipo de red y que debe acoplarse al RJ45 para crear el conector.



Figura 72. Cable Profinet

e) Conector RJ45

Para la implementación de la red Profinet se requiere un conector RJ45, que es uno de los conectores principales para este tipo de red e intercambia información mediante cables de par trenzado.



Figura 73. Conector RJ45

Fuente: (SIEMENS INDUSTRY MALL, 2017)

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

4.1. Construcción de la estructura

Una vez realizado el diseño, análisis estructural de todo el módulo de comunicación industrial y ya seleccionados los materiales que se va a utilizar, se procede a realizar la construcción del módulo de acuerdo a los planos que se encuentran en el Anexo B.

Para la fabricación se utilizaron los siguientes procesos:

- Soldadura por arco con electrodo revestido para formar la estructura de la caja superior y a la vez realizar la unión de todos los dos soportes y la caja superior o tablero. Se utilizó un electrodo E-6011 que es el adecuado para trabajos de herrería y construcción de estructuras.
- Doblado para realizar el dobleces en el tol los que permitan forrar de forma adecuada y compacta la caja superior.
- Pintura a soplete en toda la estructura. Se utilizó dos colores, un color piel para la estructura y un color madera para la caja principal.



Figura 74. Estructura construida bajo las especificaciones establecidas

Para el tablero frontal principal donde serán montados la mayoría de los elementos de control, se utilizó un tablero de madera MDF. La Unión del tablero MDF y la estructura se la realizo mediante un proceso de atornillado y las medidas del tablero MDF.

La unión de la mesa principal de trabajo y el módulo de comunicación AS-interface se realizó mediante un proceso de atornillado. Para ello se diseñó y se construyó unos soportes de tipo L con un soporte cruzado entre ellos formando un triángulo, los cuales evitan que el módulo AS-i se desplace hacia atrás o adelante y la mantienen fija para que los estudiantes o practicantes puedan maniobrar con total seguridad. Estos soportes en L fueron acoplados mediante un proceso de atornillado en la parte lateral posterior de la mesa de trabajo y en los soportes del módulo AS-interface. Las medidas y planos se los pueden encontrar en el Anexo B.

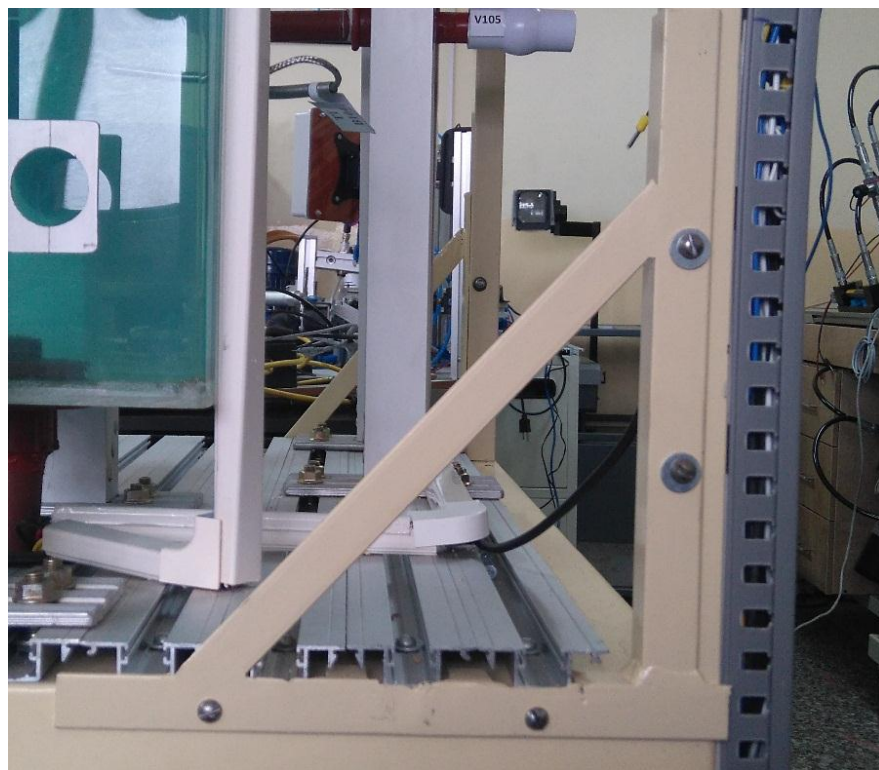


Figura 75. Soportes tipo L para el acoplamiento del módulo

4.2. Montaje de la red AS-i

El montaje de la red AS-i se lo realiza teniendo en cuenta el diseño previo de la red AS-i el cual se observa en el Anexo C. Se utiliza un riel DIN de 35 mm para el montaje de la fuente, el maestro, PLC, y esclavos. Para el montaje de los esclavos especiales A/B que en este caso son de señalización y mando se realiza el montaje mediante atornillado según el diseño del módulo AS-i.

4.2.1. Cableado de la red AS-i

Para el cableado de la red AS-i se debe tener en cuenta la topología lineal con la cual se diseñó la red anteriormente. El cableado de la red AS-i se muestra a continuación mediante la Figura 76 en la que se puede observar solo el cableado del cable amarillo AS-i y el cable negro auxiliar de 24 VDC. El cableado se lo realiza en el orden que se muestra.

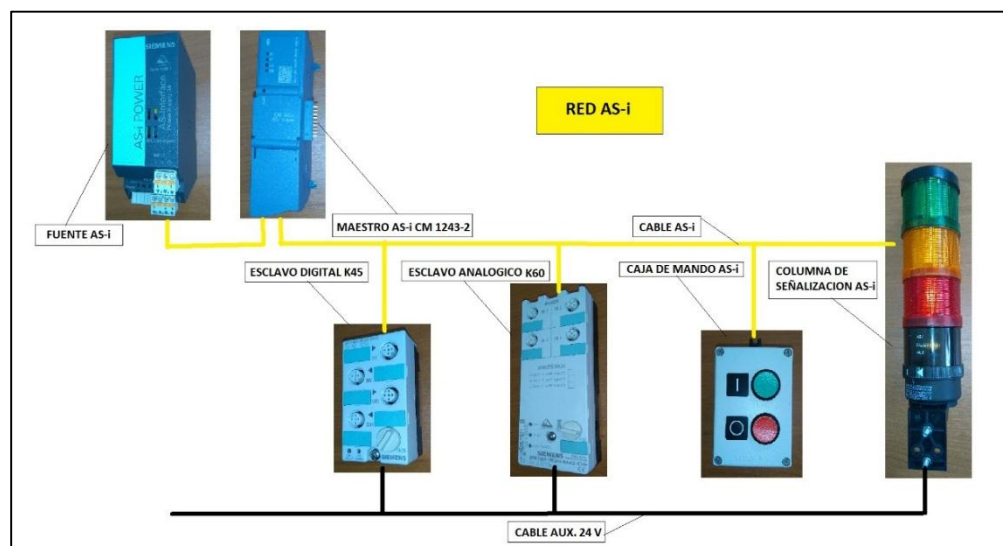


Figura 76. Cableado de la red AS-i, cable amarillo y negro

A continuación se muestra el cableado real - físico de la red AS-i en el módulo de comunicación industrial y en la sección siguiente se detalla el cableado de cada elemento.

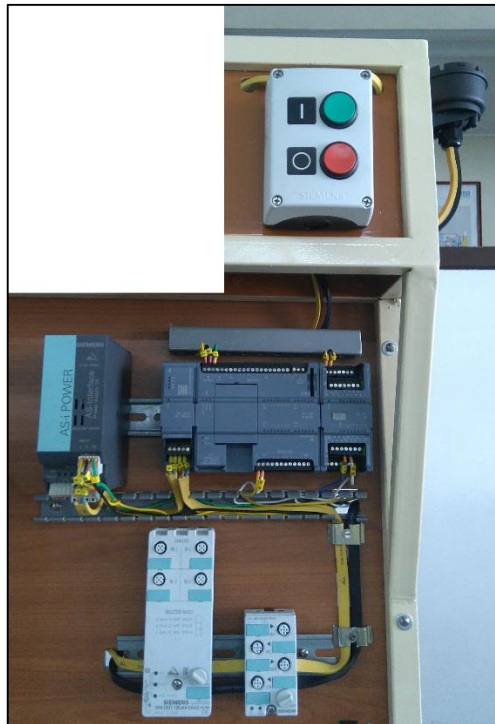


Figura 77. Cableado real y físico de la red AS-i

4.2.2. Conexión de la fuente de alimentación AS-i

La fuente de alimentación AS-i, en su parte posterior superior, tiene un selector de rango, donde se puede seleccionar entre dos rangos de entrada de alimentación de línea:

- Rango 1 para una entrada de CA nominal de 120 V
- Rango 2 para una entrada de CA nominal de 230 V

Para este caso se utilizara el rango 1 con una entrada nominal de 120V AC que es la tensión de trabajo del módulo AS-i.

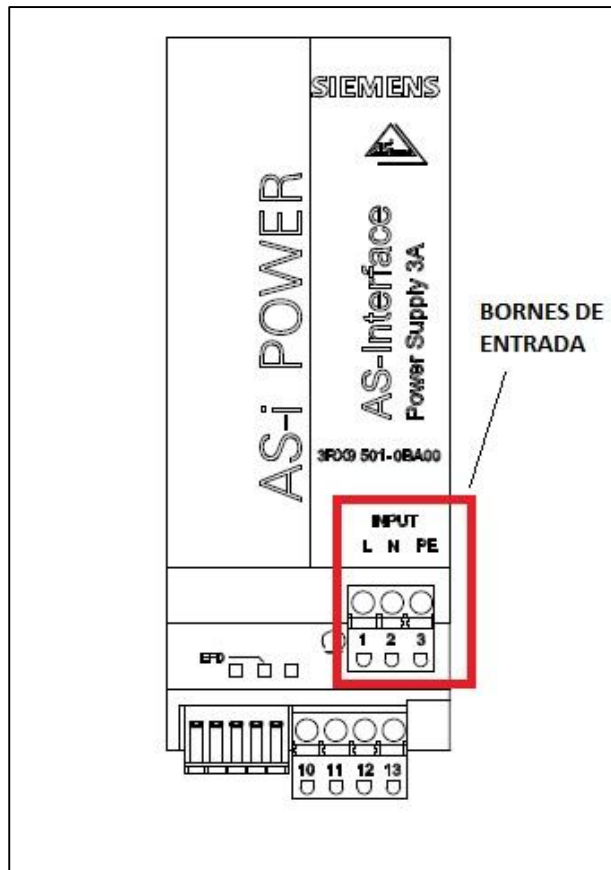


Figura 78. Bornes de entrada de la fuente AS-i

Para realizar las conexiones se procede a identificar los bornes de entrada, los cuales se pueden apreciar en la Figura 78 y se realiza las conexiones de la manera que se indica en la Tabla 17 y método será por bornes de resorte.

Tabla 17.

Conexiones en los bornes de entrada de la fuente de alimentación

Rotulación	Borne	Conexión
L	1	La línea se conecta al terminal L
N	2	Conductor neutro al terminal N
PE	3	Conductor de protección PE

En el lado de salida se procede a conectar el cable AS-i, que ira dirigido en primera instancia hacia el maestro AS-i, esta alimentación tendrá un valor nominal de 30 V y de igual manera se utilizar el método de conexión por bornes de resorte.

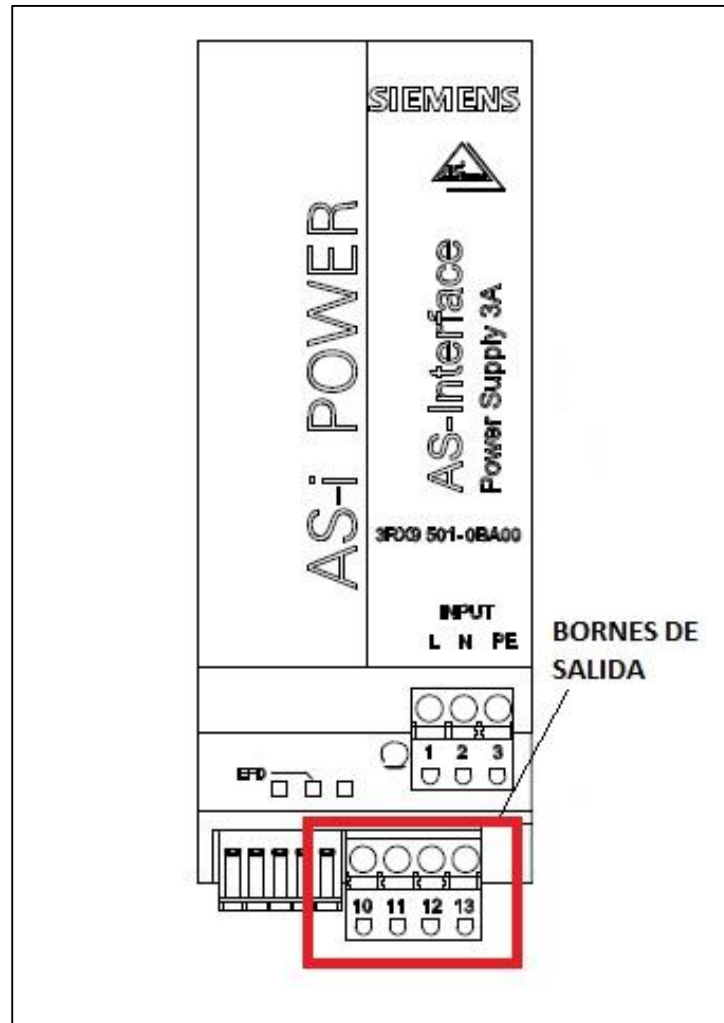


Figura 79. Bornes de salida de la fuente de alimentación AS-i

De igual manera se procede a identificar primero los bornes de salida los cuales se pueden apreciar en la Figura 79 y se realiza las conexiones de la manera que se indica en la Tabla 18.

Tabla 18

Conexiones en los bornes de salida de la fuente de alimentación

Nombre	Borne	Conexión
AS-i + Switched	10	No conectado
AS-i +	11	AS-i +, color café
AS-i -	12	AS-i -, color azul
Ground	13	GND solo para procesos industriales

En la Figura 80 se muestra la conexión terminada de la fuente de alimentación AS-i, en la cual hay que tener muy en cuenta la polaridad del cable AS-i, que como se mencionó anteriormente, se puede determinar por la forma del cable AS-i o por los colores de los cables de conexión.

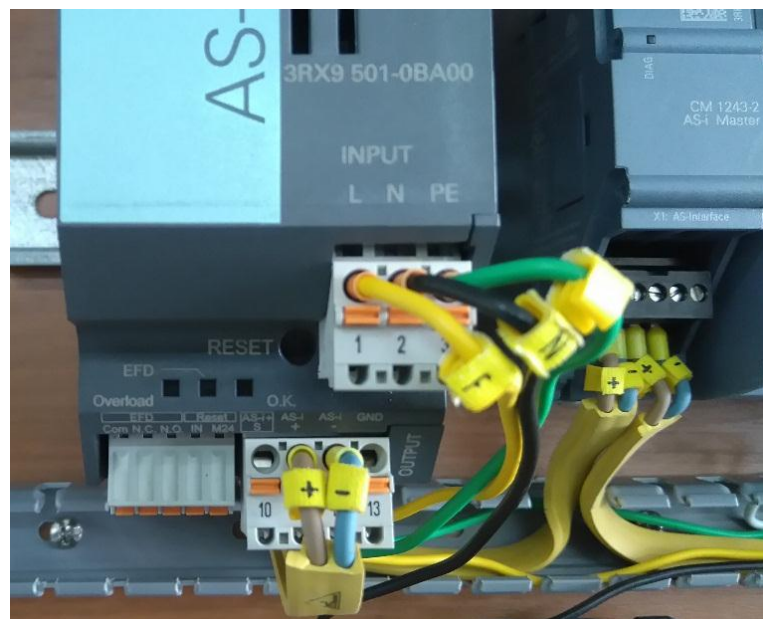


Figura 80. Conexión de la fuente de alimentación 3RX9501-0BA00

4.2.3. Conexión del maestro AS-i

El maestro AS-i CM 1243-2 debe ser montado en un perfil DIN de 35 mm de manera horizontal, con un espacio libre de 25 mm por arriba y abajo para

la ventilación y circulación del aire, siempre a la izquierda de la CPU o PLC ya que estos son los slots permitidos para módulos de comunicación.

Una vez montado sobre el riel se procede a desmontar la tapa abatible inferior en donde se encontraran los bornes de conexión para el cable AS-i.

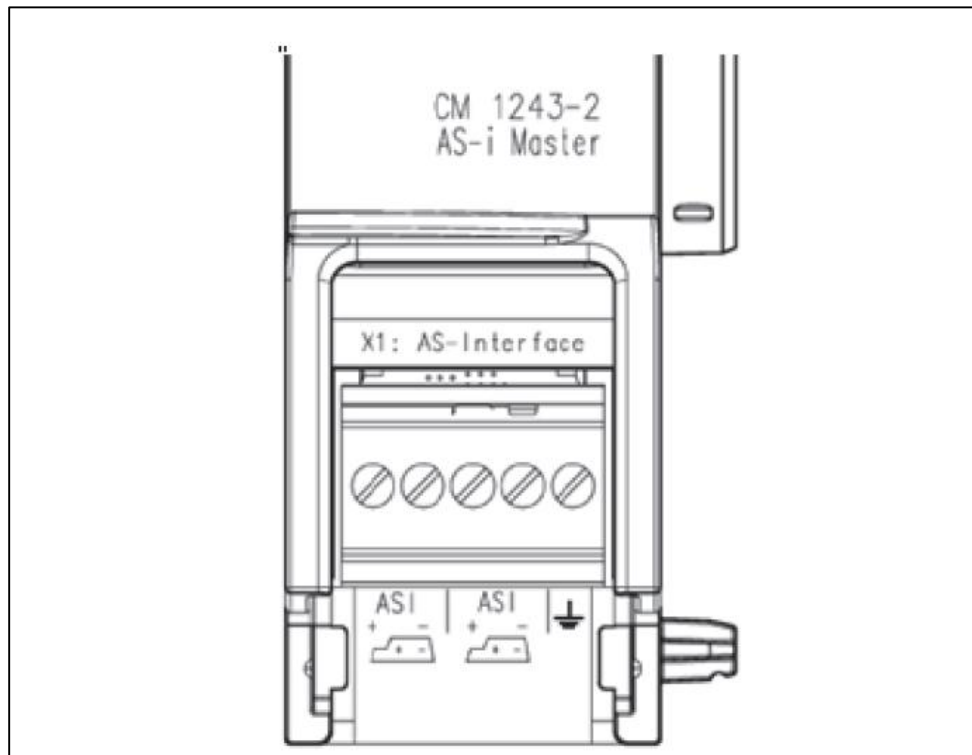



Figura 81. Bornes de conexión para el maestro CM 1243 – 2

Fuente: (SIEMENS, 2013)

El maestro AS-i CM 1243-2, como se puede observar en la Figura 81, cuenta con 4 bornes, 2 positivos y 2 negativos puenteados internamente, que son los que se utilizaran para conectar por un lado la fuente AS-i y por el otro el bus de campo AS-i y con ello todos los elementos que conformaran la red. En la Tabla 19 se muestra la nomenclatura de las bornes.

Tabla 19

Significado de la rotulación en el Maestro AS-i CM 1243-2

Rotulación	Significado
AS-i +	AS-i -, polaridad positiva, cable color café
AS-i -	AS-i +, polaridad negativa, cable color azul
	Tierra de la instalación.

Una vez identificados todos los bornes de conexión del maestro, se procede a conectar primero el bus AS-i hacia la derecha y la alimentación de la fuente AS-i a la izquierda, como se observa en la Figura 82.



Figura 82. Conexión del Maestro AS-i CM 1243-2

4.2.4. Conexión de los esclavos AS-i

Para la conexión de los esclavos AS-i se utilizara el método vampiro y el método de la técnica modular.

El método de vampiro consiste en perforar el cable AS-i a través de las puntas que se encuentran en la parte interior de los esclavos, hasta que dichas puntas lleguen al hilo de cobre que se encuentra internamente en el cable AS-interface. Cada vez que se desmonte el esclavo los agujeros se cerraran automáticamente debido a las características de auto cicatrización del cable AS-i.

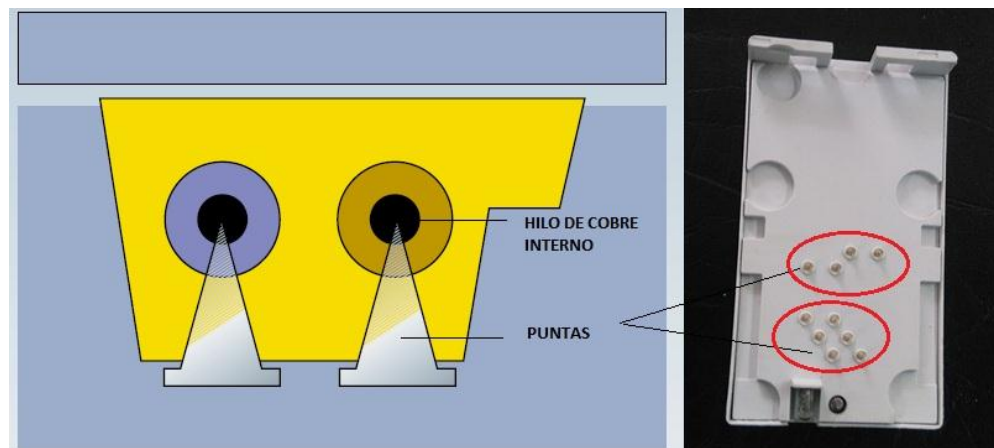


Figura 83. Método de conexión vampiro para un bus AS-i

El método modular manifiesta que todos los esclavos AS-i tendrán dos partes, la primera que será la placa de montaje, la cual permitirá montar el esclavo a un riel DIN de 35 mm y la segunda parte será el módulo en sí, donde se encuentran los conectores para las entradas y salidas de la red. El cable AS-i se ubicara entre esas dos partes, como si fuera un sándwich y se ajustara para que las puntas penetren el cable AS-i. Es así que se combinan el método vampiro y el método angular.



Figura 84. Método de conexión modular para un bus AS-i

Es importante tener muy presente la polaridad del cable AS-i que viene desde el maestro CM 1243-2, café – AS-i positivo y azul – AS-i negativo.

En primer lugar instalar las cajas de montaje de los dos esclavos K45 y K60 en un riel DIN de 35 mm, para luego tender e cable AS-i que viene desde el Maestro AS-i y como medida adicional tender el cable auxiliar AS-i de 24 V que viene desde la parte inferior del módulo, como ya se mencionó hay que tener muy en cuenta la polaridad del cable. El montaje se observa en la Figura 80 y es el mismo para los dos cables.

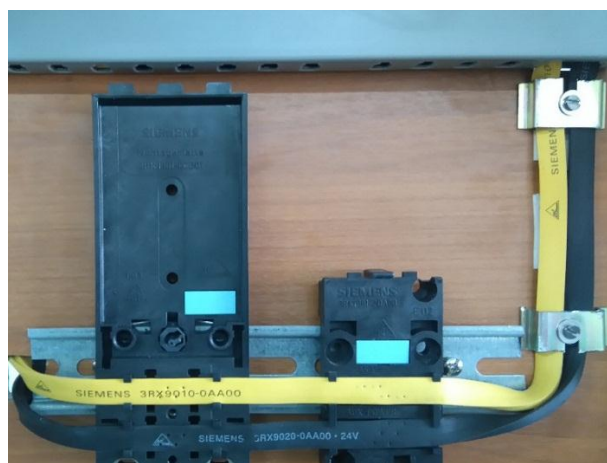


Figura 85. Instalación de las cajas de montaje en conjunto con el cable

Antes de realizar la conexión de las segundas partes de los esclavos hay que fijarse si la polaridad y la instalación de los cables esta correcta.

Para el Esclavo Digital K45 se toma en cuenta con los pinchos o puntas que se encuentran en la parte posterior del esclavo, los de la parte superior son para el cable AS-i amarillo y los de la parte inferior son para la alimentación auxiliar cable AS-i negro y que disponen de tres filas de pinchos para asegurar la polaridad, lo que permite insertar el cable AS-i negro desde dos posiciones posibles, es decir, la parte del perfil puede ir hacia arriba o hacia abajo, a diferencia del cable amarillo que obligatoriamente deberá ir hacia arriba. En la Figura 86 se muestra la disposición de las conexiones.

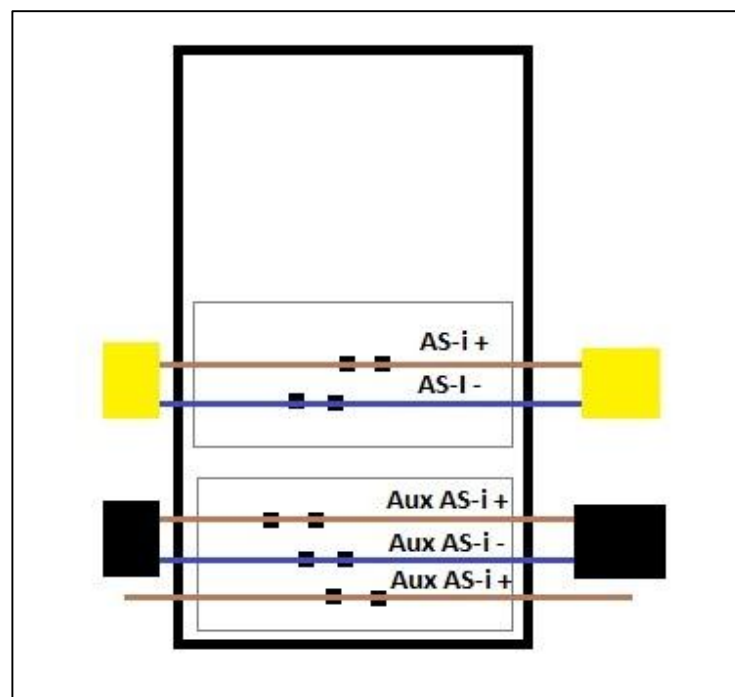


Figura 86. Disposición de las conexiones para el Esclavo Digital K45

Para el Esclavo Análogo K60 disposición de los pinchos o puntas es diferente a la del K45, al observar en la Figura 87, la disposición de las puntas es la misma para el cable amarillo y el negro, es decir, tiene solo una forma posible de conectarse, que es con el perfil hacia arriba.

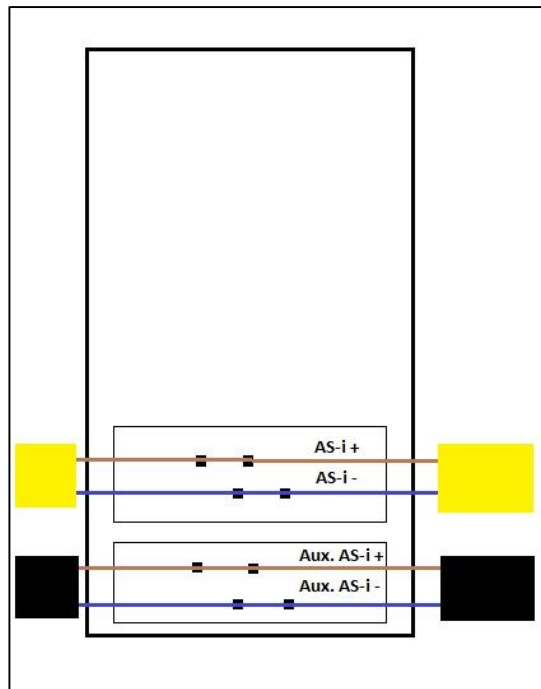


Figura 87. Disposición de las conexiones para el Esclavo Análogo K60

Una vez realizada la instalación de las placas de montaje y la verificación de la polaridad de los dos esclavos, se procede a instalar la siguiente parte de los esclavos AS-i, que son los módulos donde se encuentran las entradas y salidas de los esclavos. Para ello hay que encajar la parte posterior de los dos partes de los esclavos de manera que ingresen libremente, como se observa en la Figura 88.



Figura 88. Montaje de las dos partes de los esclavos AS-i

Una vez que se hayan emparejado las dos partes se debe presionar levemente hacia abajo y posteriormente se apretara los tornillos para fijar el esclavo a la placa de montaje (método modular), para que las conexiones tipo vampiro sean completamente seguras, como se observa en la Figura 89.

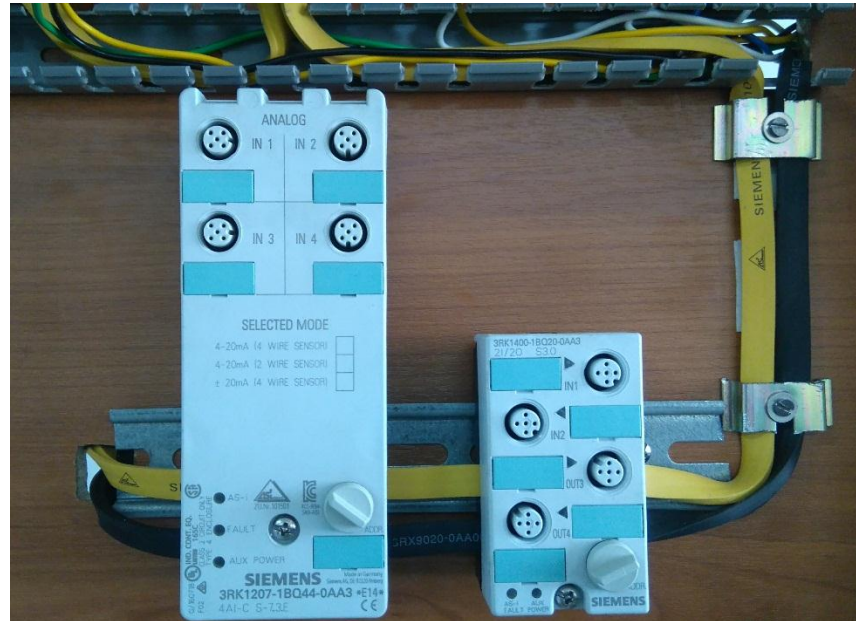


Figura 89. Conexión e instalación finalizada de los esclavos AS-i

4.2.5. Conexión de la columna de señalización

Para la instalación de la columna de señalización hay que revisar las características técnicas de elemento adaptador AS-interface, en las cuales se menciona que su tensión de servicio según especificaciones AS-i es de 18,5V a 31,6V DC y con tensión auxiliar es de 20V a 30 V DC, es decir, este elemento puede conmutar entre su tensión de funcionamiento entre AS-i y auxiliar y posee un interruptor en la parte interior de su estructura, como se observa en la Figura 90.

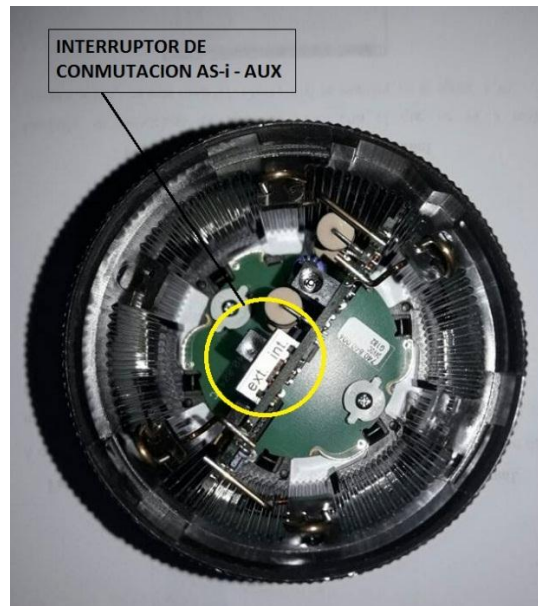


Figura 90. Interruptor de conmutación de AS-i a Aux.

Una vez se decidió con que fuente se va a trabajar se debe identificar los bornes en el elemento de conexión que de igual manera cuenta con bornes para AS-i y auxiliar. Los bornes de elemento de conexión se muestra en la Figura 91.



Figura 91. Bornes de conexión en el elemento de conexión

Cabe recalcar que la alimentación de tensión se realizara vía bus, con cable amarillo para AS-i y cable negro para la alimentación auxiliar. Las dos alimentaciones pueden estar conectadas al mismo tiempo y con el interruptor se seleccionara la alimentación que se desee utilizar. Observar Figura 92.



Figura 92. Conexión del cable AS-i amarillo y Aux negro

Un vez que se realiza todas las conexiones mencionadas anteriormente se procede a montar los elementos como se observa en la Figura 93.

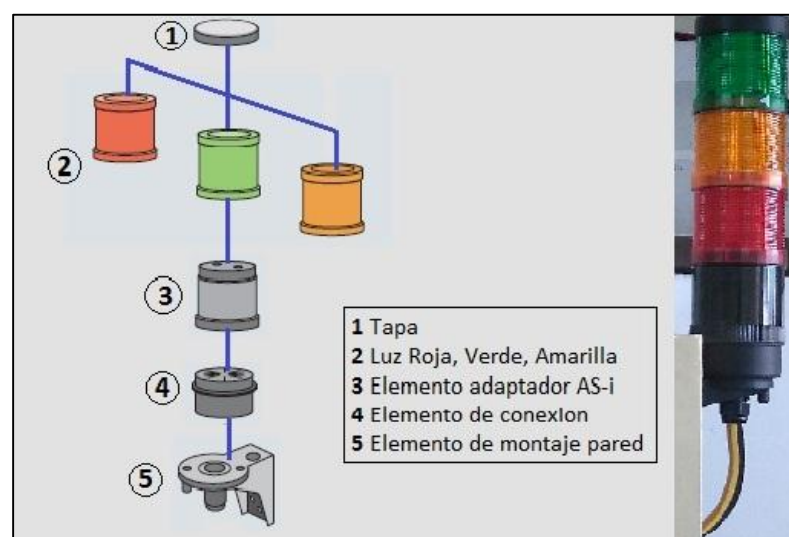


Figura 93. Orden de montaje de la columna de señalización

4.2.6. Conexión de la caja de mando

La caja de mando AS-i, al igual que los esclavos digital y analógico, utiliza el método vampiro para su conexión. La conexión se realiza mediante la técnica de perforación del aislamiento, a través de un elemento de conexión que viene integrado en la parte superior de la caja de mando. No cuenta con alimentación Auxiliar.



Figura 94. Elemento de conexión al bus AS-i para la caja de mando

4.2.7. Conexión de los sensores y actuadores existentes

Los sensores y actuadores se conectan a los cables M12 de acuerdo a la Tabla 20 en donde se puede apreciar el código de colores y su nomenclatura.

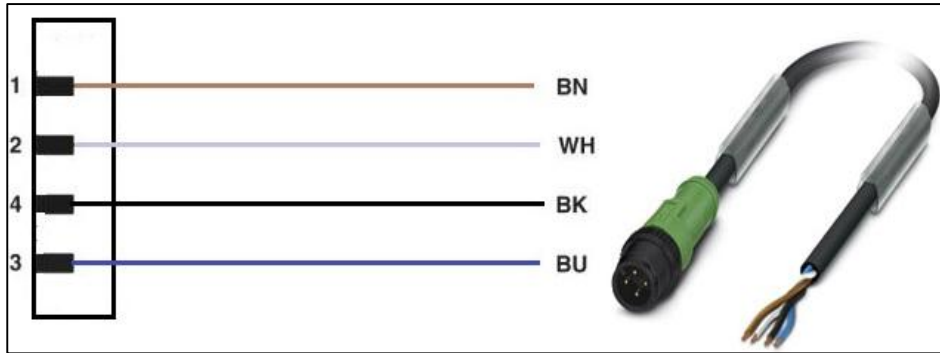


Figura 95. Conectores M12

Tabla 20

Código de colores para conexión de sensores y actuadores

Color	Abreviación	Referencia	Terminal
Brown (Café)	BN	Terminal Positivo	1
White (Blanco)	WH	Auxiliar	2
Black (Negro)	BK	Salida	4
Blue (Azul)	BU	Terminal Negativo	2

4.2.8. Direccionamiento de esclavos AS-i

El proceso para direccionar los esclavos AS-interface mediante la conexión directa con la consola, es el siguiente:

- Conectar la consola directamente al terminal de direccionamiento, por medio del cable que viene con la consola.
- Buscar la opción ADDR (Direccionamiento sin almacenar la configuración del bus) con las teclas de búsqueda y accionar el selector.
- Se observa SEARCH (Buscando) y posteriormente aparece SET "x", en donde "x" es la dirección con la que actualmente se encuentra el esclavo.
- Con las teclas elegir la dirección que se quiere asignar al esclavo, confirmar con el selector, y se observa PROG y a continuación ADDRES "x", donde "x" es la nueva dirección.



Figura 96. Direccionamiento de los esclavos AS-i

En la Tabla 21 se muestra las direcciones que han sido designadas a cada uno de los esclavos que conforman la red. Cabe mencionar que existen esclavos Standard y tipo A/B.

Tabla 21

Direcciones de los esclavos que conforman la red AS-i

Esclavo	Dirección	
Digital	1	Standard
Analógico	2	Standard
Caja de mando	3A	A/B
Columna de señalización	4A	A/B

4.2.9. Configuración de la red AS-i en TIA PORTAL

Para iniciar la configuración de la red AS-i con el software TIA PORTAL primero se procede a configurar el PLC SIEMENS S7 1200 y todos los módulos que interviene en la red.

En primer lugar proceder a abrir el software dando doble clic sobre la aplicación, una vez abierto el programa se abre una nueva ventana y se puede visualizar varias opciones. Dar clic en crear proyecto y llenar todos los campos requeridos para la creación de un nuevo proyecto, clic en aceptar.

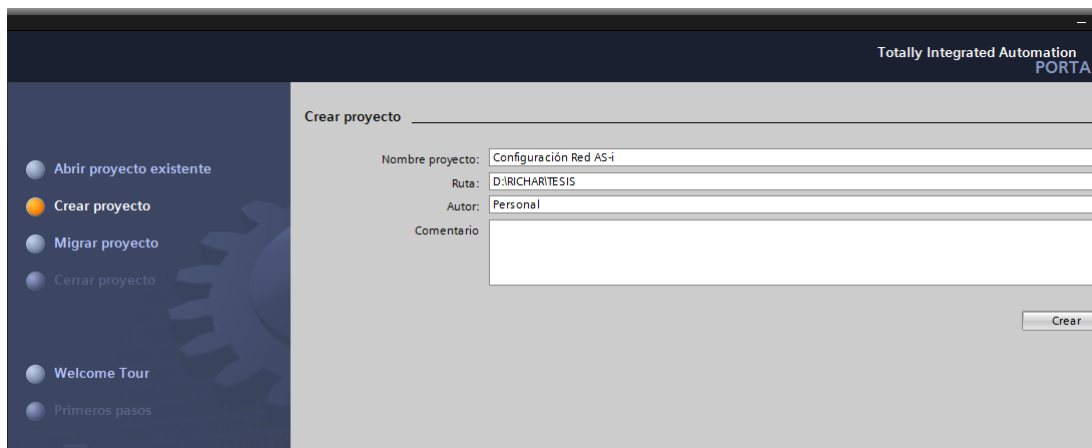


Figura 97. Creación de un nuevo proyecto en TIA PORTAL

Ya creado el proyecto, dar clic en Primeros pasos, aquí se escoge la opción configurar dispositivo para seleccionar el controlador que se usara para la red AS-interface.



Figura 98. Inicio de configuración de un nuevo dispositivo

En dispositivos y redes, dar clic en agregar dispositivo y se procede a seleccionar el controlador correspondiente. En controladores dar clic sobre SIMATIC S7-1200, se seleccionada el CPU que en este caso es el 1214C AC/DC/Rly y a continuación se elige la referencia del PLC que es 6ES7 214-1BG40-0XB0, seleccionar la versión y aceptar.

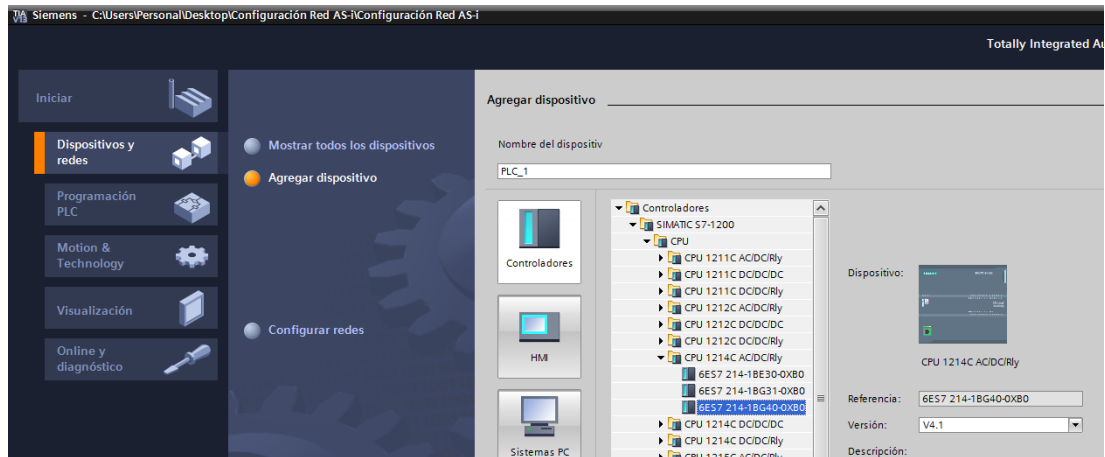


Figura 99. Selección del controlador S7 1200

Una vez finalizado todo el proceso de creación de un nuevo proyecto, se visualiza una pantalla como se muestra en la Figura 100.

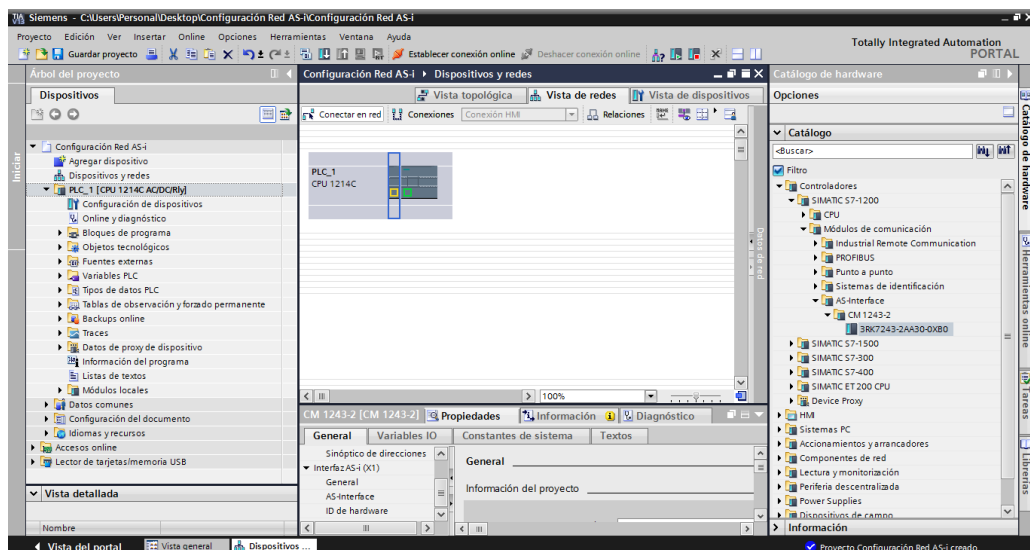


Figura 100. Vista general de TIA PORTAL

Para agregar el módulo de comunicación o Maestro AS-i, dirigirse hacia la parte superior derecha al catálogo de hardware. En catalogo buscar la opción módulos de comunicación, seleccionar AS-interface y ahí se encontrara el único maestro disponible para la serie SIMATIC S7-1200, que es el CM 1243-2 y cuya referencia es 3RK7243-2AA30-0XB0. Seleccionar este maestro y arrastrarlo hacia el Rack de módulos de comunicación en la pantalla principal.

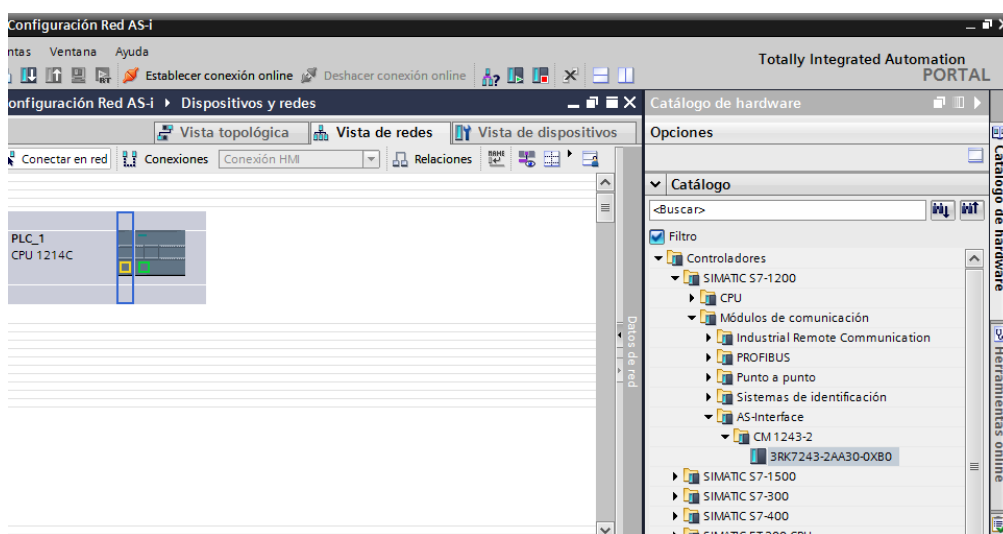


Figura 101. Selección del maestro AS-i CM 1243-2

Se puede identificar el lugar correcto del Rack porque se torna de color azul una vez que se ubica el cursor sobre el maestro, como se observa en la Figura 102.

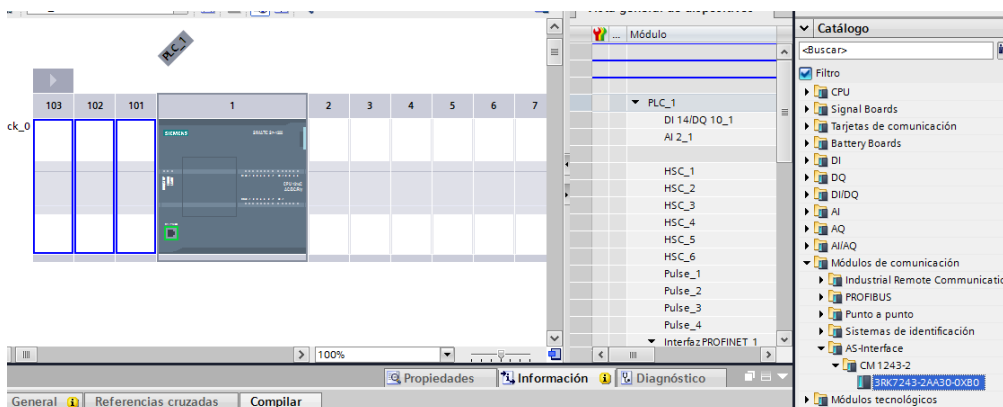


Figura 102. Ubicación del Maestro hacia el Rack de módulos de comunicación

En la parte inferior del software se puede observar las características del Maestro AS-i, para este caso no se modificara nada de las propiedades y todo se dejara por defecto del programa.

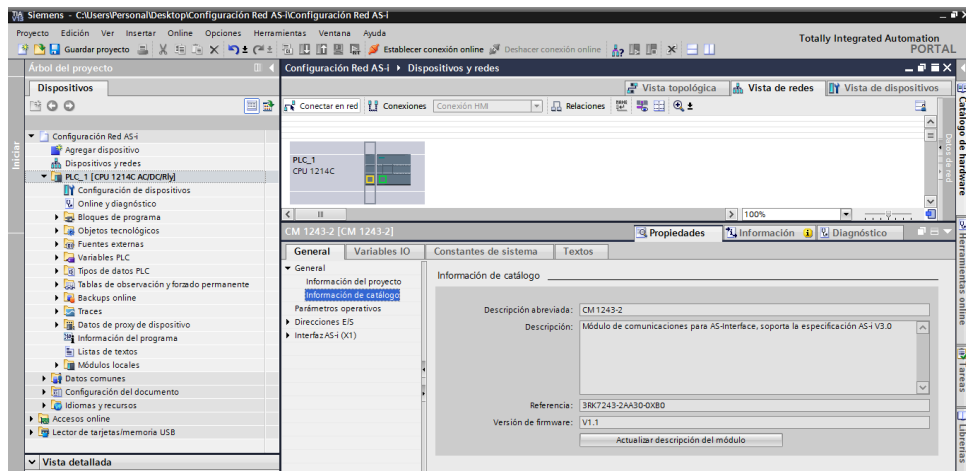


Figura 103. Ventana de propiedades del Maestro CM 1243-2

Una vez ingresado o seleccionado el Maestro AS-i, dirigirse hacia vista de redes, abrir el catálogo de hardware y en catalogo buscar dispositivos de campo, ahí se encontrara la opción AS-interface, se selecciona y se procede a buscar uno por uno cada esclavo AS-i.

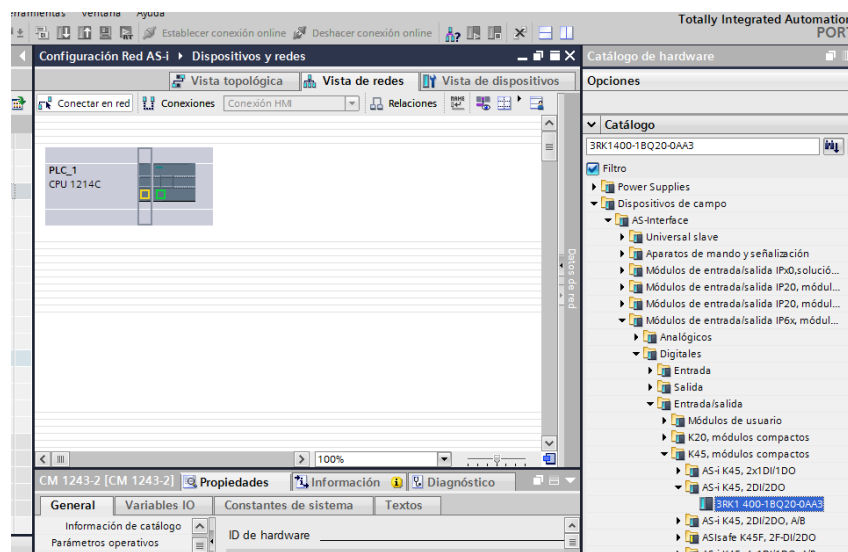


Figura 104. Ubicación de los esclavos en el catálogo de hardware

La red estará conformada por 4 esclavos cuyas referencias o identificadores son los que se muestran a continuación.

Tabla 22

Referencia de cada esclavo que compone la red AS-i

Esclavo	Referencia
Esclavo Digital	3RK14001BQ200AA3
Esclavo Analógico	3RK12071BQ440AA3
Caja de mando	3SF5 500-0BB
Columna de señalización	8WD4428-0BD

Se puede realizar la búsqueda de cada esclavo utilizando el código de referencia o se basa la búsqueda en las características de cada uno de ellos para buscarlos en el catálogo. Se realiza el mismo procedimiento para cada esclavo. Una vez encontrada cada uno de los esclavos dar clic izquierdo y sin soltar, arrastrar el esclavo hacia la pantalla de vista de redes, en donde se formara la red AS-i.

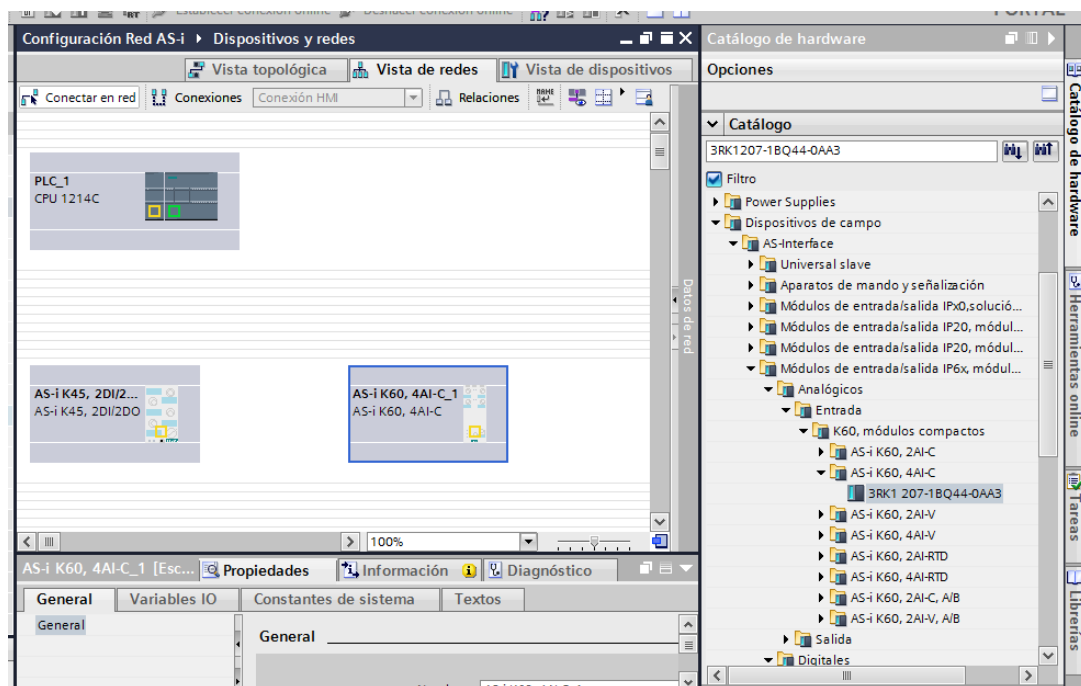


Figura 105. Ubicación de los esclavos en la vista de redes

Una vez que se haya ingresado todos los esclavos de la red, en cada uno de ellos, al ubicarse sobre ellos y dar clic, se busca la opción de propiedades, dirigirse hacia General y en AS-interface en la sección de direcciones se procede a cambiar la direcciones del esclavo, las mismas que debe coincidir con las que se ingresaron con el equipo direccionado. Este proceso se lo realiza para todos los esclavos.

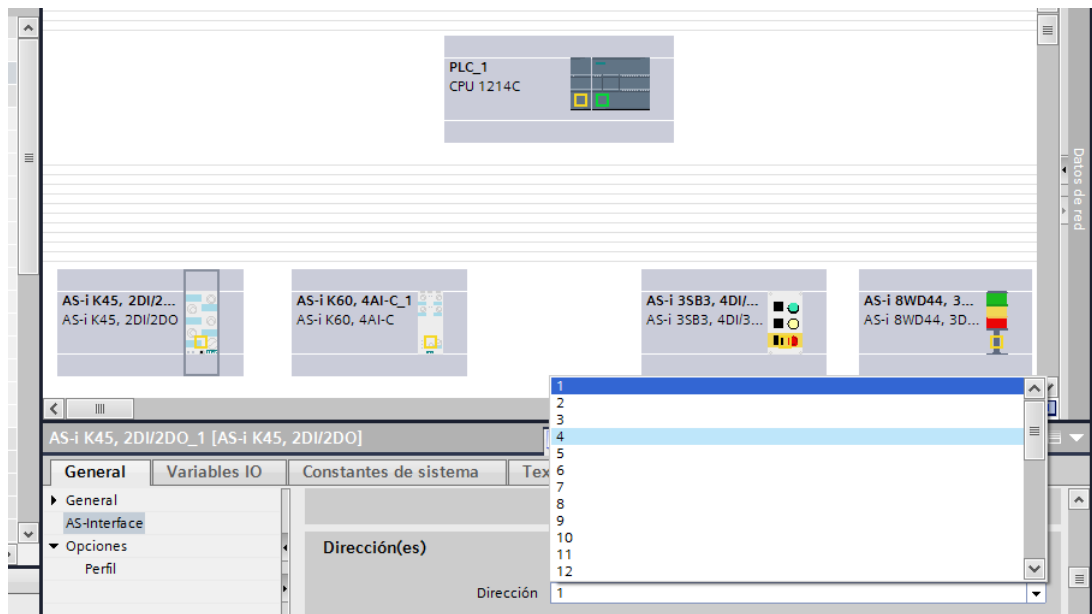


Figura 106. Direccionamiento de los esclavos dentro del TIA PORTAL

Una vez que ya se haya direccionado a todos los esclavos, el siguiente paso es formar la red mediante los cuadros amarillos que se pueden observar en cada uno de ellos y también en el maestro AS-i. Para ello, dar clic en el cuadro amarillo de cualquiera de los esclavos y sin soltar unirlo al maestro AS-interface, se puede observar que se forma una línea amarilla la cual representara el Cable AS-i.

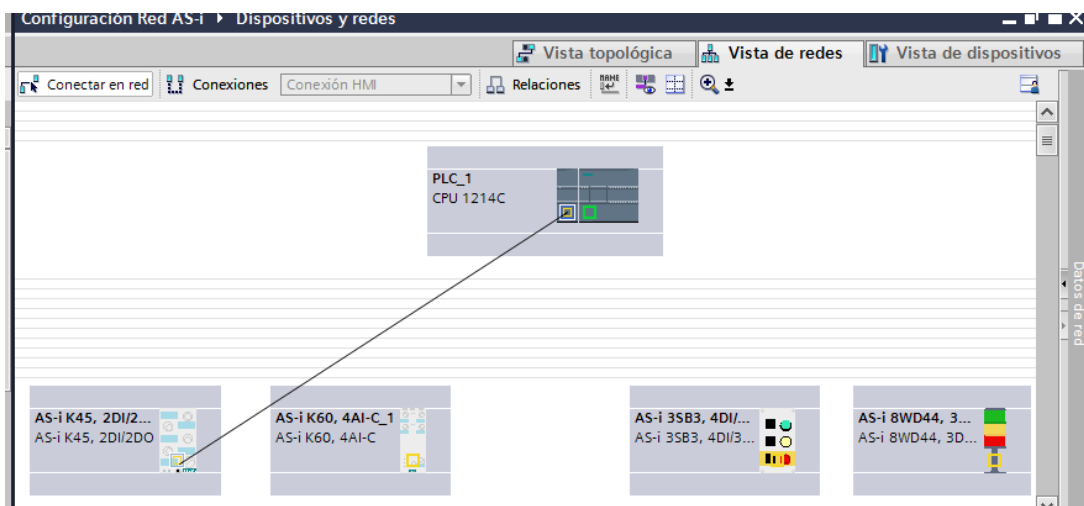


Figura 107. Conexión de los esclavos con el Maestro AS-i

Realizar el mismo procedimiento para todos los esclavos de tal manera que se forme una red uniforme y ordenada para poder trabajar sobre ella sin problemas.

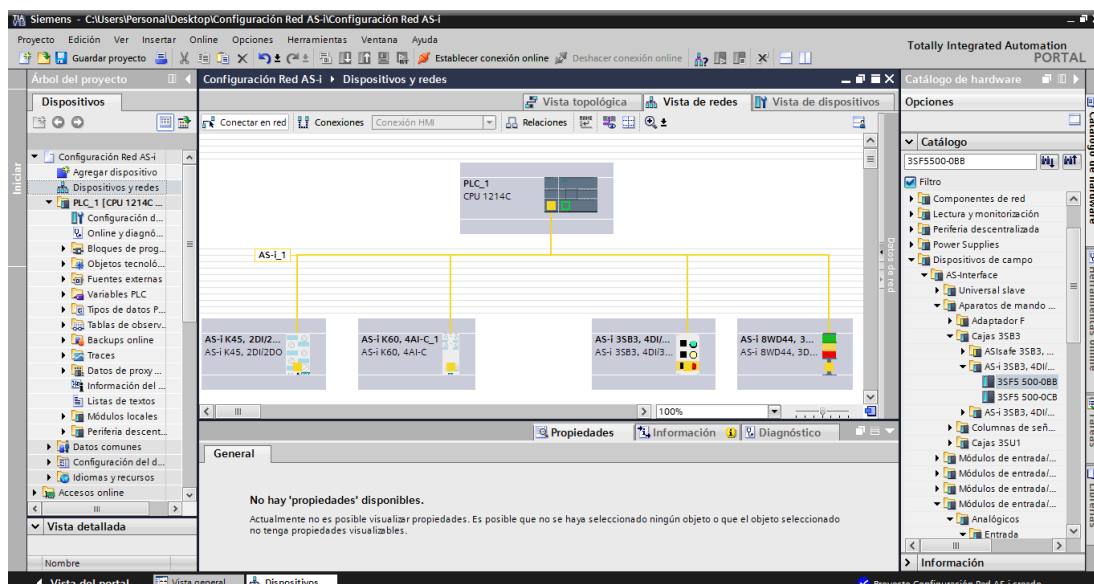


Figura 108. Red AS-i totalmente formada

4.2.10. Configuración del sistema de diagnóstico de fallas AS-i

Una de las funciones u objetivos principales de una red AS-i, es realizar el monitoreo, diagnóstico del sistema o diagnóstico de fallas ya sea mediante las funciones del maestro AS-i o mediante un programa desarrollado que permitan realizar dichas funciones de una manera didáctica.

Para ello se utiliza la instrucción **DeviceStates**, que es una herramienta que permite obtener información sobre el estado de todos los elementos o módulos que conforman una red. En este caso, permite obtener información del estado de todos los esclavos en una red AS-interface. Por ejemplo se puede leer cuando los esclavos están fallando, ya se uno o un conjunto de esclavos.

La instrucción puede ser llamada desde el OB cíclico o en el OB de alarma y para ello se debe dirigirse hacia el main del programa, en la parte lateral derecha se encuentran Instrucciones avanzadas, seleccionar diagnóstico y ahí se encuentra DeviceStates, como se muestra en la Figura 109.

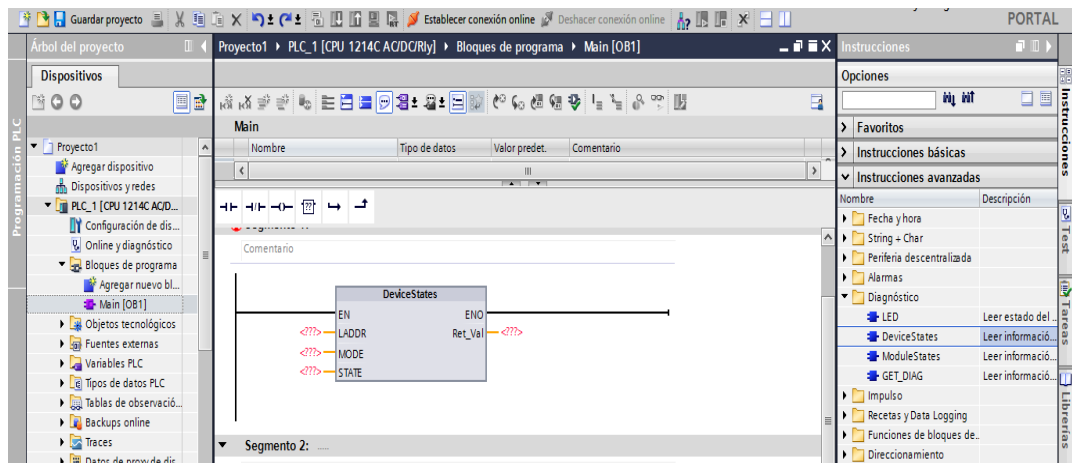


Figura 109. Instrucción Device States

El parámetro **LADDR** permite seleccionar la red o sistema sobre la que se quiere aplicar esta instrucción, es decir, el ID de hardware de la red AS-i

El parámetro **MODE** ayuda a seleccionar que tipo de información de estado se va a leer, pueden ir desde lecturas de configuración, errores o mantenimiento. A continuación se muestra la Tabla 23 con todas las opciones que se puede ingresar en el parámetro.

Tabla 23

Opciones de ingreso en el parámetro MODE

1	Los dispositivos están configurados
2	Los dispositivos fallan
3	Los dispositivos están desactivados
4	Los dispositivos están disponibles
5	Los dispositivos presentan problemas

El parámetro **STATE** muestra el estado de los dispositivos o esclavos que se seleccionó con el parámetro MODE y el parámetro **RET_VAL** muestra el estado de la instrucción. A continuación se muestra la Tabla 24 con las características de los parámetros de DeviceStates.

Tabla 24

Características de los parámetros de DeviceStates

Parámetro	Declaración	Tipo de datos
LADDR	Input	HW_IOSYSTEM
MODE	Input	UINT
RET_VAL	Return	INT
STATE	InOut	VARIANT

Tomando en cuenta todo lo anteriormente mencionado y con la ayuda de DeviceStates se desarrolló un programa que permita identificar cuando un esclavo esta desconectado de la red, o cuando un grupo de esclavos están fallando. El código completo del programa se muestra en el Anexo F.

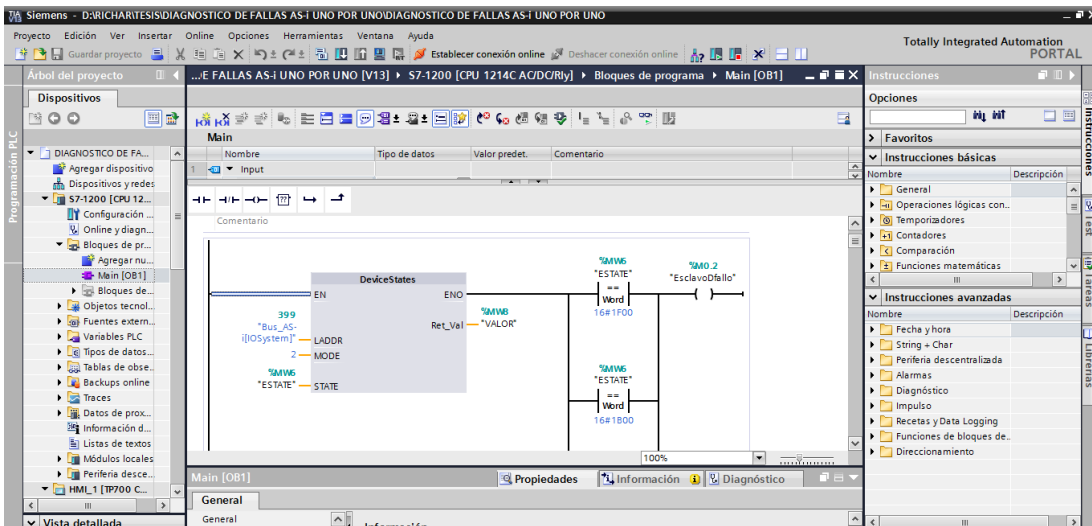


Figura 110. DeviceStates para detección de fallos

4.2.11. Escalamiento de señales analógicas para PID

Para conocer la salida o la entrada de un sensor analógico es de mucha utiliza o es necesario escalar la señal. Mediante este proceso se puede convertir una señal dentro de un rango a otro, esto se hace buscando la relación entre la entrada y la salida del sensor. Para esto se utiliza la ecuación de la recta.

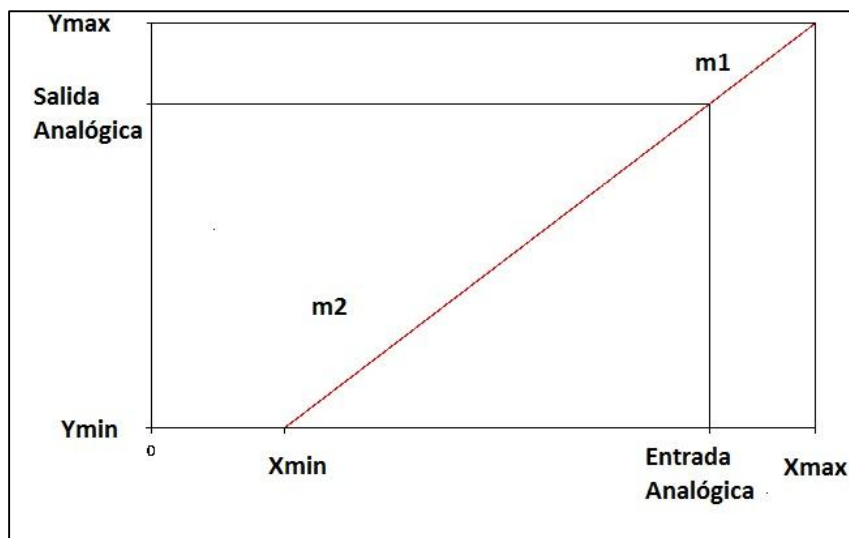


Figura 111. Ecuación de la recta Grafica

$$m1 = m2$$

$$\frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}} = \frac{Salida\ analógica - Y_{min}}{Entrada\ analógica - X_{min}}$$

$$Salida\ analógica = \frac{Y_{max} - Y_{min}}{X_{max} - X_{min}} (Entrada\ analógica - X_{min}) + Y_{min}$$

Donde:

X_{min} = Valor mínimo sensor

X_{max} = Valor máximo sensor

Y_{min} = Valor mínimo escalado

Y_{max} = Valor máximo escalado

$Entrada\ analógica$ = Valor que detecta el sensor

$Salida\ analógica$ = Valor deseado escalado

4.3. Montaje de la red Profinet

El montaje de la red Profinet se lo realiza teniendo en cuenta el diseño previo de la red el cual se observa en el Anexo D. Se utiliza un Switch para formar la red de topología estrella, en donde estarán conectados el PLC, la pantalla HMI y un computador personal.

4.3.1. Cableado de la red Profinet

Para el cableado de la red Profinet se debe tener en cuenta la topología estrella con la cual se diseñó la red anteriormente. El cableado de la red se muestra a continuación mediante la Figura 112 y se lo realiza con los cables y conectores adecuados.

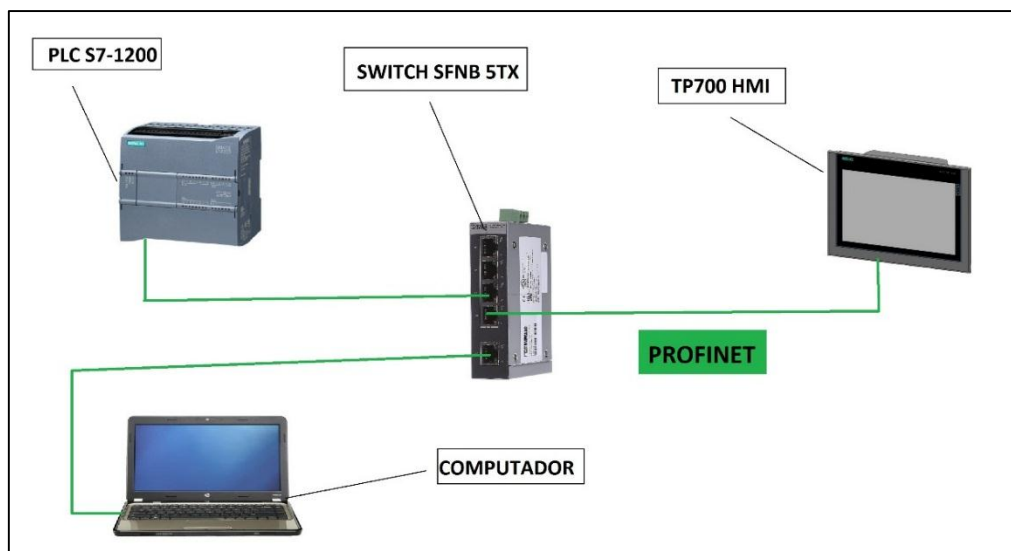


Figura 112. Cableado de la red Profinet

4.3.2. Configuración de la red Profinet

Como la red Profinet está formada por un TP 700 Comfort Panel, primero dirigirse a Agregar un nuevo dispositivo, en la sección de HMI escoger la opción SIMATIC Comfort Panel y buscar el HMI de acuerdo a las características del Display, en 7" Display se verá la opción TP700 Comfort, finalmente dar clic en aceptar.

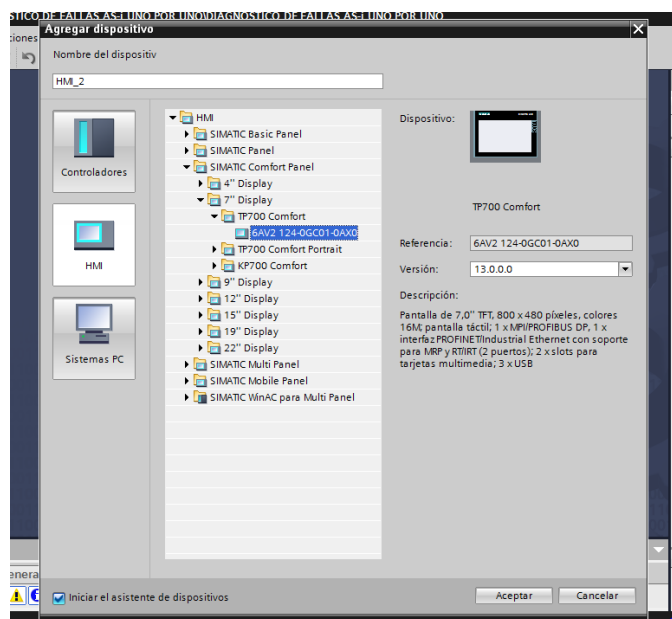


Figura 113. Configuración de un nuevo dispositivo HMI

Se abre una pantalla como la que se muestra en la Figura y en Conexiones de PLC seleccionar el PLC con el que se desea establecer o formar la red. Clic en examinar y buscar el dispositivo.

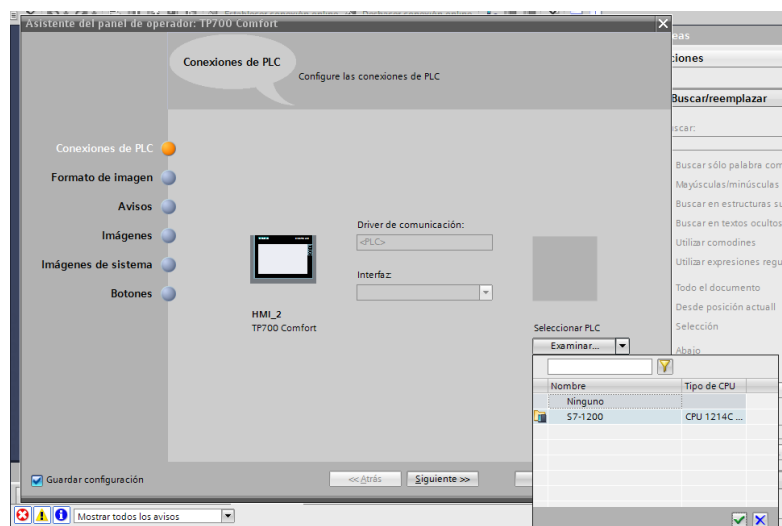


Figura 114. Configuración de las conexiones con el PLC

Se forma una línea de color verde, la cual representa la red PROFINET que se ha formado entre el PLC y la pantalla HMI. Saltar todos los pasos hasta Botones y dar clic en finalizar.

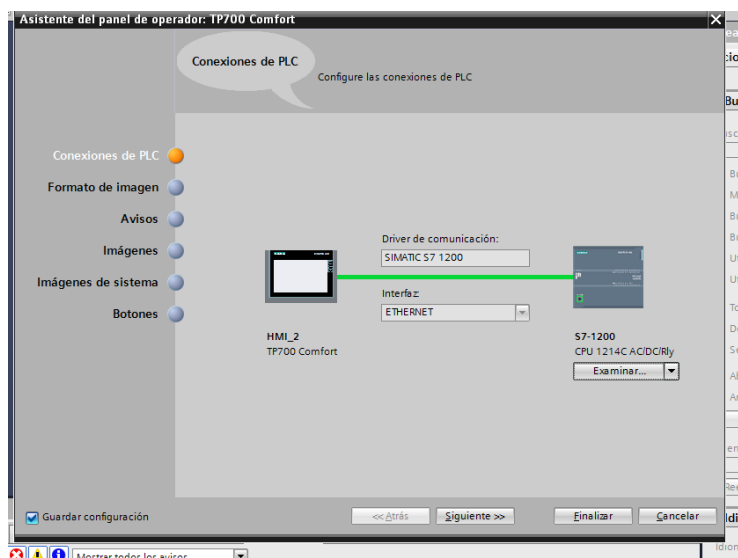


Figura 115. Comunicación entre PLC y HMI

Saltar todos los pasos hasta Botones y dar clic en finalizar.

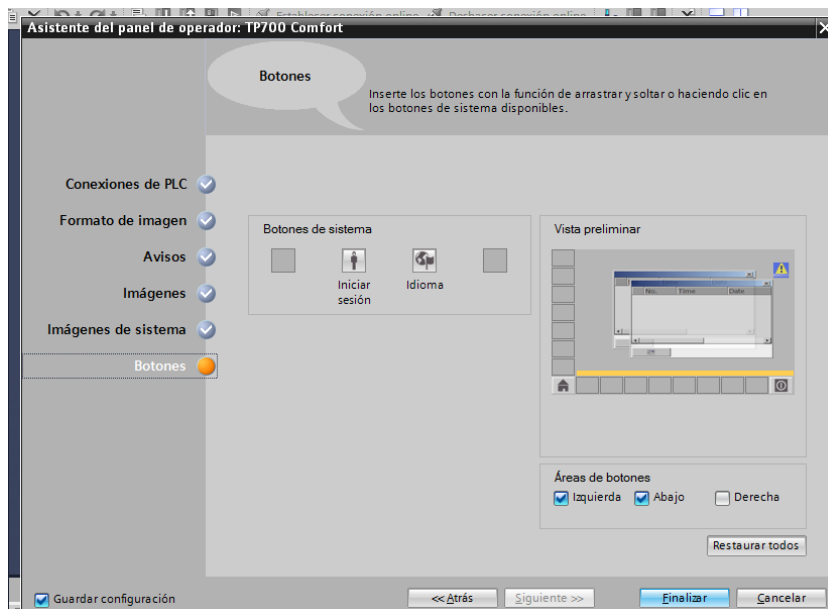


Figura 116. Finalización de las configuraciones

Una vez finalizado el proceso anterior, dar clic en vista de redes y observar como se ha formado la red automáticamente y se encuentra visible junto a la red AS-i. Ya se puede comenzar a formar el HMI o pantallas.

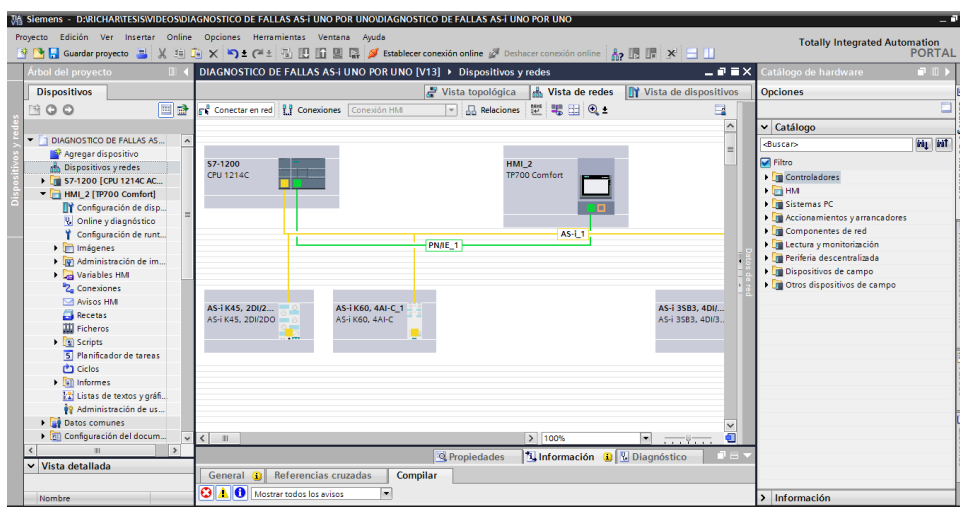


Figura 117. Red AS-i y Profinet en vista de redes

4.3.3. Configuración del HMI

Ya formada la red Profinet y la red AS-i con todo el código de programación de PIDs y fallas de la red AS-i se puede empezar a construir las pantallas que conformaran el HMI, utilizando todas las herramientas disponibles en el lado derecho de la pantalla que se observa a continuación.

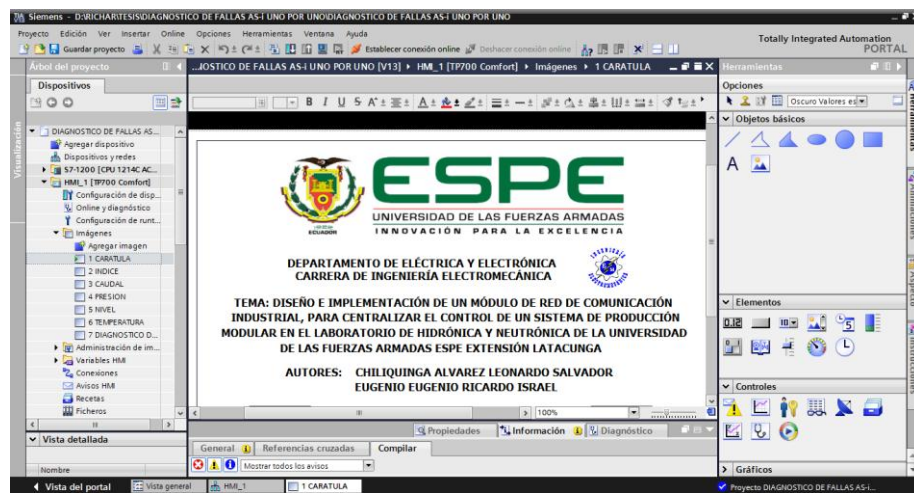


Figura 118. Pantalla para la construcción del HMI

El HMI cuenta con 7 imágenes en las cuales se muestra una caratula, un índice, una de diagnóstico de fallas y 4 pantallas donde se podrá visualizar, controlar y monitorear las diferentes variables. Para más información dirigirse al ANEXO E donde se encuentra el manual de usuario.

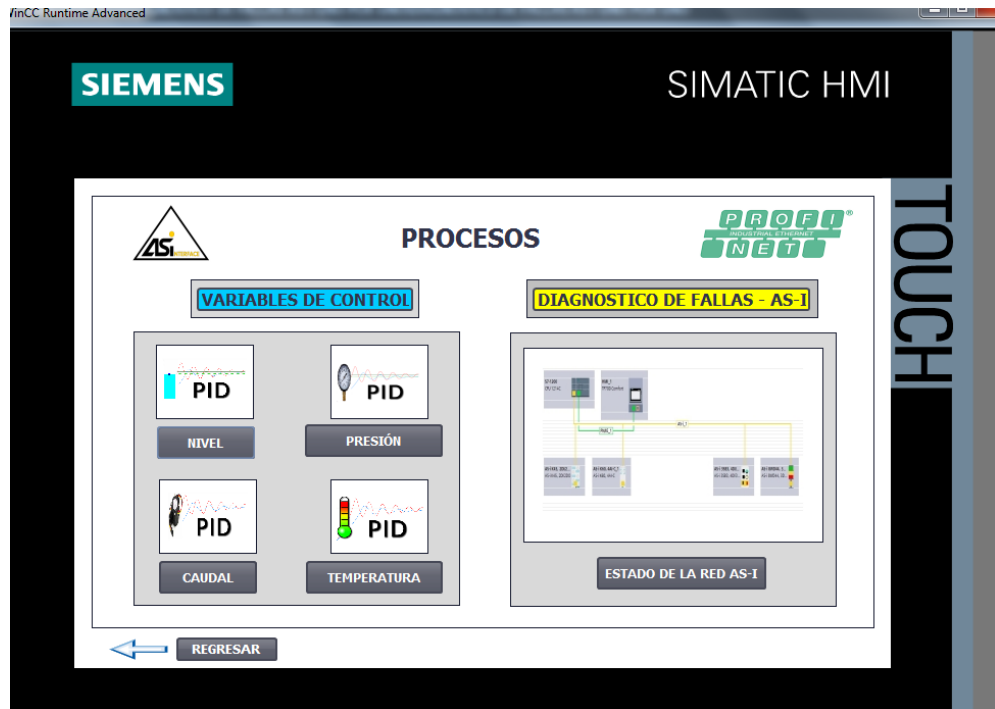


Figura 119. Pantalla inicial para el control de variables y diagnóstico de fallas

4.4. Circuito de desacoplamiento de señales

La función principal de la placa es acoplar y desacoplar la señal y voltajes de ingreso a los sensores/actuadores, con el fin de utilizarlos en el protocolo en los dos tipos de red comunicación sensores/actuadores.

Los materiales utilizados para esta placa son:

- Relé SRD-05VDC-SL-C
- Relé HK-19F-DC 24V-SHG

El diseño se lo realizó en el software PROTEUS tomando en cuenta el número de señales que necesitan ser desacopladas.

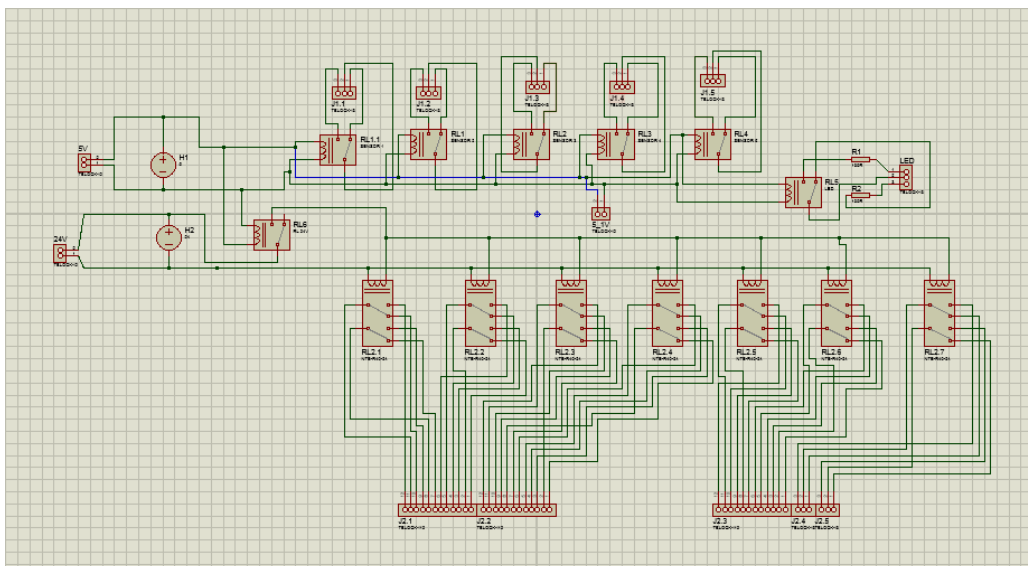


Figura 120. Diseño esquemático del circuito de desacoplamiento

La función principal de este circuito de desacoplamiento es no tener problemas con una sobrealimentación inversa hacia los esclavos As – i o la parte de acondicionamiento de señal del conexionado tradicional existente en la planta. Para la impresión del circuito se utilizó un Software estudiantil para el diseño de placas electrónicas.

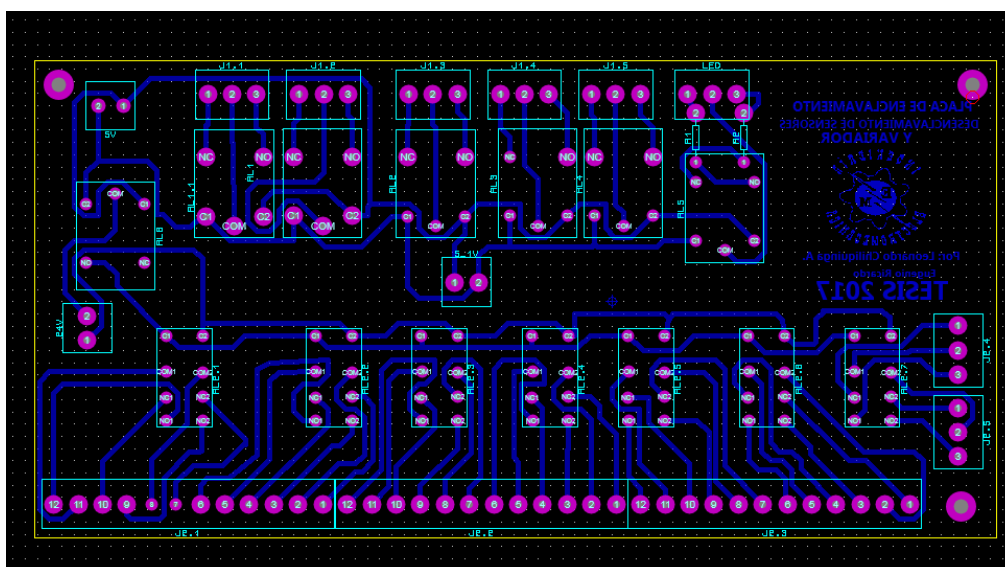


Figura 121. Diseño de la placa electrónica previa a la impresión

Este Software estudiantil permite visualizar la placa en una perspectiva 3D, la misma que se muestra a continuación.



Figura 122. Visualización en 3D de la placa de desacoplamiento de datos

A continuación se puede observar el circuito que será impreso en la placa y posteriormente el producto final.

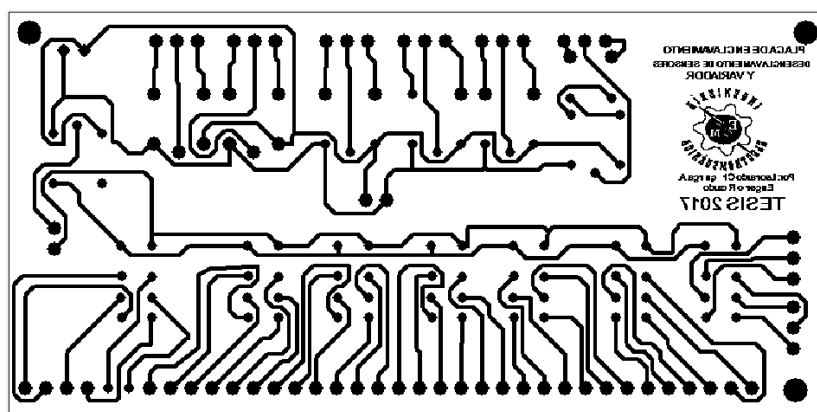


Figura 123. Circuito previo a la impresión

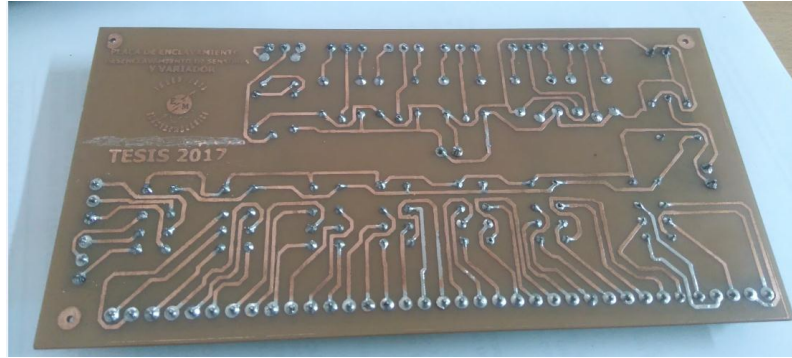


Figura 124. Circuito final impreso

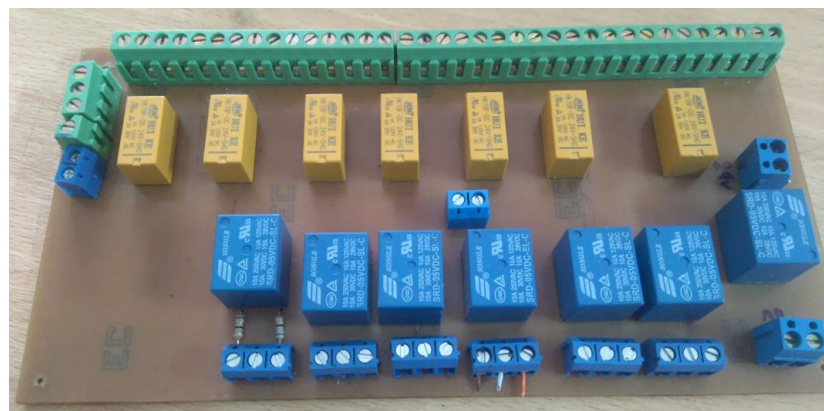


Figura 125. Producto final Placa de desacoplamiento de señales

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Puesta en marcha y pruebas de la red As-i

Terminada la construcción del módulo AS-interface e implementada en el Sistema de producción modular, se procedió a realizar la implementación de la red de comunicación con los diferentes tipos de conductores AS-i como indica la Figura 126 (Amarillo 30V – negro 24v), los cuales se realiza pruebas de funcionamiento y de fallas en su conexión, para ello dirigirse a las tablas de fallas de cada elemento y verificar que tipo de falla existe en la red para su posterior solución.



Figura 126. Puesta en marcha de los equipos

5.2. Fallas en el módulo de comunicación Simatic S7-1200 CM 124-3-2

La red AS-i debe estar sin errores de conexión, procurando optimizar las prácticas que se realicen en el módulo MPS, se recomienda antes del encendido verificar las conexiones del cable AS-i hacia los esclavos. En este caso se puede observar en la Figura 127 que se obtiene un sin número de fallas, dirigirse a la Tabla 25 para solucionar los posibles errores mostrados en los LEDs del maestro AS-i.



Figura 127. Fallas en el maestro AS-i

Tabla 25.

Significado de los LEDs del maestro AS-i

LED	Colores de los LED	Significado
DIAG		Indicación de estado y fallos del sistema (Diagnosis)
	LED apagado	No hay alimentación a través del bus de comunicación
	Verde parpadeante	El maestro AS-i está iniciándose o no está configurado a través de STEP7
	Verde encendido	El maestro AS-i se ha iniciado correctamente
	Rojo parpadeante	Hay un fallo pendiente: <ul style="list-style-type: none"> • No hay tensión de alimentación AS-i • Falla interna • Error de parametrización

CONTINÚA 

		• Fallo de periferia
AS-i	Detalle sobre el estado de AS-interface	
	LED apagado	El maestro AS-i esta offline
	Rojo encendido	Se ha producido un error sin que el bus AS-i haya fallado, (tensión de alimentación de AS-i es demasiado baja)
	Rojo parpadeante	Se ha reducido un erro sin que el bus AS-i haya fallado (Esclavo AS-i señala un error en la configuración)
	Verde encendido	No se ha producido fallos en el bus AS-i
FP	Indicación de fallos de periferia	
	Rojo encendido	Se ha producido un fallo en la periferia (sobrecarga en las salidas estándar o en caso de sobrecarga de la alimentación del sensor de las entradas estándar)
CM	Indicación del estado operativo (Error de Configuración)	
	Verde encendido	El maestro AS-i esta en modo configuración
	LED apagado	El maestro AS-i esta en modo protegido
CER	Indicación de errores de configuración (Configuración Error) Indica si la configuración de esclavos detectada en el cable AS-i coincide con la configuración teórica (LPS) ajustada a el maestro AS-i	
	Amarillo encendido	<ul style="list-style-type: none"> • Un esclavo AS-i configurado no está disponible o conectado en el cable de alimentación AS-i • Un esclavo no configurado previamente está disponible en el cable AS-i. • Un esclavo conectado tiene datos de configuración diferentes a los esclavos configurado en el maestro AS-i

Una vez corregido los problemas de la red, el maestro AS-i debe tener sus LEDs de color verde, con esta referencia indica que no existe ningún problema en la red de comunicación tal como muestra en la Figura 128.



Figura 128. Maestro correctamente configurado

5.3. Prueba esclavos AS-interface

Una vez conectados los esclavos se debe verificar que no tienen errores de direccionamiento. Se produjo fallas en los esclavos para verificar las posibles soluciones que se encuentran en la Tabla 26 y solucionarlos sin ningún problema.

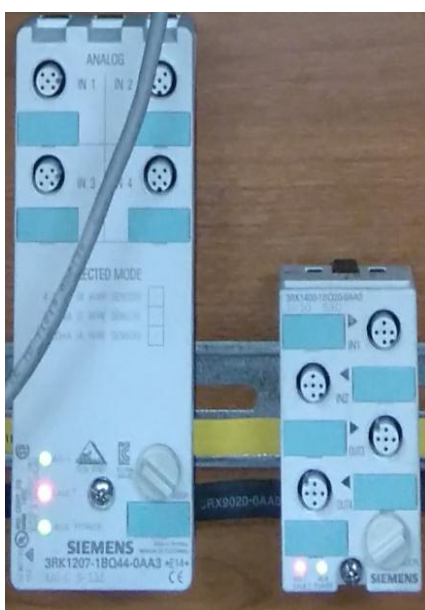


Figura 129. LEDs de los esclavos AS-i

Tabla 26

Estado de los LEDs para los esclavos AS-i

AS-I	LED	FAULT	Estado de servicio	Solución
(verde)		LED (red)		
OFF		OFF	<ul style="list-style-type: none"> No hay voltaje en el módulo AS-i. Polaridad incorrecta cable AS-i 	<ul style="list-style-type: none"> Revisar voltaje AS-i Revisar polaridad
ON		OFF	El esclavo está siendo ocupado por el maestro	Comunicación OK
ON		ON	<ul style="list-style-type: none"> No hay tráfico de datos Error de hardware 	<ul style="list-style-type: none"> Conectar la configuración

CONTINÚA 

			del maestro AS-i master
			• reemplace módulo
PARPADEO	ON	El módulo tiene la dirección de esclavo "0"	Asigne dirección de esclavos entre 1 y 31

En la tabla anterior se observa las posibles soluciones a las fallas de los esclavos analógicos y digitales AS-i, según el color del indicador LED se puede determinar su fallo, en la Figura 130 se muestra que los esclavos tienen indicador de color verde, esto demuestra que se encuentran sin fallas y conectados a los dos cables de la red AS-i, (Amarillo 30V – negro 24v), sin ningún problema.



Figura 130. Esclavos correctamente configurados

5.4. Transferencia de datos de los esclavos

Para las pruebas de la red AS-interface, se debe comprobar la transferencia de los datos de los esclavos hacia el módulo de comunicaciones AS-i, teóricamente la respuesta entre dispositivos es de 0.5ms, se debe verificar que los esclavos están siendo escritos (reciben señal y envían); para comprobar estos datos se debe trasladar a la Tabla 27, donde se observa las direcciones de entrada de la red AS-i para el bastidor "0"; para controlar la red es necesario un solo automático, con este se puede controlar hasta 248 sensores y 186 actuadores binarios con direccionamiento estándar. En la Tabla 28 se determina las direcciones de entrada y salida que se ocupa en el proyecto dependiendo las direcciones de los esclavos instalados en la red.

Tabla 27

Dirección inicial de los esclavos

Módulo	PS	CPU	IM	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP	CP
Numero de slot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Dirección inicial	1	2	3	256	272	288	304	320	336	352	368	

Tabla 28

Direcciones para enviar y recibir de cada bit

Numero de byte de Entrada / Salida	Bit 7 a Bit 4				Bit 3 a Bit 0			
	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
256	Reservado				Esclavo 1			
257	Esclavo 2				Esclavo 3			
258	Esclavo 4				Esclavo 5			
259	Esclavo 6				Esclavo 7			
260	Esclavo 8				Esclavo 9			
261	Esclavo 10				Esclavo 11			
262	Esclavo 12				Esclavo 13			
263	Esclavo 14				Esclavo 15			

Una vez ya determinada las direcciones de los esclavos, realizar y cargar el programa, para realizar la prueba de red, una vez realizado el proceso de carga de programa al autómatas se puede observar el área de transferencia que se va a intercambiar en la red en este caso serán Entradas / Salidas con los bytes correspondientes 259 esclavo 6, 258 esclavo 4 257 esclavo 3.

5.5. Pruebas y sintonización el PID

En la Figura 131 indica el bloque para la entrada del SetPoint, en qué nivel se encuentra la señal del sensor y la salida al variador, estos bloques se los puede encontrar en la parte derecha de la ventana de programación. Con nombre de "PID COMPACT".

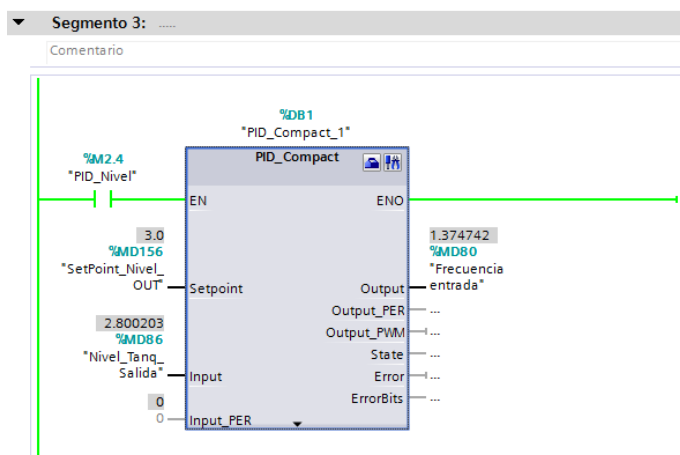


Figura 131. PID_Compact

Para realizar la sintonización poner en línea al proceso y colocar manualmente el SetPoint, para obtener una mejor sintonización y satisfaga el proceso para el módulo MPS.

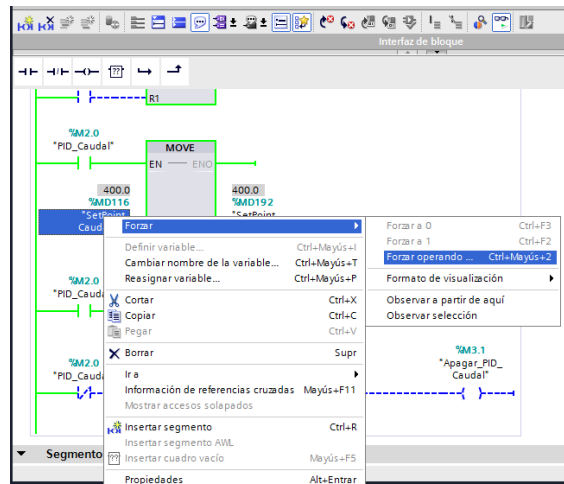


Figura 132. SetPoint ingresado en modo forzado

Se debe arrancar en la parte de “tiempo de muestreo”, escogiendo el tiempo que sale por default en este caso 0.3 segundos; colocarse en modo de ajuste y escoger sintonización fina, aceptar y el proceso empieza a funcionar enviando un 100% de valores decimales al variador (27648) reduciendo hasta estabilizar el proceso.

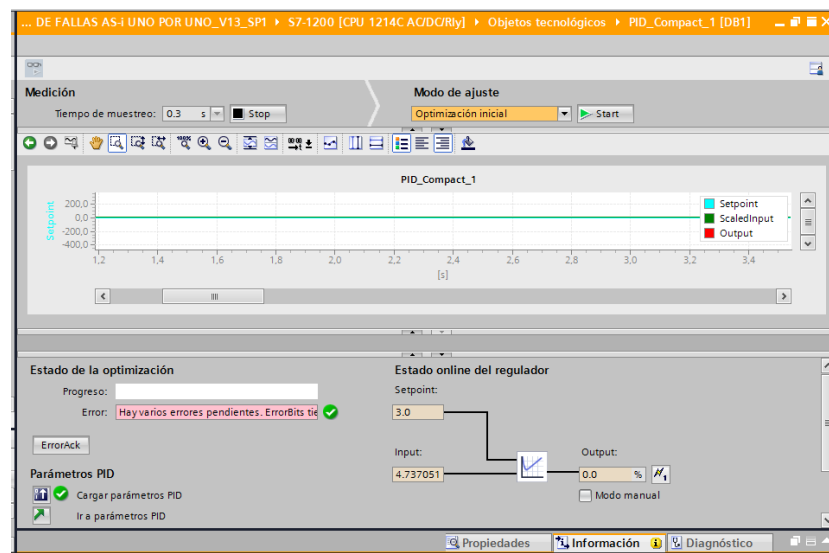


Figura 133. Sintonización del PID

Una vez que no muestra la pantalla que se ha completado la sintonización, cargar los parámetros al PLC y así tener una buena configuración y estabilidad en el proceso.

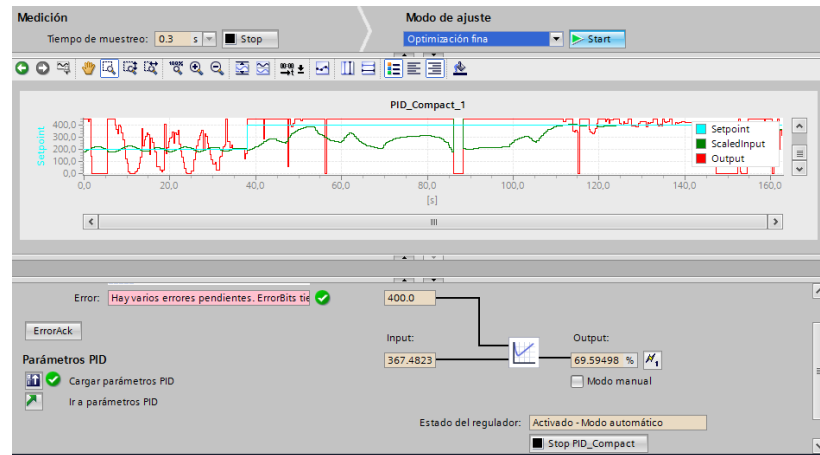


Figura 134. Sintonización Finalizada

Para la sintonización del controlador PID, se debe obtener los valores idóneos para una correcta estabilización en el proceso. Para lo cual se debe obtener los parámetros correctos tal como indica la Figura 136 del ejemplo control de nivel, para llegar a estos datos se debe realizar un sin número de pruebas de sintonización.

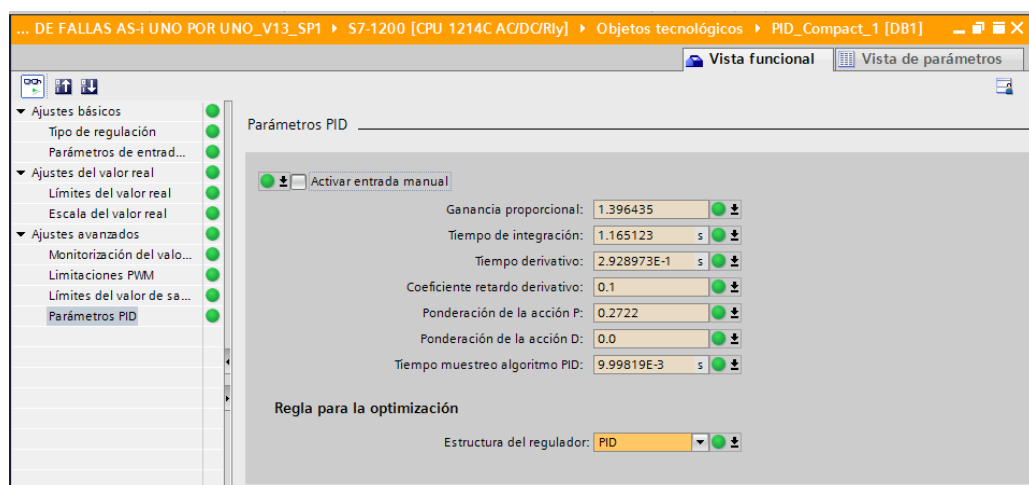


Figura 135. Parámetros obtenidos con la sintonización

5.6. Análisis de costos

En la Tabla se da a conocer los precios de los equipos adquiridos para la realización del proyecto de investigación. En esta cotización se incluyen costos de los elementos eléctricos, de fabricación del módulo y costos de envío de los elementos.

Tabla 29.

Costos de los equipos utilizados para el módulo

N°	CANTIDAD	CÓDIGO	DETALLE	PRECIO
1	1	3RK1207-1BQ44-0AA3	MÓDULO COMPACTO AS-INTERFACE IP67 ANALOGICO 4 X ENTRADA	\$ 451,00
2	1	RK1400-1BQ20-0AA3	MÓDULO COMPACTO AS-I IP67 DIGITAL 2 ENTRADAS + 2 SALIDAS	\$ 205,33
3	1	3RK1901-0CB01	PLACA DE MONTAJE K60 AS INTERFACE MÓDULO COMPACTO K 60	\$ 25,84
4	1	3RK7243-2AA30/0XB0	MÓDULO DE COMUNICACION SIMATIC S7-1200 CM 1243-2	\$ 614,17
5	1	3RK1901-2DA00	PLACA DE MONTAJE K45 AS-I	\$ 13,93
6	1	3RX9010-0AA00	CABLE AS -I PERFILADO 2 X 1.5	\$ 333,67
7	1	3RX9501-0BA00	FUENTE DE ALIMENTACION AS-I POWER 3A 120/230 VAC	\$ 414,30
8	1	8WD4408-0AB	COLUMNA SEÑALIZACION ELEMENTO CONEXION	\$ 41,58
9	1	8WD4408-0CD	COLUMNA DE SEÑALIZACION DIAM 70MM	\$ 18,18
10	1	8WD4420-5AB	COLUMNA DE SEÑALIZACION ELEMENTO LUZ PERMANENTE LED ROJO 24V AC/DC	\$ 71,55
11	1	8WD4420-5AC	COLUMNA DE SEÑALIZACION ELEMENTO LUZ PERMANENTE LED VERDE 24V AC/DC	\$ 71,55
12	1	8WD4420-5AD	COLUMNA DE SEÑALIZACION ELEMENTO LUZ PERMANENTE LED ROJO AMARILLO AC/DC	\$ 71,55
13	1	8WD4428-0BD	COLUMNA SEÑALIZACION ELEMENTO AS-INTERFACE IP65 A/B	\$ 200,70
14	1	3SF5812-0DA00	CAJA AS-INTERFACE PARA AP DE MANDO,22MM	\$ 306,92
15	1	6ES7 214-1BG40-0XB0	SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, COMPACT CPU, AC/DC/RLY, ONBOARD I/O	\$ 430,00
16	1	6ES7 232-4HD32-0XB0	SIEMENS SIMATIC S7-1200 ANALOGUE OUTPUT MODULE	\$ 460,00
17	5		conectores M12 - 5 pines	137,5
18	1		FLETE	\$ 400,00
TOTAL				\$ 4.267,77

5.7. Manual de operación

El Manual de operación para el módulo de red comunicación se lo puede encontrar en el ANEXO E.

CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e implemento un módulo didáctico de comunicación industrial que permite centralizar el control de un sistema de producción modular y realizar el control de variables mediante un bus de comunicación AS-interface.
- El módulo didáctico de comunicación industrial permite realizar prácticas de laboratorio referentes al control de variables de nivel, temperatura, flujo y presión utilizando la técnica del bus, lo que disminuye la cantidad de cables que serían necesarios si se implementara el cableado tradicional.
- El módulo de comunicación industrial es ideal para la conexión a red de sensores/actuadores analógicos y digitales debido a la facilidad y rapidez que caracteriza a una conexión tipo bus.
- La configuración de la red AS-interface se realizó mediante el software TIA PORTAL V13, el mismo que permite realizar la configuración de la red proporcionado un catálogo de dispositivos de campo donde se puede encontrar todos los tipos de esclavos existentes.
- Se realizó el direccionamiento de los esclavos con la conexión directa a la consola de direccionamiento, tomando en cuenta las características y versiones de los esclavos.
- El bus de comunicación industrial AS-interface permite la utilización de esclavos Standard para la conexión de sensores/actuadores y esclavos A/B para la conexión de aparatos de mando y señalización, lo cual permite tener una red completa y óptima para el conocimiento y realización de prácticas de comunicaciones industriales.
- Se desarrolló un sistema de diagnóstico de fallas que monitorea la conexión y desconexión de los esclavos Standard y A/B que se encuentran conectados a la red de comunicación industrial mediante el bus AS-i y que generan un código de falla en caso de que se desconecte algún esclavo de la red.
- Se utilizó alimentación auxiliar de 24V DC para el correcto funcionamiento de sensores y actuadores, mediante el uso del cable negro de alimentación auxiliar.

- Se utilizó una fuente de alimentación AS-i con un sistema de desacoplamiento de datos integrado lo cual evito que se necesite de un módulo de desacoplamiento de datos AS-i adicional DCM 1271 para SIMATIC S7-1200.

RECOMENDACIONES

- Verificar el estado de las entradas del esclavo analógico enviando señales de corriente desde 4 a 20 mA y así evitar errores en el momento de conectar los sensores.
- Se recomienda realizar un esquema previo de direccionamiento, indicando que dirección corresponderá a cada esclavo.
- Utilizar direcciones ordenadas para el direccionamiento de los esclavos, lo cual ayudará a configurar de manera correcta la red AS-i y evitar que se repitan las mismas direcciones en 2 dispositivos.
- Se recomienda primero montar todos los esclavos que conformaran la red de comunicación industrial antes del encendido y configuración de la misma en el TIA PORTAL, para que el maestro realice el reconocimiento y así evitar errores de configuración.
- Antes de realizar la configuración y lectura de variables analógicas en el programa de TIA PORTAL, se recomienda revisar las conexiones de los sensores analógicos al esclavo AS-i, para así evitar posibles errores de lectura errónea.
- Tener especial cuidado con las puntas o pinchos que se encuentran en la parte interna de los esclavos ya que podrían perder sus características y no perforarían de manera adecuada el cable AS-i.
- Para los esclavos que poseen salidas se debe utilizar una alimentación auxiliar de 24V DC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balcells, J., & José Luis, R. (2000). *Autómatas Programables* (Primera ed.). Barcelona: Marcobombo Boixareu Editores.
- Blanca. (10 de Septiembre de 2016). *Erenovable.com*. Recuperado el 15 de Junio de 2016, de ERENOVABLE: <http://erenovable.com/las-energias-convencionales/>
- Cassiolato, C. (2011). *SMAR Equipamentos Industriais*. Recuperado el 3 de Febrero de 2017, de <http://www.smar.com/en/asi>
- Castro Gil, M. A. (2007). *Comunicaciones Industriales: Principios Básicos* (Primera ed.). Madrid: Librería UNED - España.
- Castro, M., Díaz, G., Mur, F., Fernández, R., Ruiz, E., Sempere, V., . . . Mayo, R. (2007). *Comunicaciones Industriales: Principios Básicos* (Primera ed.). Madrid: Librería UNED.
- DANFOSS. (2017). *DANFOSS*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://products.danfoss.com/productrange/industrialautomation/pressure-transmitters/#/>
- DFAST. (2017). *DFAST Tecnología y Calidad*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://dfast.cl/sensores/121-sensor-de-flujo-de-agua-efecto-hall-modelo-yf-s201.html>
- DIPAC. (2016). *DIPAC PRODUCTORES DE ACERO*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de <http://www.dipacmanta.com/planchas-de-acero/planchas-acero-negro/planchas-laminadas-en-caliente>
- Domingo Peña, J., Gámiz Caro, J., Grau i Saldes, A., & Martínez García, H. (2003). *Comunicaciones en el entorno industrial* (Primera ed.). Aragón: Editorial UOC.
- ELECTRONIC, I. (2009). *IFM-ELECTRONIC.COM*. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de https://www.ifm.com/obj/ifm_AS-Interface_Catalogue_ES_08.pdf

- ELEKTROTOOLS. (2017). *ELEKTROTOOLS*. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <http://en.elektrotools.de/Product/Network-switch-2891001>
- Guerrero, V., Yuste, R., & Martínez, L. (2010). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona - España: S.A. MARCOMBO.
- HMK. (2017). *HMK Automation Group*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de <http://www.hmkdirect.com/products/plc/s7-1200/>
- HMK. (2017). *HMK Automation Group*. Recuperado el 15 de Enero de 2017, de <http://www.hmkdirect.com/shop/6ES7214-1BG31-0XB0/>
- Huilcamaigua Checa, E., & Viracucha Masabanda, L. (2016). *Análisis e implementación de una red ethernet industrial baja estándar abierto Profinet para centralizar procesos de control hidráulico proporcional con el módulo FESTO TP 702*. Latunga.
- Hurtado Torres, J. (2011). *www.infopl.net*. Recuperado el 22 de 01 de 2017, de <http://www.infopl.net>
- INDUSTRIAL, T. (2014). *TCS INDUSTRIAL*. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de <http://www.tcsindustrial.com/temperatura/>
- López Riquez, O. (2011). *Diseño de un control distribuido de una planta*. Universitat Rovira Virgili.
- Mandado Pérez, E., Acevedo, J., Fernández Silva, C., & Armesto Quiroga, J. (2009). *Autómatas Programables y Sistemas de Automatización* (Segunda ed.). Barcelona: Marcombo, S.A.
- MASVOLTAJE. (2017). *MASVOLTAJE*. Recuperado el 5 de Enero de 2017, de <http://masvoltaje.com/simatic-hmi/1151-simatic-tp700-comfort-panel-windows-ce-60-display-tft-panoramico-de-7-4025515079026.html>
- MASVOLTAJE. (2017). *Masvoltaje Tu tienda de electricidad*. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de <http://masvoltaje.com/simatic-hmi/1151-simatic-tp700-comfort-panel-windows-ce-60-display-tft-panoramico-de-7-4025515079026.html>

Muñoz Valverde, P., & Pérez Guanaluiza, C. (2016). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE TRABAJO COMPACTA PARA LA REGULACIÓN DE VARIABLES DE CONTROL: NIVEL, CAUDAL, PRESIÓN Y TEMPERATURA EN LAZO CERRADO PARA EL LABORATORIO DE HIDRÓNICA Y NEURÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS EXTENSIÓN L. Latacunga.*

NOVACERO. (2011). *www.novacero.com*. Recuperado el 15 de Octubre de 2016, de <http://www.novacero.com/catg-producto.html> Análisis estructural del módulo AS-i

ODYSSEY. (13 de 12 de 2016). *Etxesare.eu*. Obtenido de http://etxesare.eu/euiti/tercero/ii/II-Bus_de_Campo_AS-I.pdf

OMEGA. (2003-2017). *OMEGA*. Recuperado el 02 de Enero de 2017, de <http://es.omega.com/temperature/pdf/M8-M12FM.pdf>

PEPPERLUFUCHS. (2017). <http://www.pepperl-fuchs.es>. Recuperado el 22 de Febrero de 2017, de http://www.pepperl-fuchs.es/spain/es/classid_186.htm?view=productdetails&prodid=39580

Ríos, J. (31 de Octubre de 2008). *tv.uvigo.es*. Recuperado el 25 de Enero de 2017, de http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/2712/Honeywell_SCDenlaidustriaoct08rev2.pdf

Rodríguez Penin, A. (2008). *Comunicaciones Industriales*. Barcelona - España: Marcombo S.A.

Salzer, B., & Schirmer_Kaegebein, U. (04 de 01 de 2000). *www.etitudela.com*. Recuperado el 5 de Enero de 2017, de <http://www.etitudela.com/fpm/comind/downloads/asisiemens.pdf>

SIEMENS. (Noviembre de 2009). *SIEMENS*. Recuperado el 22 de Enero de 2017, de <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>

- SIEMENS. (Diciembre de 2009). *SIEMENS*. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829830/v1/GS_STEP7Bas105esES.pdf
- SIEMENS. (Marzo de 2012). *SIEMENS*. Recuperado el 21 de Enero de 2017, de http://www.tecnical.cat/PDF/Siemens/HMI/operating_instructions_hmi_comfort_panels.pdf
- SIEMENS. (2012). *SIEMENS INGENNITY FOR LIFE*. Obtenido de http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumentencenter/sc/ic/Documentsu20Catalogs/SIMATIC_NET_IKPI_chap_06_Spanish_2012.pdf
- SIEMENS. (2013). *AS-Interface Maestro AS-i CM 1243-2 y módulo de desacoplamiento de datos AS-i DCM 1271 para SIMATIC S7-1200*. ALEMANIA.
- SIEMENS. (2016). *www.siemens.com*. Recuperado el 2016 de Julio de 2016, de <http://www.siemens.com/industrial-controls/catalogs>
- SIEMENS. (2017). *SIEMENS INDUSTRY MALL*. Recuperado el 5 de Marzo de 2017, de <https://mall.industry.siemens.com/mall/it/it/Catalog/Product/6GK1901-1BB11-2AA0>
- SIEMENS. (s.f.). *SIMATIC NET AS-Interface – Introducción y (Tercera ed.)*.
- SIEMENSAG. (2009). *www.siemens.com/as-interface*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de www.siemens.com/as-interface

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo de titulación fue desarrollado por los señores: **CHILQUINGA ALVAREZ LEONARDO SALVADOR** y **EUGENIO EUGENIO RICARDO ISRAEL**, bajo nuestra supervisión.

Aprobado por:



Ing. Wilson Sánchez
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Katya Torres
DIRECTORA DE CARRERA



Dr. Rodrigo Vaca
SECRETARIO ACADÉMICO