

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA INTEGRACIÓN DE REDES DE CAMPO INDUSTRIAL: MODBUS, PROFIBUS, PARA ACTUADORES ELÉCTRICOS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

RICARDO DANIEL DEFAS BRUCIL
ricardodefes@gmail.com

ANDRÉS PATRICIO GUZMÁN HERRERA
guzmanh.andres@gmail.com

DIRECTOR: Ing. Yadira Lucía Bravo Narvárez, MSc.

Quito, Junio 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Ricardo Daniel Defas Brucil y Andrés Patricio Guzmán Herrera, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Ricardo Defas B.

Andrés Guzmán H.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ricardo Daniel Defas Brucil y Andrés Patricio Guzmán Herrera, bajo mi supervisión.

Ing. Yadira Lucía Bravo Narváez, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios, por haberme dado lo más importante: Vida y Salud.

Agradezco a mis Padres, Nancy y Patricio, por su amor incondicional, por haberme enseñado valores y por darme las herramientas necesarias para alcanzar y culminar con éxito una etapa más de mi vida. Siempre serán mi inspiración para salir adelante.

Agradezco a mis queridos hermanos, Cristina, Alex y Jimmy, a mis sobrinos Marjorie y Jhoan, por estar siempre juntos como familia. Espero que eso nunca cambie.

Agradezco a Andrés, por haber sido un excelente compañero de trabajo a lo largo de este proyecto.

Agradezco a todas mis amistades universitarias, es especial aquellos con quienes pude compartir momentos inolvidables hasta el final de esta etapa.

Ricardo

AGRADECIMIENTO

Primero, agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida. A mi Madre Dolorosa, por iluminar y bendecir mi camino cada día y en cada decisión que he tomado.

A mis padres, por todo el esfuerzo realizado para culminar mis estudios. Gracias por apoyar mis decisiones, por caminar junto a mí en cada etapa de mi vida, por ser ejemplo de lucha y por enseñarme a no rendirme jamás.

A mi hermano, Jaime, en quien siempre puedo contar y confiar.

A Ricardo, una gran persona y amigo con quien formamos un gran equipo de trabajo.

Agradezco al personal de AUMA A&C por el apoyo brindado durante el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Yadira Bravo, por su tiempo y dedicación durante el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos por todo su apoyo.

Andrés

DEDICATORIA

Este logro va dedicado a mis héroes, a aquellas personas que nunca dejaron de confiar en mí, que me han apoyado incondicionalmente, que me han enseñado valores y principios, y que, por sobre todas las cosas me demuestran que el amor a la familia es algo incondicional.

Con todo mi cariño y estima, este logro va dedicado a mis padres: Patricio y Nancy.

Ricardo

DEDICATORIA

A mis padres por su esfuerzo, dedicación, consejos y todos los valores que me han inculcado.

Andrés

CONTENIDO

RESUMEN	I
PRESENTACIÓN	II
CAPÍTULO 1	1
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	1
1.2 TOPOLOGÍAS DE RED	1
1.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL [2]	4
1.3.1 BUS DE CAMPO	4
1.3.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS BUSES DE CAMPO	5
1.3.1.2 TIPOS DE BUSES DE CAMPO	5
1.4 PROTOCOLO MODBUS	6
1.4.1 INTRODUCCIÓN [5]	6
1.4.2 CARACTERÍSTICAS [6]	6
1.4.3 MODOS DE TRANSMISIÓN [7]	7
1.4.3.1 MODBUS ASCII	7
1.4.3.2 MODBUS RTU	8
1.4.4 TRAMA [6]	9
1.4.4.1 NÚMERO DE ESCLAVO	9
1.4.4.2 CÓDIGO DE OPERACIÓN	9
1.4.4.3 DIRECCIÓN, DATOS Y SUBFUNCIONES	10
1.4.4.4 CONTROL DE ERRORES LRC O CRC	10
1.4.5 MODBUS TCP/IP	10
1.4.6 MODELO DE DATOS EN MODBUS [10]	11
1.5 PROTOCOLO PROFIBUS	12
1.5.1 INTRODUCCIÓN	12
1.5.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PROFIBUS	12
1.5.3 VERSIONES DE PROFIBUS	13
1.5.3.1 PROFIBUS FMS	13
1.5.3.2 PROFIBUS DP	13
1.5.3.3 PROFIBUS PA	14
1.5.4 MODELO OSI PARA PROFIBUS	14
1.5.5 MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS	15
1.5.5.1 RS-485	15

1.5.5.1.1	CABLES.....	15
1.5.5.1.2	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	16
1.5.5.1.3	CONECTORES.....	17
1.5.5.1.4	TOPOLOGÍA SOPORTADA.....	18
1.5.6	PROFIBUS DP	18
1.5.6.1	VERSIONES DE PROFIBUS DP	20
1.5.6.2	TIPOS DE DISPOSITIVOS DE UNA RED PROFIBUS	20
1.5.6.3	CAPA DE ENLACE DE DATOS.....	21
1.5.6.3.1	CONTROL DE ACCEDO AL MEDIO (MAC).....	21
1.5.6.3.2	SERVICIOS DE TRANSMISIÓN	22
1.5.6.3.3	ESTRUCTURA DE TRAMAS [16]	22
1.5.6.3.4	TRANSMISIÓN DE DATOS	24
1.5.6.4	FUNCIONES BÁSICAS DE PROFIBUS DP	25
1.5.6.5	FUNCIONES EXTENDIDAS DE PROFIBUS DP	25
1.5.7	ARCHIVOS GSD.....	25
CAPÍTULO 2	.....	27
2. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	.....	27
2.1	ACTUADORES ELÉCTRICOS	27
2.2	SIMA.....	28
2.3	ARQUITECTURA DE RED	29
2.4	DISEÑO DE RED.....	30
2.4.1	SELECCIÓN DE EQUIPOS.....	30
2.4.1.1	SELECCIÓN DEL PLC	30
2.4.1.1.1	CPU 1212C [28].....	30
2.4.1.1.2	MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM 1241	31
2.4.1.1.3	MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM 1243-5.....	32
2.4.1.1.4	MÓDULO DE SWITCH COMPACTO CSM 1277	33
2.4.1.1.5	FUENTE MODULAR DE VOLTAJE	34
2.5	CONFIGURACIÓN DEL CPU 1212C	35
2.6	COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO USANDO PROTOCOLO MODBUS RTU.....	37
2.6.1	DESCRIPCIÓN DE DATOS DEL PROCESO PARA RED MODBUS.....	37
2.6.1.1	REGISTROS DE ENTRADA DE ACTUADORES AUMA	37
2.6.1.2	REGISTROS DE SALIDA DE ACTUADORES AUMA.....	38
2.6.2	DETERMINACIÓN DE TRÁFICO DE DATOS EN LA RED.....	39

2.6.3	DETERMINACIÓN DE LA ARQUITECTURA RED MODBUS.....	40
2.6.4	BLOQUES DE COMUNICACIÓN (INSTRUCCIONES) DEL S7-1200 PARA CREAR UNA RED MODBUS	40
2.6.4.1	INSTRUCCIÓN MB_COMM_LOAD [35].....	41
2.6.4.2	INSTRUCCIÓN MB_MASTER [35].....	42
2.6.5	CONFIGURACIÓN DE MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM-1241	44
2.6.6	IMPLEMENTACIÓN DE FUNCIONES MODBUS EN SIMATIC S7-1200 [35]	46
2.6.6.1	LECTURA DE LAS SEÑALES DEL ACTUADOR USANDO LA FUNCIÓN MODBUS 04.....	47
2.6.6.2	ESCRITURA DE COMANDOS DE OPERACIÓN A LOS ACTUADORES USANDO LA FUNCIÓN MODBUS 16	50
2.6.6.3	DIAGRAMA DE FLUJO DE COMUNICACIÓN ENTRE S7-1200 Y ACTUADORES MODBUS	51
2.7	COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO PROFIBUS DP	53
2.7.1	CONFIGURACIÓN DEL ACTUADOR AUMA COMO ESCLAVO DP EN SIMATIC S7-1200	53
2.7.1.1	AÑADIR ARCHIVO GSD [37]	53
2.7.2	CREACIÓN DE LA RED PROFIBUS EN EL TIA PORTAL V13.....	55
2.7.2.1	CONEXIÓN LÓGICA DE LA RED Y CREACIÓN DE LA SUBRED.....	55
2.7.2.2	CONFIGURACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA RED [39]	56
2.7.3	AJUSTES DE PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN EN EL ESCLAVO	56
2.7.3.1	ASIGNACIÓN DE DIRECCIÓN DE LA ESTACIÓN	56
2.7.3.2	CREACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE BLOQUES DE MEMORIA EN EL MÓDULO ESCLAVO DP	57
2.7.3.2.1	TIPOS DE BLOQUES	57
2.7.3.2.2	CREACIÓN DE BLOQUES DE MEMORIA EN EL TIA PORTAL.....	58
2.7.4	DESCRIPCIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE LOS ACTUADORES.....	60
2.7.4.1	BYTES DE ENTRADA.....	60
2.7.4.2	BYTES DE SALIDA	61
2.7.5	FUNCIONES DEL S7-1200 (INSTRUCCIONES) PARA ACCESO A DATOS CONSISTENTES.....	61
2.7.5.1	DATOS CONSISTENTES [40].....	61
2.7.5.2	INSTRUCCIÓN DPRD_DAT [35].....	62
2.7.5.3	INSTRUCCIÓN DPWR_DAT [35].....	62
2.7.6	LECTURA DE BYTES DE ENTRADA DE ACTUADOR AUMATIC AC 01.2 ..	63
2.7.7	ESCRITURA DE BYTES DE SALIDA DEL ACTUADOR AUMATIC AC 01.2.	64

CAPÍTULO 3	66
3. DESARROLLO DEL SOFTWARE E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL	66
3.1 COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO MODBUS TCP/IP	66
3.1.1 PLANIFICACIÓN DE LA RED MODBUS TCP	66
3.1.1.1 IDENTIFICACIÓN DE CLIENTES Y SERVIDORES DE LA RED	66
3.1.1.2 DIRECCIONAMIENTO DE EQUIPOS EN DE LA RED	67
3.1.2 IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DE RED DE ÁREA LOCAL.....	68
3.1.3 PROGRAMACIÓN DE CLIENTES Y SERVIDORES MODBUS TCP.....	70
3.1.3.1 PLC S7-1200 COMO CLIENTE MODBUS TCP	70
3.1.3.1.1 INSTRUCCIÓN MB_CLIENT [35].....	70
3.1.3.1.2 MÚLTIPLES CONEXIONES CON SERVIDORES TCP.....	72
3.1.3.2 COMUNICACIÓN ENTRE PANTALLA RED LIÓN G306A Y PLC S7-1200	72
3.1.3.3 COMUNICACIÓN ENTRE ESTACIÓN MAESTRA SIMA Y S7-1200	75
3.1.3.3.1 DATOS DEL PROCESO ENTRE SIMA Y S7-1200	76
3.1.3.3.2 CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN MAESTRA SIMA.....	77
3.1.3.3.3 AJUSTES DEL SIMA COMO SERVIDOR.....	78
3.2 DESARROLLO DEL TERMINAL DE VISUALIZACIÓN Y OPERACIÓN	78
3.2.1 HMI.....	78
3.2.1.1 CARACTERÍSTICAS	79
3.2.1.2 FUNCIONES [46].....	79
3.2.1.3 TAREAS [46]	79
3.2.2 TOUCH SCREEN RED LION G306A [47]	80
3.2.3 SOFTWARE CRIMSON 3.0.....	80
3.2.4 DESCRIPCIÓN DE PANTALLAS	81
3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL.....	83
3.3.1 TABLERO DE CONTROL.....	83
3.3.1.1 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL TABLERO.....	84
3.3.1.2 COMPARTIMENTACIÓN	85
3.3.1.3 CONEXIÓN REMOTA DE ACTUADORES DESDE EL TABLERO DE CONTROL	86
3.3.1.4 OPERACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL.....	88
3.3.2 CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE LA RED	88
3.3.3 PUESTA EN MARCHA DE LOS ACTUADORES ELÉCTRICOS PARA LA RED DE CAMPO.....	90

3.3.4	CONEXIÓN DEL CABLE DE BUS DE CAMPO	91
3.3.5	ACTUADORES MODBUS EN ENCADENAMIENTO DE LAZO CERRADO ..	93
CAPÍTULO 4	.....	96
4. PRUEBAS Y RESULTADOS	.....	96
4.1	PRUEBAS	96
4.1.1	PRUEBA DE COMUNICACIÓN EN LA RED DE ÁREA LOCAL	96
4.1.2	PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON MODBUS RTU	97
4.1.3	PRUEBA DE COMUNICACIÓN DE LAZO CERRADO EN MODBUS RTU....	98
4.1.3.1	PRUEBA CON CANAL A Y CANAL B CONECTADOS EN EL TABLERO DE CONTROL	98
4.1.3.2	PRUEBA CON CANAL A Y CANAL B CONECTADOS EN EL TABLERO DE CONTROL Y ACTUADOR 4 DESCONECTADO DE LA COMUNICACIÓN.	99
4.1.3.3	PRUEBA CON CANAL A DESCONECTADO Y CANAL B CONECTADO EN EL TABLERO DE CONTROL.....	99
4.1.3.4	PRUEBA CON CANAL A CONECTADO Y CANAL B DESCONECTADO EN EL TABLERO DE CONTROL.....	100
4.1.3.5	PRUEBA DE TIEMPOS DE COMUNICACIÓN INTERCAMBIANDO CANALES EN EL TABLERO DE CONTROL	100
4.1.4	PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON PROFIBUS DP	100
4.1.5	PRUEBA DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP	101
4.2	RESULTADOS	101
4.2.1	RESULTADO DE COMUNICACIÓN EN LA RED DE ÁREA LOCAL	101
4.2.2	RESULTADO DE COMUNICACIÓN CON MODBUS RTU	102
4.2.3	RESULTADO DE COMUNICACIÓN DE LAZO CERRADO EN MODBUS RTU	105
4.2.3.1	RESULTADO CON CANAL A Y CANAL B CONECTADOS EN EL TABLERO DE CONTROL.....	105
4.2.3.2	RESULTADO CON CANAL A Y CANAL B CONECTADOS EN EL TABLERO DE CONTROL Y ACTUADOR 4 DESCONECTADO DE LA COMUNICACIÓN.	106
4.2.3.3	RESULTADO CON CANAL A DESCONECTADO Y CANAL B CONECTADO EN EL TABLERO DE CONTROL	106
4.2.3.4	RESULTADO CON CANAL A CONECTADO Y CANAL B DESCONECTADO EN EL TABLERO DE CONTROL.....	107

4.2.3.5	RESULTADO DE TIEMPOS DE COMUNICACIÓN INTERCAMBIANDO CANALES EN EL TABLERO DE CONTROL	108
4.2.4	RESULTADO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS DP	108
4.2.5	RESULTADO DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP	112
CAPÍTULO 5	.....	114
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	114
5.1	CONCLUSIONES	114
5.2	RECOMENDACIONES	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	118

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se diseña e implementa un módulo didáctico para integrar redes de campo industrial mediante protocolos Modbus y Profibus para Actuadores Eléctricos. Su función principal es monitorizar los parámetros internos de los equipos de la red, además de realizar el control de operación sobre los mismos.

La red está conformada por Actuadores Eléctricos de la marca AUMA y SIPOS, además de una estación maestra llamada SIMA.

El módulo didáctico está conformado por dos elementos principales, necesarios para el control del sistema: El PLC Siemens S7-1200, que actúa como maestro principal y gestiona las comunicaciones con todos los equipos de la red, y una Pantalla Táctil Red Lion G306A, la cual visualiza, monitoriza y opera a los equipos de forma remota.

Para lograr integrar los actuadores al sistema de control, al S7-1200 se añade el módulo de comunicación CM 1241 para Modbus RTU y el módulo de comunicación CM 1243-5 para Profibus DP. La programación y configuración de los parámetros necesarios para implementar los protocolos se hace mediante el software TIA PORTAL.

El S7-1200, la estación maestra SIMA y la pantalla Red Lion tienen un puerto de comunicación Ethernet integrado en su estructura. Mediante este puerto, se crea una red de área local para establecer comunicación entre el PLC y los equipos restantes a través del protocolo Modbus TCP bajo la arquitectura Cliente/Servidor. Para la programación de la Pantalla Red Lion se utiliza el software Crimson 3.0. Y para la SIMA se usa el software SIMASoft.

Además de las vías de comunicación antes mencionadas, el módulo didáctico también cuenta con una interfaz de salidas discretas, de forma que un actuador puede ser comandado directamente sin hacer uso de la línea de bus.

PRESENTACIÓN

En el primer capítulo se hace una introducción general sobre protocolos de comunicación presentes en la industria de la automatización y de los tipos de topologías de red más comunes. Se hace una descripción detallada sobre los protocolos Modbus y Profibus indicando sus características principales, tipos de arquitecturas, formas de la trama y modelo de datos que utilizan.

En el Capítulo 2 se realiza la selección de equipos de control necesarios para la construcción de la red, con sus características técnicas y ventajas para su selección. Además se diseña y se implementa los protocolos Modbus RTU y Profibus DP para comunicarse con los Actuadores Eléctricos utilizando los bloques de funciones que incluye el PLC S7-1200 a través del software TIA PORTAL V13.

En el Capítulo 3 se describe de forma general a los equipos que son comandados por el modulo didáctico, como los actuadores eléctricos AUMA y la estación Maestra SIMA. También se hace la programación de los clientes y servidores de la red de área local que se comunican bajo el protocolo Modbus TCP. Por último se describe la implementación del tablero de control, con los elementos de maniobra y protección utilizados.

En el Capítulo 4 se describen las pruebas realizadas para validar el funcionamiento de los protocolos de comunicación implementados, y mediante el HMI se visualizan los resultados obtenidos ante diferentes situaciones a las que es sometido el sistema de control.

Finalmente, en el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas después de finalizar el proyecto.

CAPÍTULO 1

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Un protocolo de comunicación es un conjunto de instrucciones que permiten la comunicación de dos o más equipos con el objetivo de transmitir información entre los elementos que conforman una sola red. Estos definen la semántica, la sintaxis y la sincronización que requiere emplearse en la comunicación, así como también es posible recuperar datos perdidos que ocurren durante el intercambio de información [1].

Con el paso del tiempo, la tecnología de las comunicaciones ha mejorado, implementando de esta manera nuevos protocolos más útiles que brindan mayores ventajas en el intercambio de información.

1.2 TOPOLOGÍAS DE RED

La topología o lógica de red es la forma física en la que están conectados todos los equipos que conforman la red. Conocida también como arquitectura de red, esta determina únicamente la configuración de conexión entre nodos.

Otras características, como la distancia entre nodos, las interconexiones físicas, las tasas de transmisión y los tipos de señales no pertenecen a la topología de red, sino al protocolo de comunicación que conforma la misma [2].

A nivel industrial, se tiene diferentes maneras físicas o diferentes topologías para realizar la conexión de los equipos que conforman una red:

- **Red en anillo:** Como su nombre lo indica, la red tiene forma de anillo, es decir que cada estación o esclavo, se conecta a la siguiente y para culminar la red,

la última estación se conecta a la primera. Para esto cada equipo dentro de la red debe tener un receptor y un transmisor para cumplir la función de repetidor y enviar la señal a la siguiente estación [3].

La red en anillo presenta la ventaja que tiene una arquitectura fácil de implementarla, pero con la desventaja que si un nodo se pierde, toda la red en anillo se pierde de igual manera, excepto en casos especiales. En la Figura 1.1, se muestra un esquema general de la red en anillo, en el cual se indica como es la distribución de cada estación.

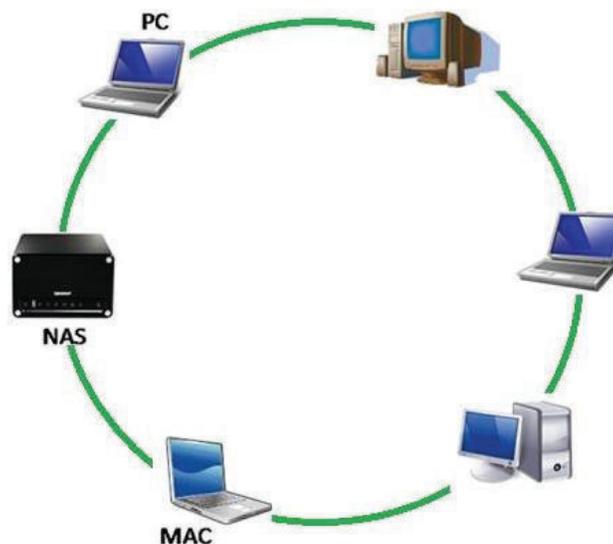


Figura 1.1. Red con topología en anillo [3]

- **Red en estrella:** En esta topología cada estación se encuentra conectada a un punto central y la comunicación debe ser transmitida necesariamente a través de ese punto. Se presenta la principal ventaja que no existe mucho tráfico de información.

Generalmente es utilizada para redes de área local con el implemento de *switch* o *hub*. La principal desventaja está en que si alguno de los elementos mencionados falla, toda la red de comunicación deja de transmitir.

En la Figura 1.2, se puede observar el esquema de conexión en topología de estrella.



Figura 1.2. Red de topología en estrella [3]

- **Red en bus:** Esta topología se caracteriza por poseer un solo canal de comunicaciones, como se puede observar en la Figura 1.3.

Presenta la ventaja que cada estación puede ver las señales de las demás, en caso que así se desee. Puede ser también una desventaja, en vista que una conexión realizada con esta topología puede producir inconvenientes de tráfico y colisiones de red.

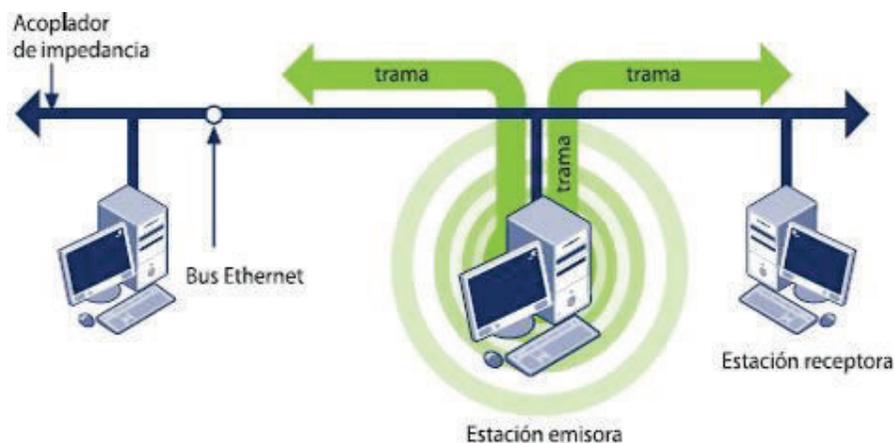


Figura 1.3. Red con topología en bus [3]

1.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN INDUSTRIAL [2]

Los protocolos de comunicación han ido evolucionando rápidamente a medida que la tecnología electrónica ha avanzado, principalmente en lo que se refiere a microprocesadores, los cuales, mediante su uso, permiten enlazar varias etapas incomunicadas de un proceso.

Los protocolos de comunicación industrial presentan además ventajas como:

- Mayor precisión en las mediciones
- Mayor y mejor disponibilidad de información
- Diagnóstico remoto

La integración de un proceso, mediante el uso de los protocolos de comunicación industrial, da lugar a estructuras de redes industriales, que en base a las funciones requeridas, se agrupan en:

- Buses de campo
- Redes LAN
- Redes WAN

1.3.1 BUS DE CAMPO

Los buses de campo tienen la función principal de monitorizar y controlar las variables de un proceso mediante la transmisión de información.

El uso de buses de campo en la industria, tiene la ventaja de sustituir el cableado entre los elementos de un proceso y el tablero de control por conexiones montadas sobre un bus serie. En la Figura 1.4, se puede observar la diferencia de un tablero de control sin uso de buses de campo (a), con un tablero de control usando buses de campo (b).

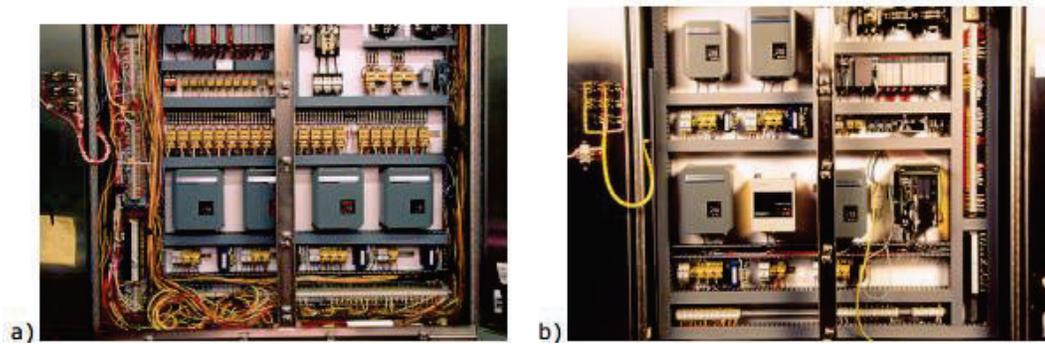


Figura 1.4. Tablero de control a) sin buses de campo, b) con buses de campo [4]

1.3.1.1 Características de los buses de campo

Las principales características que tienen los buses de campo son:

- a) Transmisión de datos en tiempo real
- b) Transmisión serie sobre un bus digital entre controladores y dispositivos de entrada-salida para permitir dispositivos esclavos inteligentes
- c) Capacidad de control de error y manejo de tráfico
- d) Bajo costo de instalación

1.3.1.2 Tipos de buses de campo

Existen diferentes tipos de buses de campo para automatizar procesos industriales, estos son:

- Hart
- Profibus
- Foundation Fieldbus
- Modbus
- Device Net

En este caso, se analizará más adelante con mayor detalle en buses de campo Modbus y Profibus.

1.4 PROTOCOLO MODBUS

1.4.1 INTRODUCCIÓN [5]

Modbus es un protocolo de mensajería de la capa de aplicación, es decir que ocupa el nivel 7 del modelo OSI. Tiene como principal función permitir la comunicación entre dispositivos de campo y control que estén conectados en diferentes tipos de buses o redes.

El modo de comunicación del protocolo Modbus es mediante el mecanismo de solicitud/respuesta utilizando códigos de funciones.

Mediante el uso de Modbus, se puede usar diferentes dispositivos con el objetivo de realizar una operación remota, estos pueden ser: PLC, HMI, Panel de Control, dispositivos de entradas y salidas, etc.

El protocolo Modbus puede transmitir mediante redes de comunicación RS-485 o RS-232. Actualmente se puede implementar también mediante TCP/IP sobre red Ethernet.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS [6]

Modbus, actualmente, es un protocolo usado en muchos procesos industriales. Por sus grandes ventajas que presenta, es considerado un protocolo muy fiable al momento de realizar control sobre diferentes dispositivos.

Entre todas las ventajas y características que presenta el uso del protocolo Modbus, se puede resaltar las siguientes:

- a) Al funcionar en modo maestro/esclavo, el maestro tiene total control sobre las comunicaciones con los esclavos.
- b) En toda la red, se puede disponer desde 1 hasta 247 esclavos. Cada esclavo posee una dirección única.

- c) El método de transmisión entre el maestro y los esclavos puede ser: *Unicast* (uno a uno) o *Broadcast* (uno a todos).
- d) Modbus usa códigos de funciones para enviar la operación a realizar por él o los esclavos, y a su vez los esclavos ejecutan la operación y envían de vuelta información o datos hacia el dispositivo maestro.
- e) Es un protocolo público, compatible con una gran variedad de dispositivos electrónicos.
- f) Es fácil de implementarlo, razón por la cual es un protocolo que no requiere de gran costo de instalación.

1.4.3 MODOS DE TRANSMISIÓN [7]

Los modos de transmisión que pueden ser configurados en los controladores para que puedan enviar los paquetes de datos entre maestros y esclavos son dos: ASCII o RTU.

Dicha configuración, junto a otros parámetros, debe ser igual entre todos los dispositivos que pertenecen a la red Modbus.

1.4.3.1 Modbus ASCII

ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*). Este modo de transmisión se caracteriza principalmente por realizar la comunicación por medio de caracteres ASCII.

Cada byte (8-bits) de un mensaje equivale a dos caracteres ASCII. Y presenta una ventaja que permite intervalos de tiempo de hasta 2 segundos que suceden entre caracteres sin causar error.

Sistema de codificación

- Hexadecimal, Caracteres ASCII '0'...'9', 'A'...'F'
- Un carácter hexadecimal contenido en cada carácter ASCII del mensaje.

Bits

- 1 bit de inicio
- 7 bits de datos. Bits menos significativos se envían primero.
- 1 bit de paridad par o impar. Ningún bit si no hay paridad.
- 1 bit de parada si hay paridad. 2 bits de parada si no hay paridad.

Chequeo de errores

- Chequeo de Redundancia Longitudinal (LRC).

En la Figura 1.5, se muestra la codificación de la trama en modo ASCII.

⋮ (3AH)	Nº Esclavo (00-3FH)	Código de Operación	Subfunciones, Datos	LRC(16) H L	CR (0DH)	LF (0AH)
------------	---------------------------	---------------------------	---------------------	----------------	-------------	-------------

Figura 1.5. Codificación ASCII [8]

1.4.3.2 Modbus RTU

RTU (*Remote Terminal Unit*). Este modo de transmisión es el más usado del protocolo. Se diferencia principalmente del modo ASCII en que aquí la comunicación se realiza por medio de datos binarios.

Cada byte (8-bits) de un mensaje contiene dos caracteres hexadecimales de 4 bits.

La principal ventaja que presenta es que tiene mayor rendimiento de datos que ASCII en la misma velocidad de transmisión, debido a su mayor densidad de caracteres. Los datos deben ser transmitidos en manera continua.

Sistema de codificación

- 8 bits binarios de 0 a 255.
- 2 caracteres hexadecimales contenido en cada 8 bits del mensaje.

Bits

- 1 bit de inicio
- 8 bits de datos. Bits menos significativos se envían primero.
- 1 bit de paridad par o impar. Ningún bit si no hay paridad.
- 1 bit de parada si hay paridad. 2 bits de parada si no hay paridad.

Chequeo de errores

- Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC).

En la Figura 1.6, se muestra la codificación de la trama en modo RTU.

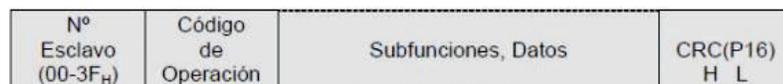


Figura 1.6. Codificación RTU [8]

1.4.4 TRAMA [6]

1.4.4.1 Número de Esclavo

Este campo pertenece al número del esclavo destinatario de la trama. Como se mencionó anteriormente, este puede ser desde la dirección número 1 hasta la dirección número 247.

Cuando los esclavos envían la respuesta, este campo pertenece a su propia dirección, indicando al dispositivo maestro quien envía la información.

1.4.4.2 Código de Operación

Como el nombre indica, este campo envía que operación se desea que realice el esclavo. Puede ser de 2 tipos:

- Lectura/Escritura
- Órdenes de Control

Este código también permite que el esclavo realice la confirmación si la operación se realizó correctamente o no.

1.4.4.3 Dirección, datos y Subfunciones

En este campo se envía la información para ejecutar el código de operación seleccionado anteriormente, necesita ciertos parámetros que varían en base a la función que debe realizar.

Los dispositivos esclavo, al momento de responder, pueden enviar la trama sin contener este campo de datos.

1.4.4.4 Control de errores LRC o CRC

Dependiendo el modo de transmisión, se usa el sistema de detección de errores.

En caso de ASCII, el LRC representa la suma de comprobación del mensaje. En RTU, el CRC requiere de un cálculo mediante una fórmula polinómica.

1.4.5 MODBUS TCP/IP

El protocolo Modbus TCP es una variante o una versión de la familia de protocolos Modbus que permite la implementación sobre redes Ethernet. Muy usada para la transmisión de mensajes Modbus bajo el protocolo TCP/IP con el fin de controlar y supervisar el equipo de automatización.

Al ser una versión del protocolo Modbus, la trama no presenta mucha complejidad, ya que dentro de la capa de aplicación TCP/IP encapsula la trama base del protocolo Modbus, tal como se puede observar en la Figura 1.7.

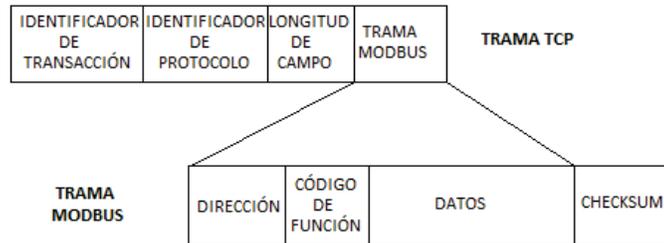


Figura 1.7. Encapsulamiento de la trama Modbus en TCP/IP [9]

El principal motivo para el desarrollo de esta versión de Modbus es el poder utilizar el internet como medio de comunicación, por esta razón, el uso de Modbus TCP/IP presenta ventajas como: [9]

- Aumentar la conectividad debido a que se puede implementar sobre cualquier dispositivo que soporte sockets TCP/IP.
- Poder direccionar un dispositivo desde cualquier parte del mundo.
- No requerir el uso de herramientas de configuración compleja, simple de expandir.
- Poder comunicar una red Modbus existente mediante convertidores Modbus a Modbus TCP/IP.

Modbus TCP/IP es un protocolo abierto y presenta bajo costo a nivel de hardware, por lo que cada vez va creciendo su implementación a nivel industrial.

1.4.6 MODELO DE DATOS EN MODBUS [10]

El modelo de datos del protocolo Modbus se muestra en la Tabla 1.1. Este modelo está formado por cuatro grupos de datos entre los que se distingue: *Output Coils* (Salidas discretas), *Input Coils* (Entradas Discretas), *Output Registres* (Registros de Salida) e *Input Registres* (Registro de entrada).

Esta distribución se hace debido a que en un sistema de automatización es común definir ciertos valores como entradas (ej. posición actual de la válvula, señales *on/off* de alarmas) y salidas (ej. valor de consigna de posición). Los dos variantes principales de datos son bits y palabras [11].

Tabla 1.1. Tabla de datos en Modbus [10]

Dirección Modbus	Nombre en la Tabla de Datos
1 – 9999	“Output Coils” (Lectura/Escritura)
10001 – 19999	“Input Coils” (Lectura)
30000 – 39999	“Input Registers” (Lectura)
40001 – 49999	“Holding Registers” (Lectura/Escritura)

1.5 PROTOCOLO PROFIBUS

1.5.1 INTRODUCCIÓN

Profibus (*Process Field Bus*) fue un proyecto desarrollado entre los años 1987 y 1990 gracias al apoyo de varias empresas alemanas, que en su esfuerzo por establecer un nuevo protocolo de comunicación que permitiese interconectar diferentes equipos de diferentes fabricantes de manera independiente, crearon un sistema de bus de campo bit-serial capaz de establecer comunicaciones complejas viables en la industria de la automatización.

Profibus se estableció como estándar de comunicaciones para el intercambio de datos a alta velocidad, está basado en la norma europea EN50170 y actualmente es considerado como el bus de campo más veloz para transmisión de datos [12].

1.5.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PROFIBUS

Entre las principales características que presenta Profibus se describen las siguientes:

- Es un protocolo estándar y abierto.

- Ofrece alto grado de compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes y/o generación.
- La comunicación entre los dispositivos de la red es bidireccional y es soportada a través de medios como: conductor de dos hilos o fibra óptica.
- Es un sistema robusto, ofrece alto nivel de seguridad en la información.
- Presenta gran capacidad de procesamiento de diagnóstico entre el sistema de control y los dispositivos de campo.
- Es de bajo costo, reduce considerablemente el cableado y la instalación de la red.
- Es posible añadir o intercambiar un dispositivo en la red sin interrupción en el sistema de operación, e incluso con energía [13].

1.5.3 VERSIONES DE PROFIBUS

De acuerdo a la aplicación y sus características, la familia Profibus está dividida en tres versiones compatibles entre sí.

1.5.3.1 Profibus FMS

Profibus FMS (*Field Message Specification*) es diseñado para tareas de comunicación extensivas y complejas a nivel de célula. La velocidad de transferencia de datos es mediana [14].

1.5.3.2 Profibus DP

Profibus DP (*Decentralized Periphery*) es más universal. Es destinado para comunicación a tiempo crítico entre sistemas de automatización y dispositivos periféricos a nivel de campo.

Reemplaza la transmisión de señales paralelas de 24 V o de 0 a 20 mA utilizado para medir señales [15].

1.5.3.3 Profibus PA

Profibus PA (*Process Automation*) es utilizado en procesos de instrumentación y monitoreo. Permite que sensores y actuadores sean conectados en una línea de bus común, aún en áreas con seguridad intrínseca (zonas con riesgo de explosión).

1.5.4 MODELO OSI PARA PROFIBUS

La arquitectura del protocolo Profibus es orientada por el modelo de referencia ISO/OSI (*Open System Interconnection*), según el estándar internacional ISO 7498. Este modelo separa el protocolo en siete capas diferentes (*layers*), y cada una es asignada a una tarea específica. Profibus hace uso solamente de tres de estas capas.

Primero, en la **capa física (PHY, layer 1)** se define las tecnologías de transmisión presentes. El medio más común utilizado en Profibus es por cable de par trenzado, el cual cumple con el estándar RS-485. La **capa de enlace de datos (FDL, layer 2)** define el método de acceso al bus, incluyendo la seguridad de datos. Para Profibus esta capa es completada a través del FDL (*Field Bus Data Link*). Finalmente, la **capa de aplicación (layer 3)** se encarga de definir las funciones de la aplicación. En adición, Profibus incluye en el nivel superior la **capa de usuario** para los perfiles FMS, DP, PA como se observa en la Figura 1.8 [13],[16].

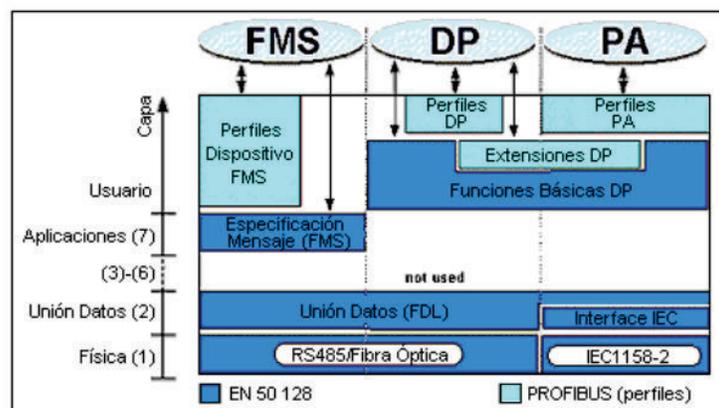


Figura 1.8. Arquitectura protocolar de Profibus [17]

1.5.5 MEDIOS FÍSICOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Profibus establece tres diferentes tecnologías de transmisión: el más común aplicado en la industria es el **cable de par trenzado**, el cual cumple con el estándar RS-485, por **fibra óptica** y el último denominado **MBP** (*Manchester Bus Power*), el cual incluye seguridad intrínseca y es destinado para lugares donde el ambiente es propenso a explosiones [17].

El estándar RS-485, por ser el medio más popular en redes Profibus y de mayor interés, será descrito a continuación con más detalle.

1.5.5.1 RS-485

RS-485 es un estándar de comunicaciones de bus de campo y es la tecnología de transmisión favorita en redes Profibus debido a su sencillez y bajo costo de instalación. Generalmente comprende aquellas aplicaciones en las cuales se requiere alta tasa de transmisión de datos.

Las características del estándar se presentan a continuación.

1.5.5.1.1 Cables

Como medio físico, el estándar RS-485 utiliza un par trenzado de cobre que admite comunicación semi-duplex (*half-duplex*), que incluye apantallamiento en cada línea de datos con el objetivo de conseguir que el sistema sea inmune a interferencias electromagnéticas.

En el estándar se puede distinguir entre dos tipos de cableado: cable tipo A (para encadenamiento) y cable tipo B (para unión tipo T), cuyas características primordiales son mostradas en la Tabla 1.2 [13].

Tabla 1.2. Especificaciones de Cableado para Redes Profibus [18]

Características	Especificaciones Cable Tipo A	Especificaciones Cable Tipo B
Impedancia Característica	135 a 165 (Ω) a una frecuencia de 3 a 20 (MHz)	135 a 165 (Ω) a frecuencias > 100 (MHz)
Capacitancias del Cable	<30 (pF) por metro	<60 (pF) por metro
Resistencia	<110 (Ω /Km)	-
Área del conductor	Max. 0.34 (mm ²), corresponde a AWG 22.	Max. 0.32 (mm ²), corresponde a AWG 24.
Número de líneas	Par trenzado 1x2 o 2x2 o 1x4 líneas	Par trenzado 1x2 o 2x2 o 1x4 líneas

1.5.5.1.2 Velocidad de Transmisión

Con RS-485 se puede alcanzar velocidades de transmisión desde 9.6 kbps. hasta 1.2 Mbps. dependiendo del tipo de cable que se utilice (Tipo A y Tipo B). La longitud máxima del medio de transmisión dependerá de la tasa de transmisión, se muestra en la Tabla 1.3, y esta podrá variar si se hace uso de repetidores.

Los repetidores son elementos activos cuya función principal es reconstruir la amplitud de señales degradadas o distorsionadas a lo largo del segmento de red [19].

Tabla 1.3. Longitud del bus en función de la velocidad de transmisión [13]

Baud rate (kbit/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500
Cable Tipo A	1200 (m)	1200 (m)	1200 (m)	1000 (m)	400 (m)	200 (m)
Cable Tipo B	1200 (m)	1200 (m)	1200 (m)	600 (m)	200 (m)	-

En todas las aplicaciones con Profibus el dispositivo maestro será el que establezca la velocidad de transmisión y todos los dispositivos esclavos deberán automáticamente reconocer y configurar la misma velocidad.

1.5.5.1.3 Conectores

Para conectarse físicamente a la red, los equipos Profibus son normalmente suplidos con conectores estándar sub-D de 9 pines (DB9), los cuales son usados en gabinetes de control. Las diferencias de conector macho y conector hembra se pueden apreciar en la Figura 1.9.

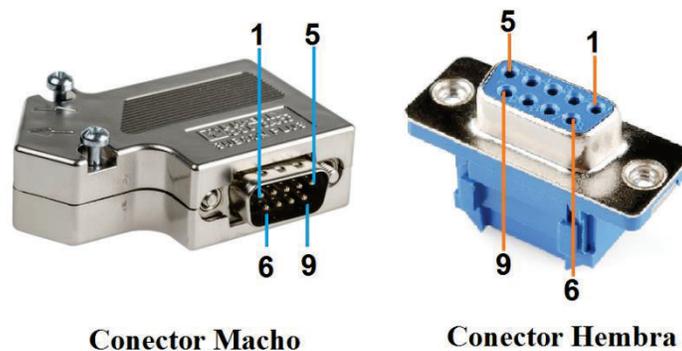


Figura 1.9. Conectores DB9 Macho y Hembra

Los pines que se usa del conector DB9 para la comunicación se describen en la Tabla 1.4:

Tabla 1.4. Pines de conexión para conector DB9 Profibus [19]

Pin	Nombre	Función
3	<i>B-Line (+)</i>	<i>RxD/TxD</i> positivo
5	GND	0 (V) aislado del circuito RS-485
8	<i>A-Line (-)</i>	<i>RxD/TxD</i> negativo

Es esencial no confundir la conexión de los conductores en los pines del conector DB9, para así evitar errores en la comunicación. Por esta razón Profibus establece los siguientes colores para cada una de las líneas: [20]

Rojo – Línea B (RxD/ TxD-Positivo)

Verde – Línea A (RxD/ TxD-Negativo)

Adicionalmente, el estándar recomienda colocar resistencias terminales de 120 (Ω) en ambos extremos el bus con el fin de igualar la impedancia eléctrica característica del par trenzado, y así prevenir reflexiones no deseadas de la señal que pudieran provocar distorsión y pérdida de los datos transmitidos. Si la longitud del bus es pequeña o mediana, se podrá omitir el uso de estas resistencias [21].

En Profibus, algunos de los conectores comerciales existentes ya integran un resistor terminal que puede ser activado externamente mediante un *switch*. En general, los conectores y cables de Profibus proveen una conexión conveniente, lo que significa que los equipos se pueden conectar y desconectar rápidamente y de manera muy sencilla a la línea del bus [20].

1.5.5.1.4 Topología soportada

La topología básica en RS-485 es de bus con terminación en ambos extremos. En esta topología, una misma línea central o bus es cableada a través de todo el sistema. Si ocurre un fallo en cualquier elemento, esta no resulta en la avería de toda la red. Para formar la red de bus Profibus, los dispositivos se conectan en cadena o directamente al cable mediante caja de conexiones (Tipo T).

El número máximo de estaciones que se puede conectar por sección de bus es de 32. Si se hace uso de repetidores, que también son considerados como una estación, hasta un máximo de 127 estaciones serán aceptadas, y de las cuales, solamente 32 estaciones podrán ser consideradas como estaciones maestras [15].

1.5.6 PROFIBUS DP

Actualmente Profibus DP es una de las redes más comunes utilizadas en automatización industrial debido a su simplicidad y generalmente preferido por comunicar a tiempo crítico [22].

El sufijo DP se establece por *Decentralized Periphery*, y define a aquellos dispositivos de campo, como sensores y actuadores, que están conectados

mediante módulos de interfaces remotas (IM) al controlador principal (PLC) a través de un simple conductor de dos hilos (RS-845). Con esto quedó resuelto problemas del pasado, cuando cada dispositivo de campo era cableado individualmente al controlador principal, evidenciando así, alto costo de la instalación del sistema por el cableado excesivo.

En la Figura 1.10, se muestra un esquema de conexión con dispositivos de campo en periferia descentralizada.

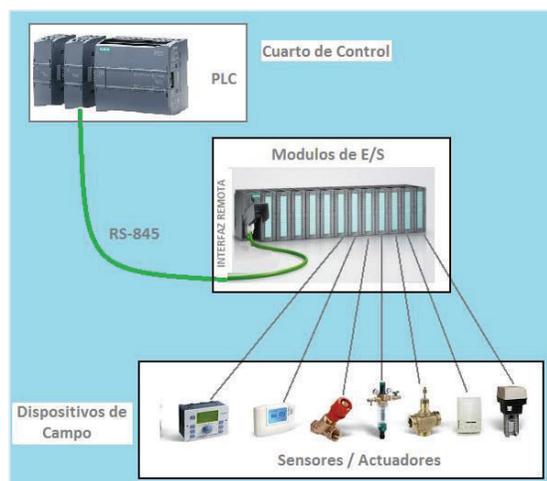


Figura 1.10. Arquitectura de Red con Periferia Descentralizada

- **Ventajas:** Disminuye dramáticamente el costo del cableado de la red.
- **Desventajas:** Si ocurre alguna falla en el cable de dos hilos, se pierde toda la información de los dispositivos del campo.
- **Solución:** Conectar las señales principales al PLC y el resto, usando Profibus DP. Este método se denomina Híbrido. Otra solución es usar sistemas redundantes, es decir, otro módulo de interface (IM) como respaldo en caso de la falla del principal.

1.5.6.1 Versiones de Profibus DP

Profibus DP consta de tres versiones separadas. Cada versión, desde la DP-V0, DP-V1 y DP-V2, fueron desarrolladas de acuerdo al avance tecnológico y a la necesidad de crear aplicaciones que añadan nuevas y mejores características [23].

En la Figura 1.11, se muestra como ha mejorado en sus características el protocolo Profibus.

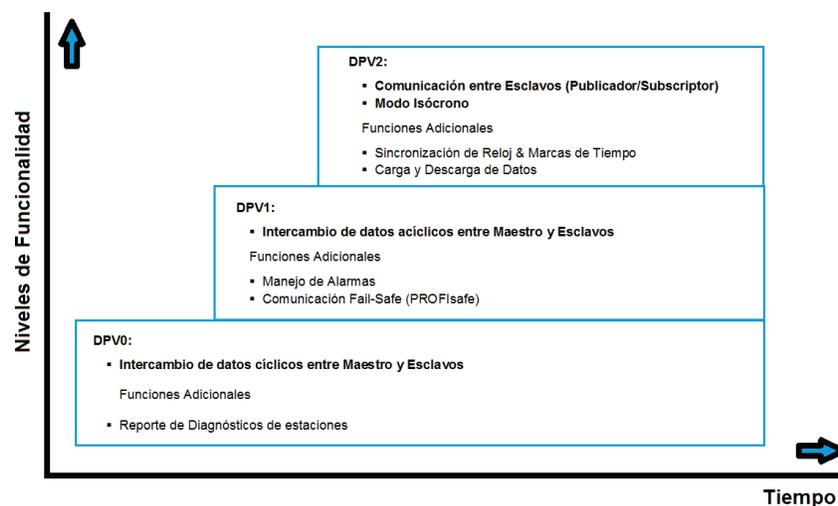


Figura 1.11. Niveles de funcionalidad de Profibus en el tiempo [23]

Lo más importante es que estas tres versiones de Profibus ofrecen flexibilidad y compatibilidad con versiones anteriores. En términos simples, esto significa que un maestro DP-V2 puede controlar a esclavos en versiones DP-V1 o DP-V0.

1.5.6.2 Tipos de dispositivos de una red Profibus

Un sistema DP conforme a la norma Profibus-DP (EN 50170 Vol. 2) consta de las estaciones siguientes:

- **Profibus DP Master Class 1 (DPM1):** Actúa como controlador principal del bus transfiriendo datos cíclicamente. Representa típicamente un PLC e intercambia información con estaciones descentralizadas (esclavos).

- **Profibus DP Master Class 2 (DPM2):** Es usualmente una estación para supervisión (PC). Se considera como un dispositivo de configuración para propósitos de puesta en marcha y diagnóstico, por lo tanto alcanza una comunicación activa con las demás estaciones en un período muy corto de tiempo y de forma acíclica.
- **Esclavo (Slaves):** Son dispositivos periféricos, tales como dispositivos I/O y actuadores. Responden solamente a solicitudes de estaciones maestras [19].

1.5.6.3 Capa de enlace de datos

La coordinación de la comunicación en Profibus DP se lleva a cabo por la capa 2 del modelo ISO/OSI; aquí es donde se especifican las tareas de control de acceso al medio (MAC), integridad y seguridad de datos y transmisión de tramas.

1.5.6.3.1 Control de Acceso al Medio (MAC)

El control de acceso al medio es completado a través del FDL (*Field Bus Data Link*). FDL es un método que combina dos esquemas comunes.

- **Token-passing** para comunicación entre estaciones maestras
- **Master-Slave** para comunicación entre estaciones maestras y dispositivos periféricos (*slaves*).

Obteniendo así el denominado procedimiento de acceso al bus híbrido.

Para lograr este objetivo los dispositivos pertenecientes al bus deberán tener asignados una dirección única que los identifique [22].

En la Figura 1.12, se muestra un sistema híbrido utilizando protocolo Profibus.

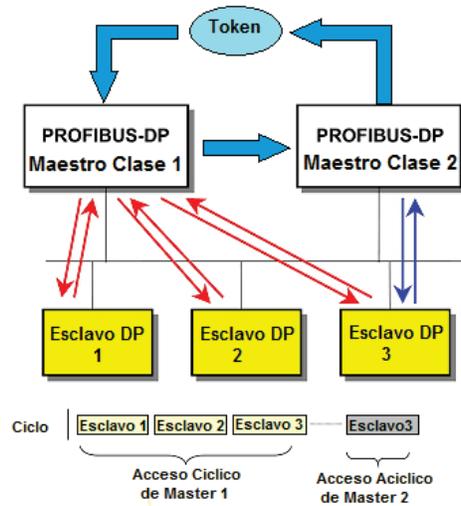


Figura 1.12. Sistema Híbrido con dos Maestros y 3 esclavos [22]

1.5.6.3.2 Servicios de transmisión

La FDL dispone dos tipos de servicios de transmisión de datos:

- **SRD** (*Send and Request Data with replay*): El maestro envía un mensaje y recibe una respuesta por parte del esclavo en un solo ciclo de trama.
- **SDN** (*Send Data with no Acknowledge*). Es usado cuando se envía un mensaje a un grupo determinado de esclavos (*multicast*) o a todos los esclavos de la red (*broadcast*). En consecuencia, los esclavos no responden a este tipo de mensajes [24].

En cuanto a la integridad y seguridad para la transmisión de datos, una red de Profibus se caracteriza por tener un nivel de confiabilidad $HD=4$ (*Hamming Distance*), lo que significa que hasta un máximo de tres errores podrán ser detectados con certeza.

1.5.6.3.3 Estructura de Tramas [16]

En la Tabla 1.5, se define el formato de trama o telegrama para el enlace de comunicación en el bus.

Tabla 1.5. Tipos de Trama para Profibus DP [25]

Trama	Formato de Tramas										
<p>Trama con campo de datos de tamaño variable</p>	<table border="1" data-bbox="576 352 1367 499"> <tr> <td>SD2</td> <td>LE</td> <td>LEr</td> <td>SD2</td> <td>DA</td> <td>SA</td> <td>FC</td> <td>DU (1-246 bytes)</td> <td>FCS</td> <td>ED</td> </tr> </table> <p>Delimitador de Inicio tipo 2 (68H). La mayoría de servicios utiliza este tipo de comando debido a la flexibilidad de tamaño de campo de datos.</p>	SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DU (1-246 bytes)	FCS	ED
SD2	LE	LEr	SD2	DA	SA	FC	DU (1-246 bytes)	FCS	ED		
<p>Trama de tamaño fijo sin campo de datos</p>	<table border="1" data-bbox="768 667 1172 720"> <tr> <td>SD1</td> <td>DA</td> <td>SA</td> <td>FC</td> <td>FCS</td> <td>ED</td> </tr> </table> <p>Delimitador de Inicio tipo 1 (10H). Para servicios de mantención de la red e intercambio de datos cuando no hay valores de escritura.</p>	SD1	DA	SA	FC	FCS	ED				
SD1	DA	SA	FC	FCS	ED						

Una trama de Profibus puede tener hasta 255 bytes (hasta 246 bytes de datos y 9 bytes de encabezamiento). Las abreviaturas de los campos de la trama son presentadas a continuación:

- **SD:** Delimitador de inicio (*Start Delimiter*). Además, indica el formato general de la trama.
- **LE & LEr:** Longitud del trama, del campo DA hasta DU (*Length*). LE es repetido en LEr para protección redundante.
- **DA:** Dirección destino (*Destination Address*) y **SA** Dirección fuente (*Source Address*). Las direcciones validas son desde 0 a 127 (00H...7FH). La dirección 126 es reservada para propósitos de puesta en marcha, y la 127 es usada como dirección *broadcast*, la cual es reconocida por todos los esclavos de la red.
- **FC:** Código de la función (*Function Code*). Especifica el tipo de trama (petición, respuesta y reconocimiento), tipo de estación (activa o pasiva/ maestro o esclavo), prioridad y reconocimiento de trama (exitosa o no exitosa).

- **DU:** Unidad de datos, de tamaño 1 hasta 246 (*Data Unit for DP services*)
- **FCS:** Byte de chequeo de trama (*Frame Checking Sequence*)
- **ED:** Delimitador de fin de telegrama, valor 16H. (*End Delimiter*).

1.5.6.3.4 Transmisión de Datos

La transmisión de datos normalmente se realiza en ciclos de tiempo regulares, definido por: la tasa de comunicación configurada, cantidad de esclavos en la red y volumen de datos a transmitir. El dispositivo maestro, el cual origina la comunicación, envía una trama de petición y el esclavo correspondiente responde inmediatamente, como se muestra en la Figura 1.13.

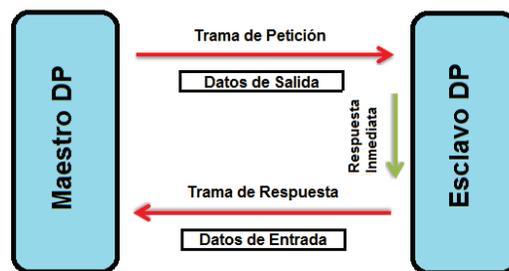


Figura 1.13. Principio de transferencia de datos [13]

Para entablar cualquier tipo de comunicación, tres fases con un orden predefinido están establecidas: Parametrización, configuración y transferencia de datos.

En la fase de **parametrización**, mediante una trama enviada por el maestro, cada esclavo identifica el modo en el que va a operar. Posteriormente, en la fase de **configuración**, el esclavo espera por una trama que especifica el número de datos de entrada y salida que serán transmitidos. Dicha trama también causa que el esclavo compare su configuración actual con la configuración establecida en el dispositivo maestro. Solo si estas configuraciones coinciden, el esclavo será incluido en la fase final de **transferencia de datos**, la cual es gobernada por el maestro.

1.5.6.4 Funciones Básicas de Profibus DP

Cuando un maestro DP establece una transferencia normal con sus esclavos asignados, de manera que cíclicamente las entradas son leídas y las salidas son escritas, se dice que el maestro corre en modo **OPERATE**. Ante una eventual detección de error en la comunicación (ej. desconexión repentina de un esclavo de la red) el maestro entrará en modo **CLEAR**, con lo cual los esclavos cancelan la transferencia de datos y sus salidas entran a un modo de seguridad predefinido.

Finalmente, en modo **STOP** ningún tipo de comunicación entre maestro y esclavo es establecida [17].

1.5.6.5 Funciones Extendidas de Profibus DP

Con el uso de estas funciones de comunicación acíclica, es posible realizar la lectura/escritura de parámetros, así como reconocimiento de alarmas paralelamente a la transmisión de datos cíclica entre maestros (*DPM1* o *DPM2*) y esclavos. A continuación se presentará una lista de estas funciones:

- Para maestros **DPM1** se definen las funciones: *MSAC1_Read*, *MSAC1_Write*, *MSAC1_Alarm*, *MSAC1_Status*, *MSAC1_Acknowledge*.
- Para maestros **DPM2** se tienen las funciones: *MSAC2_Initiate*, *MSAC2_Abort*, *MSAC2_Read*, *MSAC2_Write*, *MSAC2_Data_Transport*. [13]

1.5.7 ARCHIVOS GSD

Este es un tipo de archivo necesario que utiliza cada equipo de la red durante el proceso de configuración y puesta en marcha. Conforme al estándar, los dispositivos Profibus maestro clase uno y esclavos tendrán que ser descritos por el fabricante a través del archivo GSD con la finalidad de dar una descripción general de la estación.

Entre las descripciones generales que incluye este archivo GSD se puede mencionar: la velocidad de transmisión, información de vendedor, nombre, modelo y versión del dispositivo, número de identificación, versiones de hardware y software, servicios soportados.

Basado en el archivo GSD, el dispositivo maestro está en la posibilidad de reconocer el grado de expansión del bus, que tipo de servicio soporta cada esclavo y el tipo de datos que serán transmitidos. En cuanto a los esclavos, el archivo GSD especifica el número y tipo de canales de I/O, entre otros [26].

Los archivos GSD deben ser cargados por la herramienta de configuración del software utilizado.

CAPÍTULO 2

2. DISEÑO Y CONFIGURACIÓN DE LOS PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

2.1 ACTUADORES ELÉCTRICOS

Los Actuadores Eléctricos AUMA forman la parte de los dispositivos esclavos en la red de campo industrial.

En procesos de tratamiento de agua, energía, petróleo o aplicaciones industriales, el fluido es transportado por medio de tuberías. Las válvulas industriales son las encargadas de permitir la apertura o cierre de estas vías de transporte o de regular el caudal. El objetivo de los actuadores eléctricos AUMA es automatizar la operación de las válvulas industriales.

Los Actuadores Eléctricos AUMA, con una combinación de motor eléctrico y reductor, son desarrollados para automatizar válvulas. Estos transmiten el torque necesario para accionar una válvula de compuerta, de mariposa, de bola o de otro tipo.

El Actuador AUMA posee un control, el cual registra datos de carrera y torque de la válvula. Este control es integrado con el protocolo de comunicación requerido para el respectivo proceso; mediante esta característica, el Actuador Eléctrico AUMA puede ser comandado remotamente desde el puesto de mando.

Así, mediante comunicación remota, se puede acceder a los datos registrados en el Control del Actuador y también enviar datos para poder comandar acciones como apertura, cierre o alcance de una posición de la válvula [27].

En la Figura 2.1, se muestra un ejemplo de cómo es la idea de distribución de los actuadores sobre las válvulas y la conexión para ser comandados vía remota.



Figura 2.1. Actuadores Eléctricos AUMA [27]

2.2 SIMA

La SIMA, equipo que forma parte de AUMA, es una estación maestra ideal para poder integrar Actuadores a un sistema automatizado basado en protocolos de comunicación.

La SIMA, al ser una estación maestra, tiene las ventajas de administrar la comunicación con los dispositivos en campo, es decir:

- El operador debe realizar únicamente la tarea de *plug and play*.
- Recibe las señales que envían los Actuadores. Estas señales pueden ser transmitidas al sistema de automatización.
- Identifica fallas del Actuator y permite un acceso rápido a las señales de estado de los mismos.
- Puede realizar el papel de "Gateway" para la comunicación entre los Actuadores y el sistema de automatización.

El software de la SIMA consiste en una versión compacta del sistema operativo Windows XP, y su hardware se compone de una robusta carcasa industrial con protección electromagnética y con los puertos necesarios para conectar

dispositivos que ayudan a la manipulación de la SIMA, como se puede ver en la Figura 2.2 [27].



Figura 2.2. Estación maestra SIMA [27]

2.3 ARQUITECTURA DE RED

De acuerdo a los protocolos de comunicación, Modbus RTU y Profibus DP, con los que pueden trabajar los Actuadores Eléctricos AUMA, es necesario realizar un esquema ideal de cómo es la distribución de la red de campo.

Mediante esta arquitectura de red ideal, que se muestra en la Figura 2.3, se puede partir para comenzar el diseño y la configuración de cada protocolo con el fin de implementar físicamente la red de campo industrial.

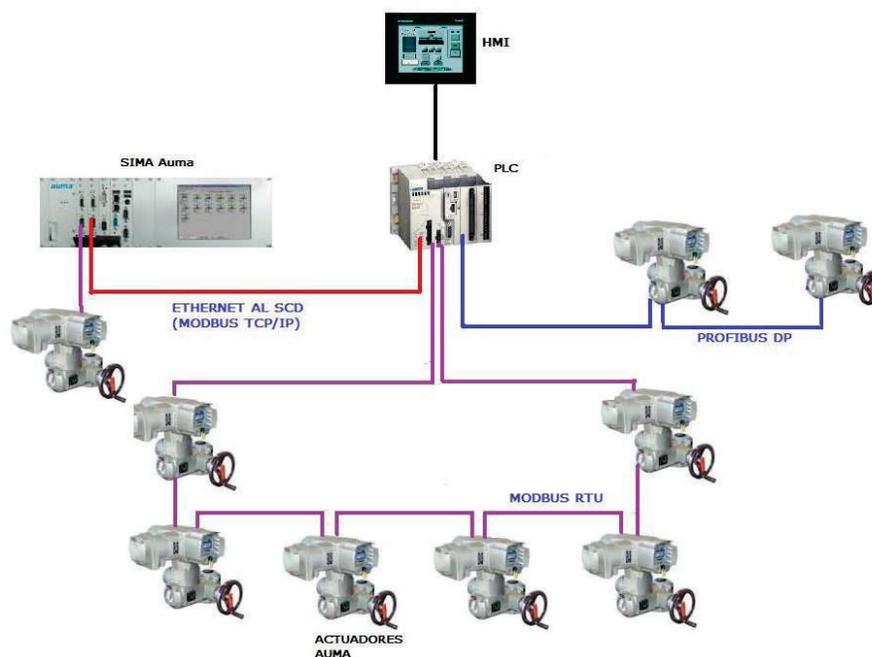


Figura 2.3. Arquitectura de la Red de Campo Industrial

2.4 DISEÑO DE RED

Para que la comunicación entre los Actuadores Eléctricos y el sistema de control sea eficiente, es necesario monitorizar las variables que presentan los Actuadores Eléctricos y en base a estas poder realizar acciones sobre la operación de los mismos. De acuerdo a los protocolos de comunicación establecidos, se requiere de un CPU con la principal ventaja que soporte protocolo Modbus RTU y Profibus DP, sin necesidad de discriminar el uso de un protocolo con el otro.

La elección del CPU depende de la memoria y capacidad de almacenamiento que tiene.

2.4.1 SELECCIÓN DE EQUIPOS

2.4.1.1 Selección del PLC

Se utiliza un PLC S7-1200 como dispositivo de programación para establecer conexión con los Actuadores Eléctricos. De acuerdo a la estrategia de control, se usa este PLC por las características que ofrece, entre las cuales se enumeran las siguientes:

- Capacidad hasta 100 (KB) de memoria interna.
- Posee 4 (MB) de memoria de carga y hasta 10 (KB) de memoria retentiva.
- Permite la conexión hasta 8 módulos de señales, sin necesidad de alimentación externa para cada una, salvo casos excepcionales.
- Permite hasta 3 módulos de comunicación, estos pueden ser: Profinet, Profibus (Maestro/Esclavo), Modbus RTU, Modbus TCP, USS, GSM/GPRS, AS-Interface, DNP3.

2.4.1.1.1 CPU 1212C [28]

Dentro de la gama de los S7-1200, se cuenta con diferentes CPU's, que cumplen con funciones específicas en base a la aplicación requerida.

Para integrar la red con protocolos de comunicación industriales, se usa el CPU 1212C, que se muestra en la Figura 2.4, el cual presenta las siguientes características:

- Posee una memoria de trabajo de 50 (KB) y una memoria de carga de 1 (MB), las cuales son suficientes para un proceso eficiente.
- Se puede usar 8 entradas digitales a 24 (VDC), y 2 entradas de voltaje analógicas.
- Tiene capacidad de conexión de hasta 3 módulos de comunicación.
- El ciclo de proceso es de 0.04 (ms) por cada 1000 instrucciones.



Figura 2.4. CPU 1212C [28]

2.4.1.1.2 Módulo de Comunicación CM 1241

Como se mencionó anteriormente, los Actuadores Eléctricos pueden trabajar bajo el protocolo de comunicación Modbus RTU. Para lograr la comunicación directa hacia los Actuadores, es necesario añadir un módulo de comunicación al CPU 1212C.

El módulo de comunicación CM 1241, que se indica en la Figura 2.5, trabaja bajo el estándar RS485 y sirve para incorporar el protocolo de comunicación Modbus RTU.



Figura 2.5. Módulo de Comunicación CM 1241 [29]

Para la implementación de una red en topología de lazo cerrado, se necesita usar dos módulos CM 1241, uno principal y uno de respaldo en caso de una falla en la línea de bus.

Los módulos CM 1241 trabajan a través de conexión punto a punto, esto puede usarse en diferentes dispositivos.

Entre las mayores ventajas que presenta el uso de módulos CM 1241 están:

- No requiere de alimentación externa. Al conectarse con el CPU 1212C obtiene alimentación directa del PLC.
- La distancia máxima del cable, en conexión punto a punto, es hasta 1000 (m) [30].

2.4.1.1.3 Módulo de Comunicación CM 1243-5

Para la comunicación mediante protocolo Profibus DP, se requiere de otro módulo de comunicación como adición al CPU 1212C y a los dos módulos para Modbus RTU.

Físicamente, el módulo CM 1243-5 tiene un parecido a los módulos de comunicación CM 1241, como se puede ver la Figura 2.6.



Figura 2.6. Módulo de Comunicación CM 1243-5 [31]

Al usar el PLC como dispositivo maestro, este módulo de comunicación presenta características que cumplen técnicamente para comandar Actuadores Eléctricos como dispositivos esclavos. Entre las características más importantes tenemos las siguientes:

- Cumple las funciones de protocolo Profibus DP maestro.
- Permite la comunicación con dispositivos esclavos que posean Profibus DP V0/V1.
- La comunicación con los dispositivos puede ser de forma cíclica o acíclica.
- La velocidad de transferencia puede ser de 9.6 (kbits/s) hasta 12 (Mbits/s).
- Este módulo tiene el alcance de conectar en la red de bus hasta 16 esclavos.
- Requiere de alimentación externa de 24 (VDC) [31].

2.4.1.1.4 Módulo de Switch Compacto CSM 1277

De acuerdo a la arquitectura de red establecida para la red de campo industrial, es necesario contar con varios puertos Ethernet Industrial (RJ45) o con puertos para protocolo Modbus TCP/IP.

La comunicación, tanto desde el HMI hasta el PLC y desde el PLC hasta la estación maestra SIMA, está basada mediante protocolo Modbus TCP/IP. El CPU 1212C cuenta con un puerto para Modbus TPC/IP.

El *switch* Compacto CSM 1277 es el nodo central para formar una topología estrella, con la cual se podrá comandar las operaciones desde la pantalla HMI hacia todos los dispositivos esclavos, es decir Actuadores Eléctricos y estación maestra SIMA.

El CSM 1277, cuenta con 4 conectores hembra RJ45, como se puede ver en la Figura 2.7. Estos puertos están ejecutados con asignación MDI-X de un componente de red, es decir que se tiene la ventaja de no requerir cables Ethernet externos cruzados y así evitar confusiones en cables de envío y recepción.

La longitud máxima que debe tener el cable entre dos equipos es hasta 100 m. Y tiene la característica de auto-negociación, con la cual identifica de forma automática las funciones de la interfaz del interlocutor y de esta manera es posible una configuración automática de diferentes equipos.



Figura 2.7. Switch Industrial Ethernet CSM 1277 [32]

2.4.1.1.5 Fuente Modular de Voltaje

Los dispositivos electrónicos, como el HMI y el *switch* Compacto de Ethernet Industrial, requieren de 24 (V) de conducción continua. Razón por la cual se usa una fuente modular de voltaje, la cual se muestra en la Figura 2.8.



Figura 2.8. Fuente SITOP Modular [33]

El uso de una fuente modular presenta las siguientes características:

- Diferente rango de entrada de alimentación, lo que es útil para usar en cualquier aplicación.
- Presentan seguridad antes variaciones de tensión y un buen comportamiento ante sobrecargas con 1.5 veces la intensidad nominal.
- Tiene alto rendimiento (94%), ya que mantiene el consumo de energía y el calor en un nivel bajo.
- Salida de voltaje de 24 (VDC) y corriente de 5 (A).

2.5 CONFIGURACIÓN DEL CPU 1212C

El software correspondiente a los dispositivos seleccionados es el TIA PORTAL V13, con este se puede realizar la configuración y programación del CPU 1212C y de los módulos de comunicación añadidos a este.

Este software presenta una secuencia muy amigable para la configuración del PLC.

Se selecciona el CPU 1212C para realizar la programación, como se puede ver en la Figura 2.9.

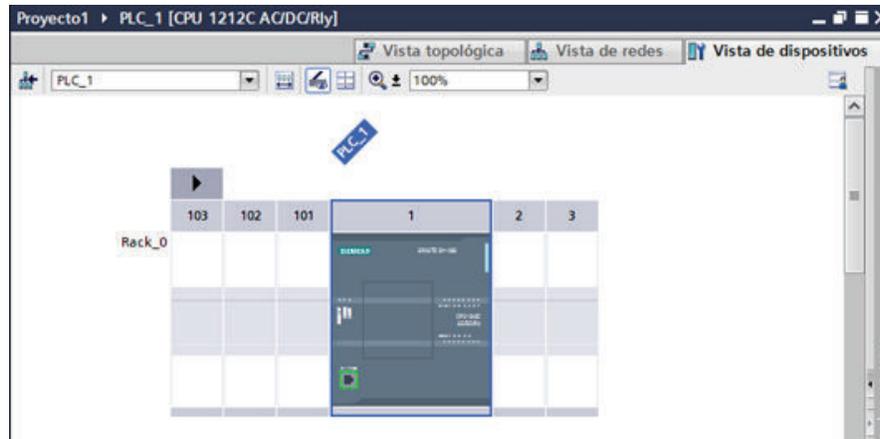


Figura 2.9. Interfaz de hardware del PLC

Al momento de seleccionar el PLC, el software presenta la interfaz para añadir los módulos necesarios al CPU: a la derecha módulos de señales y a la izquierda módulos de comunicación.

De esta manera al momento de realizar la conexión entre el PC y el PLC se enviará la información de los módulos conectados al CPU.

La conexión para transferir cualquier información desde el PC hasta el PLC es mediante el puerto Profinet del PLC. Para esto se debe considerar que el PLC y el PC no tengan la misma dirección IP.

En la Figura 2.10, se muestra la dirección IP y la máscara de red configurada para el PLC, además se observa el hardware necesario para la comunicación Modbus RTU y Profibus DP, formados por 2 módulos CM1241 y 1 módulo CM 1243-5.



Figura 2.10. Dirección IP y Máscara del PLC

2.6 COMUNICACIÓN MAESTRO ESCLAVO USANDO PROTOCOLO MODBUS RTU

2.6.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS DEL PROCESO PARA RED MODBUS

La planificación de la red Industrial requiere identificar el tipo y volumen de información que circulará por los canales de comunicación, por tal motivo es imperativo hacer un análisis de los datos del proceso necesarios para el control de todas las estaciones pasivas de la red.

En este punto se hace un análisis y resumen de la información que el PLC debe acceder y manipular, a través de la interfaz Modbus presente en los actuadores.

En la comunicación Maestro-Esclavo se intercambian dos tipos de telegramas: Datos de Entrada (*Input Data*) y Datos de Salida (*Output Data*). Estos términos de bastante importancia se definen a continuación:

- **Datos de Entrada (*Input Data*):** Número de registros del proceso que el esclavo enviará al maestro. Para este caso, estos representan los datos enviados desde los Actuadores AUMA hacia el PLC Simatic S7-1200.
- **Datos de Salida (*Output Data*):** Número de registros que el maestro enviará al esclavo. Para este caso, estos datos representan órdenes de control hacia los Actuadores AUMA.

2.6.1.1 Registros de entrada de Actuadores AUMA

El intercambio de datos de entrada sirve para informar la operación actual del actuador, el estado de sensores internos, recorrido actual, y también da acceso a indicaciones de falla y alarmas.

En la Tabla 2.1, se cita los registros de mayor importancia para el proceso de control obtenidos desde los manuales de operación y configuración de los actuadores.

Estos archivos pueden ser descargados desde la página oficial de AUMA.

Se cuenta con actuadores de primera y segunda generación y pueden ser hallados bajo la numeración AC 01.1 Modbus RTU y AC 01.2 Modbus RTU, respectivamente.

Tabla 2.1. Datos de entrada de los Actuadores AUMA [34]

Offset (Decimal)	Contenido de los registros																																	
1000	Byte1: Logical signals <table border="1"> <tr> <td>Fault ind.</td> <td>Warning ind.</td> <td>Running CLOSE</td> <td>Running OPEN</td> <td>Not ready ind.</td> <td>Setpoint reached</td> <td>Closed position</td> <td>Open position</td> </tr> <tr> <td>Bit 15</td> <td>Bit 14</td> <td>Bit 13</td> <td>Bit 12</td> <td>Bit 11</td> <td>Bit 10</td> <td>Bit 9</td> <td>Bit 8</td> </tr> </table>	Fault ind.	Warning ind.	Running CLOSE	Running OPEN	Not ready ind.	Setpoint reached	Closed position	Open position	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Byte 2: Actuator signals <table border="1"> <tr> <td>TSC (DSR)</td> <td>TSO (DOEL)</td> <td>LSC (WSR)</td> <td>LSO (WOEL)</td> <td>Local sw. position</td> <td>Remote sw. position</td> <td>Loss of phase</td> <td>Thermal fault</td> </tr> <tr> <td>Bit 7</td> <td>Bit 6</td> <td>Bit 5</td> <td>Bit 4</td> <td>Bit 3</td> <td>Bit 2</td> <td>Bit 1</td> <td>Bit 0</td> </tr> </table>	TSC (DSR)	TSO (DOEL)	LSC (WSR)	LSO (WOEL)	Local sw. position	Remote sw. position	Loss of phase	Thermal fault	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Fault ind.	Warning ind.	Running CLOSE	Running OPEN	Not ready ind.	Setpoint reached	Closed position	Open position																											
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8																											
TSC (DSR)	TSO (DOEL)	LSC (WSR)	LSO (WOEL)	Local sw. position	Remote sw. position	Loss of phase	Thermal fault																											
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0																											
1001	Byte 3: E2 Actual position (high byte) Byte 4: E2 Actual position (low byte)																																	
1002	Byte 5: Configured byte <table border="1"> <tr> <td>Fault 3</td> <td>Not ready ind.</td> <td>Loss of phase</td> <td>Torque fault (Open)</td> <td>Torque fault (Close)</td> <td>Remote sw. position</td> <td>Open position</td> <td>Closed position</td> </tr> <tr> <td>Bit 15</td> <td>Bit 14</td> <td>Bit 13</td> <td>Bit 12</td> <td>Bit 11</td> <td>Bit 10</td> <td>Bit 9</td> <td>Bit 8</td> </tr> </table>	Fault 3	Not ready ind.	Loss of phase	Torque fault (Open)	Torque fault (Close)	Remote sw. position	Open position	Closed position	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Byte 6: Physical operation <table border="1"> <tr> <td>Runs from Local</td> <td>Runs from Remote</td> <td>Runs via handwheel</td> <td>Actuator moving</td> <td>-</td> <td>Start stepping mode</td> <td>Proportional operation</td> <td>Operation pause</td> </tr> <tr> <td>Bit 7</td> <td>Bit 6</td> <td>Bit 5</td> <td>Bit 4</td> <td>Bit 3</td> <td>Bit 2</td> <td>Bit 1</td> <td>Bit 0</td> </tr> </table>	Runs from Local	Runs from Remote	Runs via handwheel	Actuator moving	-	Start stepping mode	Proportional operation	Operation pause	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Fault 3	Not ready ind.	Loss of phase	Torque fault (Open)	Torque fault (Close)	Remote sw. position	Open position	Closed position																											
Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8																											
Runs from Local	Runs from Remote	Runs via handwheel	Actuator moving	-	Start stepping mode	Proportional operation	Operation pause																											
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0																											

Como se observa, el estado en general de un actuador puede ser leído en un total de 3 registros tipo palabra (*Word*). Con lo cual, el sistema de monitoreo (HMI) hará uso de estos registros para implementar procesos de visualización de alarmas, fallas y estado de operación del actuador.

2.6.1.2 Registros de salida de Actuadores AUMA

Con la manipulación de los registros de salida desde el PLC, se lleva a cabo operaciones sobre los actuadores de manera remota. Las cuatro operaciones principales son:

- Apertura (*Remote Open*)
- Cierre (*Remote Close*)
- Alcanzar Set Point (*Remote Set Point*)
- Paro (*Reset*)

Como se observa en la Tabla 2.2, los comandos de operación están integrados en dos registros de 16 bits. En el primer registro se indica la operación a realizar. El segundo registro se utiliza para configurar un valor de consigna (Set Point), en caso que el operador desee realizar la operación “Alcanzar Set Point”.

Tabla 2.2. Datos de Salida desde los actuadores [34]

Offset (Decimal)	Contenido de los registros															
1000	Byte 1: Commands (High byte)								Byte 2: E3 (Reserve) (Low byte)							
	|	|	|	|	Reset	Remote SETPOINT	Remote CLOSE	Remote OPEN	|	|	|	|	|	|	|	|
	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
1001	Byte 3: Set Point position (<i>High byte</i>)								Byte 4: Set Point position (<i>Low byte</i>)							

2.6.2 DETERMINACIÓN DE TRÁFICO DE DATOS EN LA RED

El cálculo de volumen de datos que son intercambiados entre el PLC y los esclavos Modbus permite determinar la velocidad a la que los datos serán transmitidos.

Entre el maestro S7-1200 y los Actuadores AUMA se transmiten los datos mostrados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Datos del Proceso para un Actuador AUMA

Dato	Tamaño en bytes
Señales lógicas y señales del actuador	2
Posición actual del actuador	2
Estado del dispositivo y estado de operación	2
Comandos	2
Set Point	2
TOTAL	10

La red Modbus cuenta con 5 actuadores establecidos como esclavos, por lo tanto, los datos suman un total de 50 bytes, lo que resulta en 400 bits. Sabiendo que bajo el estándar RS-485 se puede transmitir desde 9,6 Kbps hasta 1.2Mbps, entonces el dispositivo maestro está en posibilidad de transmitir a cualquier velocidad establecida en el estándar y la red no tendrá problemas de tráfico.

2.6.3 DETERMINACIÓN DE LA ARQUITECTURA RED MODBUS

Para la red Modbus, la topología implementada, y la recomendada, es en bus basada en encadenamientos.

En esta topología los actuadores se conectan en serie, uno después de otro, de modo que los datos son transmitidos de forma serial desde el primer actuador hacia el segundo, continuando así hasta el actuador final.

2.6.4 BLOQUES DE COMUNICACIÓN (INSTRUCCIONES) DEL S7-1200 PARA CREAR UNA RED MODBUS

El primer paso para construir la red Modbus desde el S7-1200, es realizar la configuración del módulo de comunicación CM-1241, esto se logra a través de la instrucción MB_COMM_LOAD. Posteriormente, para la operación de este dispositivo como Maestro RTU en la red, se hace uso de la instrucción MB_MASTER.

2.6.4.1 Instrucción MB_COMM_LOAD [35]

Con la instrucción MB_COM_LOAD se configura el puerto de comunicación del CM-1241 para transmitir mediante el protocolo Modbus RTU. En la Figura 2.11, se muestra el bloque la instrucción MB_COMM_LOAD, que se obtiene desde la librería Modbus integrada en el TIA PORTAL.

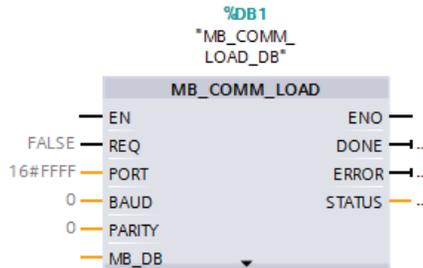


Figura 2.11. Instrucción MB_COMM_LOAD del TIA PORTAL

Las funciones principales de esta instrucción son: seleccionar el puerto del módulo de comunicación insertado previamente, establecer los parámetros de transmisión para la comunicación y definir si el CM-1241 actúa como dispositivo maestro o esclavo en la red.

En la Tabla 2.4 se describen los parámetros y los tipos de datos utilizados en instrucción MB_COMM_LOAD.

Tabla 2.4. Descripción de parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD [35]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
PORT	IN	Port	Identificación de hardware asignado al puerto del módulo de comunicación configurado.
BAUD	IN	UDInt	Velocidad de Transmisión en baudios.
PARITY	IN	Uint	Tipo de Paridad: 0: No paridad 1: Impar 2: Par
MB_DB	IN	Variant	Referencia del bloque de datos de instancia usado por el MB_MASTER.

En la Tabla 2.5, se describen los bits de control de la instrucción MB_COMM_LOAD.

Tabla 2.5. Descripción de los bits de control de la instrucción MB_COMM_LOAD [36]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
REQ	IN	Bool	Cuando la señal es puesta en TRUE (pasa de estado bajo a alto) empieza la operación de la instrucción.
DONE	OUT	Bool	Este bit es TRUE (1L) por un ciclo de <i>scan</i> después de que la última petición fue culminada sin error.
ERROR	OUT	Bool	El bit de ERROR es puesto en TRUE después que ocurrió un error en la última petición. Este valor se mantiene solo por un ciclo de <i>scan</i> del autómeta.
STATUS	OUT	Word	Devuelve un código de error de cuatro números hexadecimales si se detectó un error.

2.6.4.2 Instrucción MB_MASTER [35]

La instrucción MB_MASTER se utiliza para definir al módulo de comunicación configurado mediante la instrucción MB_COMM_LOAD (en el parámetro PORT) como dispositivo Maestro Modbus de la red.

Debido a que el dispositivo maestro Modbus es quien realiza el control sobre la línea del bus, esta instrucción direcciona al dispositivo esclavo a transmitir, establece el código de función a ejecutar (escritura, lectura o funciones de diagnóstico) y define la zona de almacenamiento de los datos a ser enviados o recibidos.

En la Figura 2.12, se observa la instrucción MB_MASTER obtenida desde la librería Modbus del TIA PORTAL. Cuando se inserta la instrucción en el programa de usuario, automáticamente es asignado un bloque de datos de instancia DB.

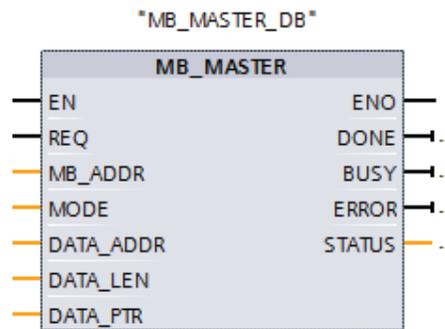


Figura 2.12. Instrucción MB_MASTER en TIA PORTAL

En la Tabla 2.6 se describe los parámetros y los tipos de datos necesarios para comandar la instrucción MB_MASTER.

Tabla 2.6. Descripción de parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD [35]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
MB_ADDR	IN	UDInt	Dirección del esclavo Modbus RTU. Rango permitido de 1 a 247.
MODE	IN	USint	Establece el tipo de petición Modbus: Lectura, escritura o diagnóstico.
DATA_ADDR	IN	UDint	Dirección Inicial de la zona de datos a ser accedidos en el esclavo Modbus.
DATA_LEN	IN	UInt	Especifica la longitud de datos (bits o palabras) que serán intervenidos mediante la petición.
DATA_PTR	IN	Variant	Apuntador de datos: Apunta a la zona de datos local de envío o recepción en el Maestro. Debe hacer referencia a una zona de datos creado en un bloque de datos de instancia OB. Aquí se almacenan los datos que son leídos, o son colocados los datos a ser transmitidos al esclavo, dependiendo del tipo de petición (MODE) que se realice.

Los bits de control de la instrucción MB_MASTER deben ser consultados continuamente en el programa de usuario para confirmar la finalización del proceso (envío, recepción o diagnóstico), o posibles errores de comunicación. En la Tabla 2.7, se describe los bits de control del MB_MASTER.

Tabla 2.7. Bits de control de la instrucción MB_MASTER [35]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
REQ	IN	Bool	Cuando la señal es puesta en TRUE, empieza de petición de escritura, lectura o diagnóstico en el dispositivo esclavo.
DONE	OUT	Bool	Este bit es TRUE por un ciclo de <i>scan</i> después de que la última petición fue culminada sin error.
BUSY	OUT	Bool	0 - (FALSE): Ninguna transacción del MB_MASTER en curso. 1 - (TRUE): Ejecución de una petición del MB_MASTER en proceso.
ERROR	OUT	Bool	El bit de ERROR es puesto en TRUE después que ocurrió un error en la última petición. Este valor se mantiene solo por un ciclo de <i>scan</i> .
STATUS	OUT	Word	Devuelve un código de error de cuatro números hexadecimales cuando el bit de ERROR se pone TRUE.

2.6.5 CONFIGURACIÓN DE MÓDULO DE COMUNICACIÓN CM-1241

Una vez insertado los módulos de comunicación en la configuración de dispositivos del SIMATIC S7-1200, se asigna un **nombre simbólico** y un **identificador de hardware** a cada puerto del módulo, estos parámetros se visualizan desde la pestaña “Constantes del Sistema” en la ventana de “Variables de PLC” del TIA PORTAL tal como se muestra en la Figura 2.13.

	Nombre	Tipo de datos	Valor
25	Pulse_4[PTO/PWM]	Hw_Pwm	268
26	CM_1241_(RS422_485)_1	Port	269
27	OB_Main	OB_PCYCLE	1
28	CM_1241_(RS422_485)_2	Port	270

Figura 2.13. Nombres simbólicos de los CM-1241

Debido a que la configuración del CM-1241 se debe ejecutar una sola vez en el programa, entonces se hace uso de un bloque de organización de arranque denominado OB100 (*Startup* OB). En el OB100 se incluye un proceso cualquiera definido por el usuario que se ejecuta una única vez cuando el S7-1200 pasa de estado lógico *STOP* a *RUN*. Por lo tanto, dentro de este bloque es donde se incluyen los bloques de configuración MB_COMM_LOAD para cada módulo.

En la Figura 2.14, se observa la configuración de los módulos de comunicación.

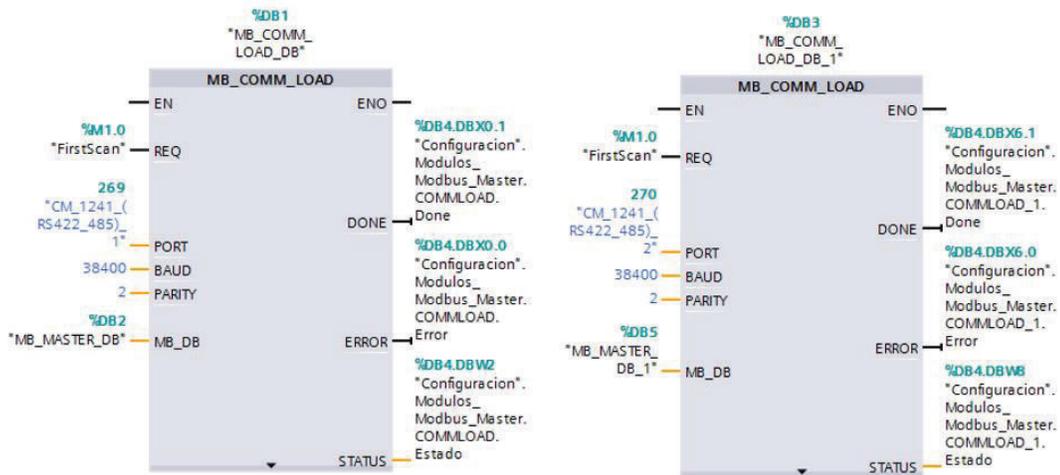


Figura 2.14. Configuración de parámetros de CM-1241

La velocidad escogida (*BAUD*) para la transmisión es de 38400 bps (bits por segundo), y paridad par (*PARITY*) para ambos módulos. Aquí es donde se hace uso de los nombres simbólicos e identificadores de hardware de cada módulo de

comunicación, este parámetro es seleccionado en la lista despegable del parámetro *PORT*.

Cuando se añade la instrucción *MB_MASTER* o *MB_SLAVE* en el programa de usuario, como se verá más adelante, automáticamente es asignado un bloque de datos de instancia *DB*. Este bloque de datos es referenciado en el parámetro *MB_DB* de la instrucción *MB_COMM_LOAD*, definiendo por lo tanto al módulo de comunicación insertado como dispositivo maestro o esclavo en la red [35].

Los dos módulos de comunicación *CM-1241* son definidos como maestros Modbus, por lo tanto los bloques de datos *DB* generados son independientes para cada módulo y como se observa en la figura anterior, estos toman los nombres de “*MB_MASTER_DB*” y “*MB_MASTER_DB_1*”

Finalmente, cabe mencionar que de aquí en adelante todos los actuadores que conforman la red Modbus deben ser configurados con la misma velocidad de transmisión (*BAUD*) y tipo de paridad (*PARITY*) que se configuran los módulos de comunicación *CM-1241*.

2.6.6 IMPLEMENTACIÓN DE FUNCIONES MODBUS EN SIMATIC S7-1200 [35]

Para implementar una función Modbus en el *S7-1200* se usa la instrucción *MB_MASTER* del *TIA PORTAL*. Con la combinación de los parámetros *MODE* y *DATA_ADDR* se codifica la función Modbus necesaria para enviar peticiones a equipos remotos como son los actuadores.

El manual de control de los actuadores indica que para la lectura de registros (bits o palabra) se usa la función Modbus 04 y para escritura se usa la función Modbus 16. En la Tabla 2.8, se muestra los parámetros necesarios para implementar las funciones mencionadas haciendo uso del *MB_MASTER*.

Tabla 2.8. Funciones de Modbus [35]

Modo	Función Modbus	Longitud de datos	Operación y Datos	Dirección Modbus
0	04	1 a 125	Leer Palabras de entrada: 1 a (124 o 125) palabra por petición.	30001 a 39999
1	16	2 a 123	Escribir múltiples registros de parada: 2 a (122 o 123) palabras por petición	40001 a 49999
2	16	1 a 123	Escribir uno o más registros de parada: 1 a (122 o 123) palabras por petición	400001 a 465535

En resumen, el parámetro MODE toma el valor “0” cuando se requiere leer registros desde un dispositivo esclavo (*Input data*). MODE toma el valor “1” cuando se desea escribir registros que hacen referencia a órdenes de control en el dispositivo esclavo (*Output data*). MODE toma el valor “2” cuando se desea escribir registros con direccionamiento extendido.

Si se desea manipular más de un registro entonces hay que considerar el parámetro DATA_LEN. Si se quisiera leer 15 registros con la función Modbus 04, los parámetros a configurar son: MODE: “0”, DATA_ADDR: “30001” y DATA_LEN: “15”. Así se tiene acceso a los registros desde el 30001 al 30015.

Finalmente, para la implementación se considera que la dirección inicial Modbus que se coloca en el parámetro DATA_ADDR tiene que ser añadida un “Offset” que depende básicamente del fabricante del dispositivo Modbus. Se tiene acceso a esa información mediante los manuales de control del dispositivo. El ejemplo práctico se muestra a continuación.

2.6.6.1 Lectura de las Señales del Actuador usando la Función Modbus 04

Desde el TIA PORTAL se arrastra la función MB_MASTER al programa de usuario y automáticamente se genera un bloque de datos, tal como se muestra en la Figura 2.15.

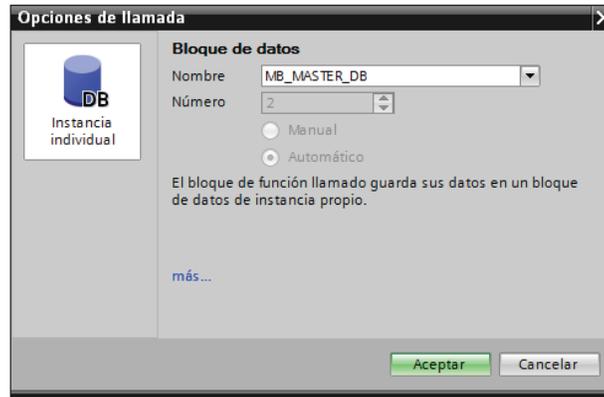


Figura 2.15. Bloque de datos asignado a la función MB_MASTER

Como se observa, el nombre de este bloque de datos, se referencia en el parámetro MB_DB de la instrucción MB_COMM_LOAD (Figura 2.14).

Se ajusta los parámetros de la instrucción MB_MASTER para implementar la función Modbus. En la Figura 2.16, se muestra el procedimiento.

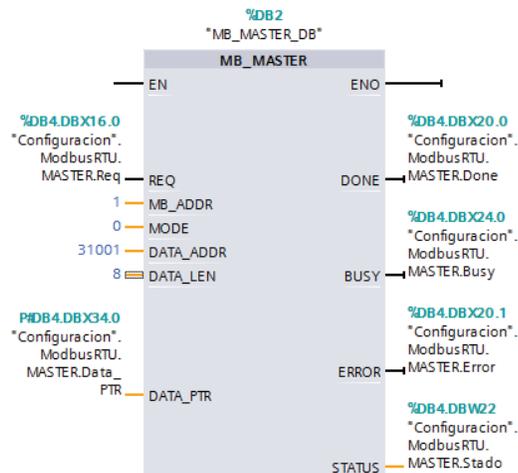


Figura 2.16. Leer 3 registros de entrada con la Función Modbus 04

Los parámetros más sobresalientes se mencionan a continuación:

- Dirección del Esclavo (MB_ADDR)** → 1
- Tipo de Petición (MODE)** → 0 (Lectura)
- Dirección Inicial (DATA_ADDR)** → 31001
- Longitud de Datos (DATA_LEN)** → 3

El parámetro DATA_ADDR se ajusta a 31001 debido a que la dirección offset (decimal) del primer registro de entrada del actuador tiene el valor 1000. Este dato es visible en la Tabla 2.1. A este valor se le añade la dirección base establecida para la función Modbus 04 (Tabla 2.8), que es 30001, dando como resultado 31001. Finalmente, con la longitud ajustada a 3 se logra leer los 3 registros consecutivos (registros 31001 a 31003).

Los registros leídos se almacena en una zona específica de un bloque de datos. Para ello se crea un bloque de datos DB general llamado “Configuración” y la zona de almacenamiento interna se establece con el nombre “Data_PTR”. Resta vincular esta zona de almacenamiento al parámetro DATA_PTR de la función MB_MASTER. En la Figura 2.17, este parámetro tiene ajustada la dirección “Configuracion.ModbusRTU.MASTER.Data_PTR”.

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...
3	ModbusRTU	Struct	12.0	
4	step_MB_com	USInt	0.0	1
5	step_MB_leer	USInt	1.0	1
6	MASTER	Struct	2.0	
7	Dir_Esclavo	UInt	0.0	2
8	Req	Bool	2.0	false
9	Longitud	Int	4.0	9
10	Done	Bool	6.0	false
11	Error	Bool	6.1	false
12	Stado	Word	8.0	16#0
13	Busy	Bool	10.0	false
14	Estado_Error	Word	12.0	16#0
15	Modo	USInt	14.0	0
16	Data_Address	UDInt	16.0	0
17	Data_PTR	Array[0..9] o...	20.0	
18	Data_PTR[0]	UInt	0.0	0
19	Data_PTR[1]	UInt	2.0	0
20	Data_PTR[2]	UInt	4.0	0
21	Data_PTR[3]	UInt	6.0	0
22	Data_PTR[4]	UInt	8.0	0
23	Data_PTR[5]	UInt	10.0	0
24	Data_PTR[6]	UInt	12.0	0
25	Data_PTR[7]	UInt	14.0	0
26	Data_PTR[8]	UInt	16.0	0
27	Data_PTR[9]	UInt	18.0	0

Figura 2.17. Zona local de almacenamiento de los datos leídos con la función Modbus 04

Este proceso se repite para todos los actuadores de la Red Modbus. Simplemente se varía la dirección del esclavo bajo el parámetro “MB_ADDR”. El control del proceso de lectura para cada actuador se hace mediante el parámetro “*DONE*”. Cuando esté bit se ponga en “*TRUE*”, entonces los datos están disponibles en el buffer de entrada (*DATA_PTR*). Los registros leídos se envían al HMI para su visualización haciendo uso de una interfaz más amigable para operador.

2.6.6.2 Escritura de comandos de operación a los actuadores usando la Función Modbus 16

Los comandos hacia los actuadores se transmiten por el bus en dos registros tipo Palabras (Tabla 2.2). La instrucción MB_MASTER, mostrada en la Figura 2.18, se ajusta con los siguientes parámetros:

- Dirección del Esclavo (MB_ADDR)** → 1
- Tipo de Petición (MODE)** → 1 (Escritura)
- Dirección Inicial (DATA_ADDR)** → 41001
- Longitud de Datos (DATA_LEN)** → 2

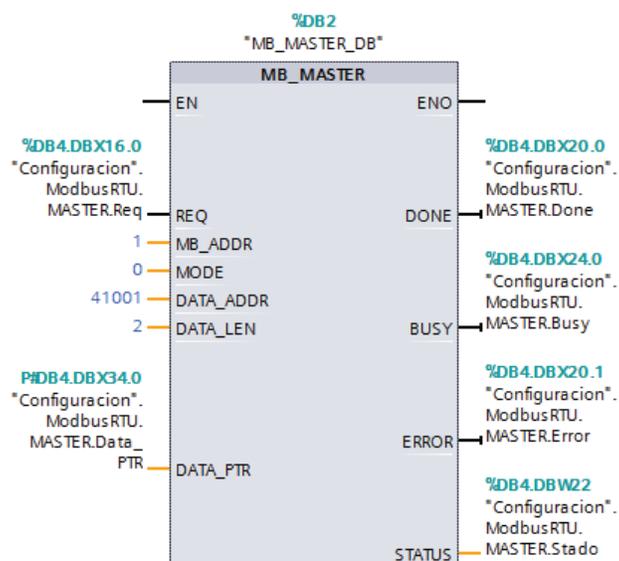


Figura 2.18. Ajuste de 2 registros de entrada con la Función Modbus 16

De igual forma que el caso anterior, el parámetro DATA_ADDR se ajusta al valor 41001 debido a que la dirección offset (decimal) del primer registro de salida del actuador tiene la dirección 1000 (Tabla 2.2). Añadiendo la dirección base indicada por la función Modbus 16 (Tabla 2.8), el resultado obtenido es 41001. Con la longitud ajustada a 2 se logra escribir en dos registros consecutivos (registro 41001 y 41002).

En la Tabla 2.9, se muestra todos los posibles valores usados para comandar los actuadores vía registros de salida.

Tabla 2.9. Valores para Comandos en Actuador

Valor del Registro de Salida 41001		Respuesta del Actuador
Decimal	Hexadecimal	
256	16#100	Abre
512	16#200	Cierra
1024	16#400	Alcanza Set Point
2048	16#800	Para

Debido a que el tipo de dato que se declara para estos registros es "UInt" (Entero sin signo, Figura 2.17), los valores que se usan son los decimales. El valor del registro 41002 (Set Point), debe ser un valor decimal entre 0 y 1000, donde 0 representa cierre total del actuador, y 1000 es apertura total.

2.6.6.3 Diagrama de Flujo de comunicación entre S7-1200 y Actuadores Modbus

Al finalizar toda la inicialización y configuración de los módulos CM-1241, se realiza la lógica de programación expuesta en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 2.19.

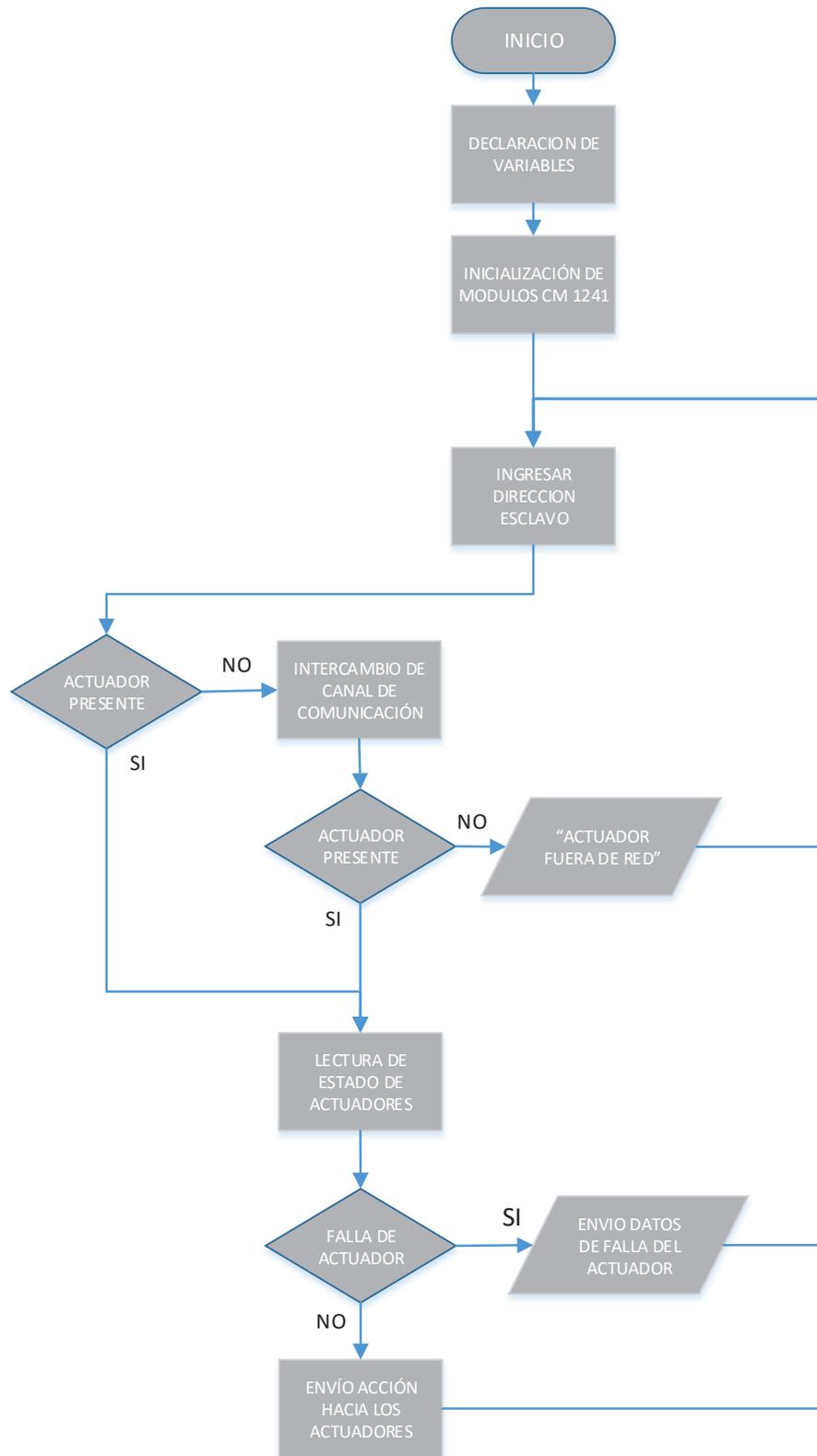


Figura 2.19. Diagrama de Flujo para red Modbus

2.7 COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO PROFIBUS DP

A diferencia del protocolo Modbus, para el intercambio de datos entre los actuadores Profibus y el SIMATIC S7-1200, no es necesario ningún tipo de instrucción. Tras a una configuración previa del dispositivo maestro y esclavo DP en el TIA PORTAL, el intercambio se realiza de forma cíclica y los datos se almacenan en la memoria de entrada y salida del CPU. En el programa se hace uso de las instrucciones correspondientes para acceder a la memoria del CPU y entonces manipular y visualizar los datos intercambiados, como se verá más adelante.

2.7.1 CONFIGURACIÓN DEL ACTUADOR AUMA COMO ESCLAVO DP EN SIMATIC S7-1200

Como primer paso para añadir un Actuador AUMA como esclavo DP a una red Profibus utilizando un PLC Siemens S7-1200, es primordial integrar al dispositivo en el “Catálogo de Hardware” del TIA PORTAL. Esto se logra con ayuda de los archivos GSD suministrados por el fabricante del dispositivo. En el catálogo de hardware se presentan todos los dispositivos que pueden ser vinculados a una aplicación utilizando un autómata de la marca Siemens.

2.7.1.1 Añadir archivo GSD [37]

Un archivo GSD es un archivo de texto que contiene todas las especificaciones necesarias del dispositivo para integrarse y establecer comunicación en una red Profibus.

En este caso se cuenta con actuadores con controles de segunda generación AUMATIC AC 01.2 PROFIBUS DP. Los archivos GSD están disponibles bajo el nombre **AUMA0C4F.GSD** y pueden ser descargados desde la página oficial de AUMA.

El archivo AUMA0C4F.GSD es una versión estándar que presenta las siguientes funcionalidades:

- Interfaz Profibus DP de canal simple
- Interfaz Profibus DP redundante de acuerdo a redundancia AUMA
- Servicios opcionales Profibus DP-V1 [38]

Una vez descargado el archivo GSD, se lo incluye en el TIA PORTAL dentro del catálogo de hardware desde el menú “Opciones” → “Instalar archivo de descripción de dispositivo”.

De esta manera, el catálogo de Profibus DP cuenta con la información de los Actuadores Eléctricos regidos bajo este protocolo, tal como se muestra en la Figura 2.20.

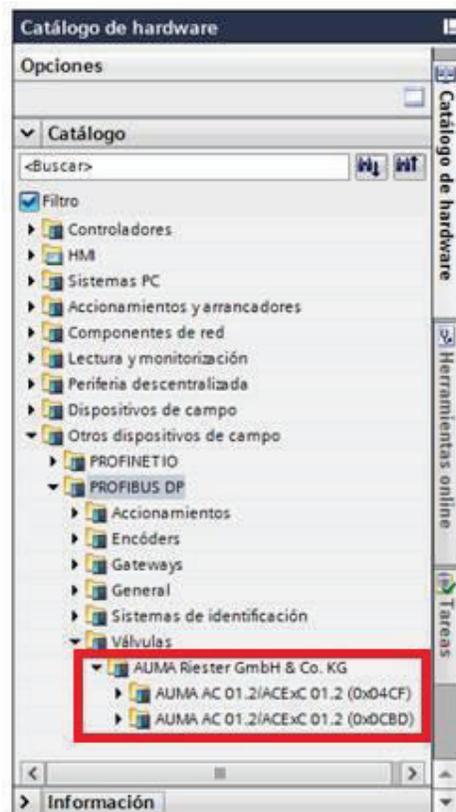


Figura 2.20. Actuadores AUMA añadidos a catálogo de hardware del TIA PORTAL

2.7.2 CREACIÓN DE LA RED PROFIBUS EN EL TIA PORTAL V13

Como requisito previo para la creación de la red Profibus, se añadió el módulo de comunicación CM 1243-5, el cual establece al SIMATIC S7-1200 como maestro DP de la red Profibus.

2.7.2.1 Conexión lógica de la red y creación de la Subred

En la “Vista de Redes” del TIA PORTAL, se accede desde el Catálogo de Hardware al actuador agregado anteriormente.

Una vez identificado el maestro y el esclavo de la Red DP, se realiza la interconexión de ambos dispositivos: se crea una línea de conexión desde de la interfaz del módulo de comunicaciones CM 1243-5 a la interfaz del dispositivo esclavo AUMA (*Slave_1*).

En ambos casos, y como se observa en la Figura 2.21, la representación de la interfaz es un cuadro de color rosa.



Figura 2.21. Conexión entre Maestro y Esclavo

Como resultado, se crea un Subred con el nombre por default “PROFIBUS_1” y se configura los valores más sobresalientes en “Ajustes de Red”. Esto se indica en la Figura 2.22.

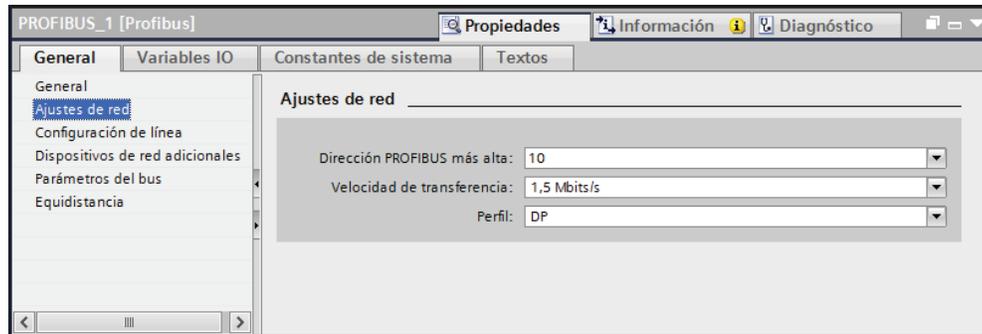


Figura 2.22. Parámetros de Red Profibus

2.7.2.2 Configuración de los parámetros de la Red [39]

- **Velocidad de Transmisión:** Todos los dispositivos esclavos de la red Profibus se ajustan a la velocidad configurada en el maestro SIMATIC S7-1200. La red se ajusta a una velocidad de 1.5 Mbits/s.
- **Dirección Profibus más alta:** Profibus permite un direccionamiento entre 1 y 125. Se configura la dirección 10 por default, aunque la red solo cuenta con un esclavo Profibus DP.
- **Perfil:** Profibus cuenta con tres perfiles (FMS, DP, PA), el perfil que se selecciona es DP (periferia descentralizada). Los actuadores AUMA se incluyen en este perfil puesto que son considerados equipos de campo.

2.7.3 AJUSTES DE PARÁMETROS DE COMUNICACIÓN EN EL ESCLAVO

2.7.3.1 Asignación de dirección de la estación

La dirección que se asigna al dispositivo esclavo en el PLC debe coincidir con la dirección configurada en el Actuator. En este caso la dirección 5.

Como se observa en la Figura 2.23, los parámetros “velocidad” y “dirección más alta” se setean automáticamente.

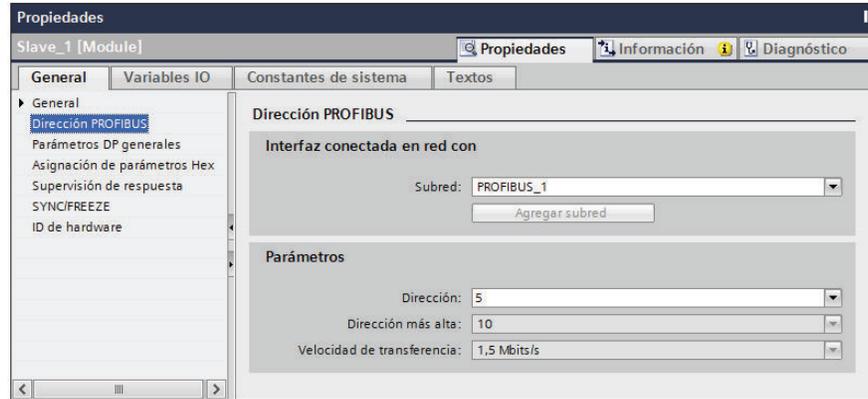


Figura 2.23. Parámetros asignados al Esclavo DP

2.7.3.2 Creación y configuración de bloques de memoria en el módulo esclavo DP

2.7.3.2.1 Tipos de Bloques

De aquí en adelante se hará referencia a la frase “bloque de memoria” a un conjunto de registros reservados en la memoria interna del PLC, en donde se almacenan los datos intercambiados entre el PLC y el actuador. Para cada actuador se crean dos bloques de memoria, uno para lectura y otro para escritura.

Cada bloque está conformado por un número determinado registros de tipo byte, y dependiendo de tipo de bloque, serán nombrados como bytes de entrada o bytes de salida.

En la Tabla 2.10, se menciona el número máximo de bytes que pueden ser intercambiados y la combinación que se utiliza en este caso.

Tabla 2.10. Bytes de entrada y salida para intercambio de datos [39]

Número de bytes de entrada	Número de bytes de Salida
8	8
40 (máx)	26 (máx)

Número de bytes de entrada: Establece cuántos bytes de un máximo de 40 son enviados desde el actuador (esclavo) al maestro DP [39].

Número de bytes de salida: Establece cuántos bytes de un máximo de 26 son enviados desde el maestro (S7-1200) al esclavo [39].

Cabe recalcar que todas las combinaciones pueden ser escogidas entre “consistentes” y “no consistentes”. La información es procesada de forma consistente, asegurando así que la lectura de una variable de dos bytes (como la posición actual) no se distorsione después de haber leído el primer byte.

2.7.3.2.2 Creación de bloques de memoria en el TIA PORTAL

En el Catálogo de Hardware se elige la combinación de bytes adecuada (Figura 2.24) y después se añade en la ventana “Vista General del dispositivo” como se muestra en la Figura 2.25.

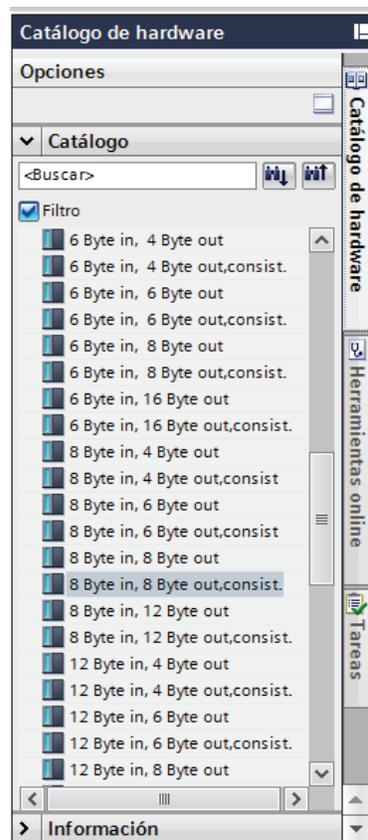


Figura 2.24. Configuraciones posibles de bytes de entrada/salida

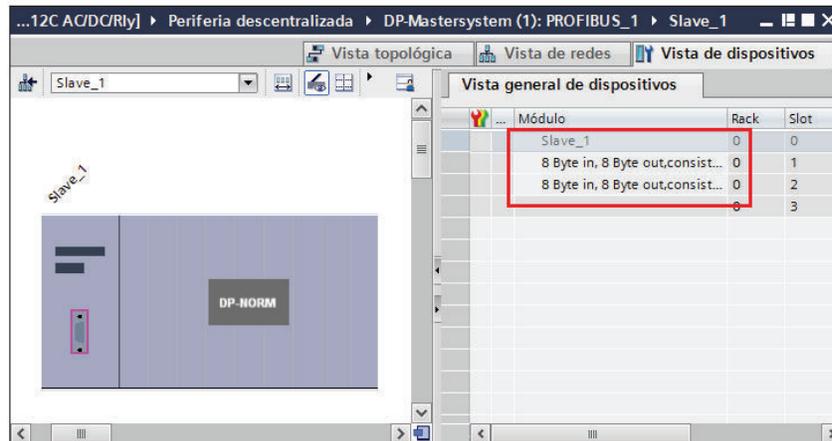


Figura 2.25. Adición de bloques de memoria al esclavo (Slave_1)

A continuación, como se muestra en la Figura 2.26, se asigna las direcciones de almacenamiento de los bytes en la memoria del PLC.

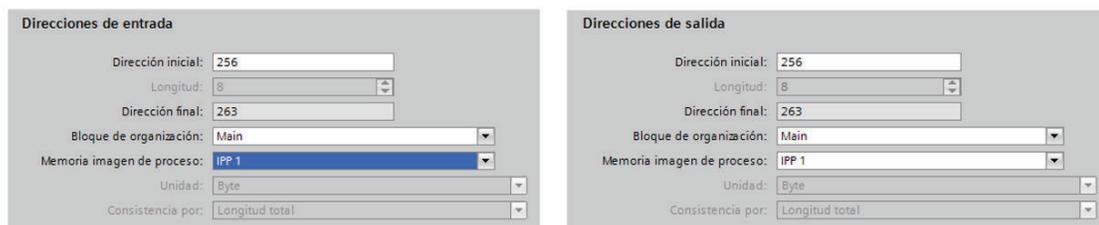


Figura 2.26. Asignación de direcciones de bytes de entrada y salida

En las nuevas versiones del S7-1200, cada bloque de memoria es asignado un identificador de hardware como se observa en la Figura 2.27. Estos identificadores servirán para configurar las instrucciones del S7-1200 para acceder a la información que contienen los bloques.

Nombre	Tipo de datos	Valor
Slave_1[DPSlave]	Hw_DpSlave	275
8_Byte_in,_8_Byte_out,consist_2...	Hw_SubModule	278
8_Byte_in,_8_Byte_out,consist_2...	Hw_SubModule	279
OB_Startup	OB_STARTUP	100

Figura 2.27. Identificadores de Hardware para bloques de memoria del Esclavo

Finalmente, terminada la configuración, el PLC y el actuador Profibus empiezan a intercambiar información cíclicamente.

2.7.4 DESCRIPCIÓN DE DATOS DEL PROCESO DE LOS ACTUADORES

La información de los actuadores está organizada en bytes de entrada y salida, cada uno representa un dato necesario para el control de los actuadores en la red.

2.7.4.1 Bytes de Entrada

Los bytes de entrada permiten al maestro conocer el estado general del actuador. Esta información se distribuye en: señales locales, señales del actuador, posición actual, estado de operación y estado del equipo. En la Tabla 2.11, se muestra la organización de los bytes de entrada.

Tabla 2.11. Bytes de Entrada del Proceso [39]

Byte 1: Señales Locales								Byte 2: Señales del actuador							
Fault ind.	Warning ind.	Running CLOSE	Running OPEN	Not ready ind.	Setpoint reached	Closed position	Open position	TSC (DSR)	TSO (DOEL)	LSC (WSR)	LSO (WOEL)	Local sw. position	Remote sw. position	Loss of phase	Thermal fault
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Byte 3: Posición Actual (High byte)								Byte 4: Posición Actual (Low byte)							
La posición actual se transmite como un valor entre 0 y 1000.															
Byte 5: Estado del dispositivo								Byte 6: Estación de operación							
(Fault 3)	(Not ready ind.)	(Loss of phase)	(Torque fault (OPEN))	(Torque fault (CLOSE))	(Remote sw. position)	(Open position)	(Closed position)	(Runs from Local)	(Runs from REMOTE)	(Runs via handwheel)	(Actuator moving)	(-)	(Start stepping mode)	Reserved	(Operation pause)
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0

2.7.4.2 Bytes de Salida

Los bytes de salida permiten controlar y operar el actuador. Las cuatro operaciones básicas son: ABRIR, CERRAR, ALCANZAR SET POINT y PARO. En la Tabla 2.12, se muestra los bytes de comandos y de Set Point.

Tabla 2.12. Bytes de Salida del Proceso [39]

Byte 1: Comandos								Byte 2: Reservado									
Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Reset	Bit 2	Bit 1	Bit 0									
Byte 3: Set Point (High Byte)								Byte 4: Set Point (High Byte)									

2.7.5 FUNCIONES DEL S7-1200 (INSTRUCCIONES) PARA ACCESO A DATOS CONSISTENTES

2.7.5.1 Datos consistentes [40]

Se define por datos consistentes a aquellos datos que son tomados del proceso en un instante de tiempo específico y que durante su transmisión no son cambiados ni actualizados. Así se asegura que la información no llegue distorsionada al sistema de control.

La transmisión de datos de forma consistente se usa frecuentemente cuando la información proveniente de un dispositivo está organizada en partes. Por ejemplo, el dato de "Posición Actual" del Actuador Profibus está organizado en dos bytes (Tabla 2.11). En un momento determinado se requerirá leer ese dato desde el PLC. Si se usa la transmisión consistente, entonces se asegura que mientras se transmite el byte alto de la posición, el byte bajo no sea modificado sin antes haberlo

enviado al PLC. Solo después de esto el actuador podrá actualizar el valor de su posición actual.

Los datos que son intercambiados entre maestro y esclavo son ubicados en una zona de la memoria del S7-1200. Para acceder y manipular estos datos se usa las instrucciones DPRD_DAT y DPWR_DAT.

2.7.5.2 Instrucción DPRD_DAT [35]

DPRD_DAT se usa para leer datos consistentes de forma cíclica de un dispositivo esclavo Profibus DP. En la Figura 2.28, se observa la representación de la instrucción obtenida desde la librería “Periferia Descentralizada” del TIA PORTAL.

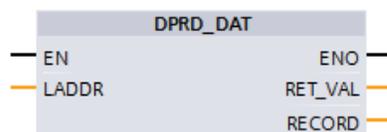


Figura 2.28. Representación de la Instrucción DPRD_DAT

Es preciso considerar que la longitud de los bloques de memoria creados en el esclavo, y a los cuales se desea acceder mediante DPRD_DATA o DPWR_DAT, sea mayor a 4 bytes, caso contrario las instrucciones retornarán un código de error [35].

2.7.5.3 Instrucción DPWR_DAT [35]

La instrucción DPWR_DAT se usa en caso de escritura de datos a un esclavo DP. En la Figura 2.29, se muestra el bloque de la instrucción mencionada.

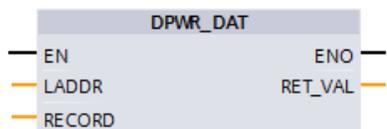


Figura 2.29. Representación de la Instrucción DPWR_DAT

Los parámetros mostrados en la Tabla 2.13, son asignados a los bloques de las instrucciones DPRD_DAT y DPWR_DAT.

Tabla 2.13. Parámetros de las instrucciones DPRD_DAT Y DPWR_DAT [35]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
LADDR	IN	HW_IO (Word)	Representa la dirección de inicio del bloque de memoria configurada para lectura de datos (DPRD_DAT), o escritura (DPWR_DAT).
RECORD	OUT	Variante	Área destino de los datos que son recibidos (DPRD_DAT) del esclavo DP o área fuente de los datos que son escritos (DPWR_DAT) al esclavo DP.
RET_VAL	OUT	Int	Retorna un código de error de cuanto dígitos si un error ocurre cuando el bloque está activo.

2.7.6 LECTURA DE BYTES DE ENTRADA DE ACTUADOR AUMATIC AC 01.2

Para la lectura, inicialmente se crea una zona de datos local en donde se almacenan los datos removidos desde los bloques de memoria creados para el actuador. Se usa un bloque de datos DB general llamado “Configuración” y dentro de este se crea una zona de datos llamada “BytesIN”, se declara como tipo byte con una longitud de 8 (*Array [0...7] of byte*) como se observa en la Figura 2.30.

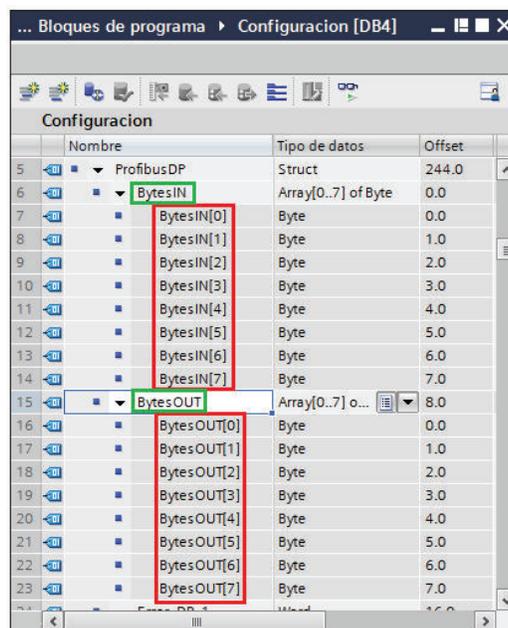


Figura 2.30. Zona de datos local para almacenar bytes de entrada y salida

Mediante la instrucción DPRD_DAT, se configura los parámetros LADDR, RET_VAL y RECORD tal como se muestra en la Figura 2.31.

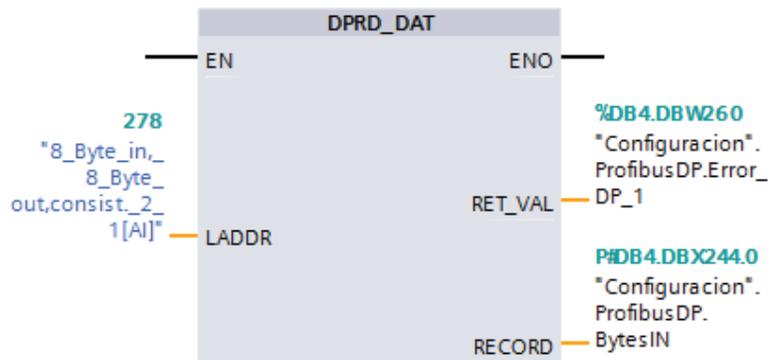


Figura 2.31. Configuración de parámetros para lectura de datos consistentes del actuador

Como se observa en el parámetro LADDR, se hace uso del identificador de hardware creado para el bloque de memoria de los bytes de entrada, el cual tiene el valor de 278.

La instrucción simplemente mueve los datos leídos desde el bloque de memoria de los bytes de entrada y los coloca en la zona de datos local creada (*BytesIN*). Al igual que el protocolo Modbus, más adelante estos bytes son tratados y enviados al HMI para que el operador pueda visualizarlos.

2.7.7 ESCRITURA DE BYTES DE SALIDA DEL ACTUADOR AUMATIC AC 01.2

Para realizar la escritura de bytes de salida se usa la instrucción DPWR_DAT. Previamente se crea una zona de datos fuente en un bloque de datos DB, en donde se colocan desde el programa de usuario la información necesaria para comandar al actuador.

La zona de datos se crea bajo el nombre "*BYTES_OUT*" como se muestra en la Figura 2.30. Se declara el tipo de dato "byte" con una longitud de 8 (*Array [0..7]* of byte).

Aquí se usa del identificador de hardware 279, creado por el S7-1200 para identificar el bloque de memoria de los bytes de salida. La instrucción DPWR_DAT, mostrada en la Figura 2.32, mueve los datos ubicados en la zona llamada BYTES_OUT al bloque de memoria de los bytes de salida. Este proceso se repite cíclicamente.

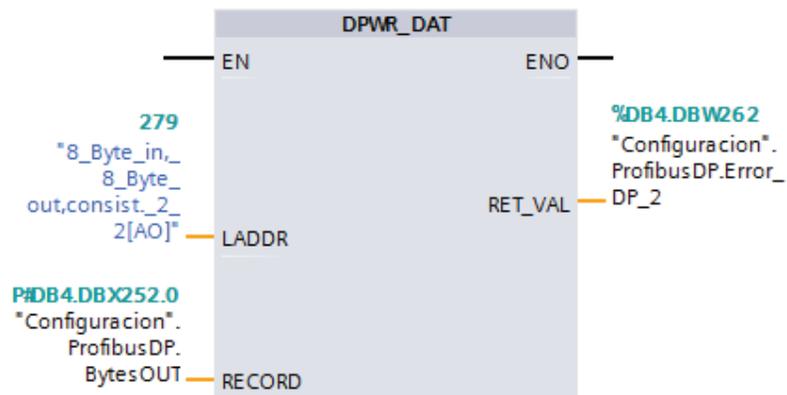


Figura 2.32. Configuración de parámetros para escritura de datos consistentes del actuador

CAPÍTULO 3

3. DESARROLLO DEL SOFTWARE E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

3.1 COMUNICACIÓN MEDIANTE PROTOCOLO MODBUS TCP/IP

El protocolo Modbus TCP está basado en la arquitectura Cliente/Servidor. El servidor es aquella estación de la red que provee los recursos solicitados por el Cliente, su rutina consiste en esperar una petición, ejecutar una tarea y finalmente proporcionar una respuesta al solicitante. El cliente es el que gestiona la conexión y desconexión de los servidores en la red, y hace uso de los recursos enviados por el servidor [41].

Haciendo una analogía con el protocolo Modbus RTU, el cliente de la red adopta las funciones de maestro, mientras que el servidor adopta las funciones del esclavo. Una diferencia importante entre las dos arquitecturas es el medio físico que utiliza cada uno para transferir la información, mientras que en Modbus RTU la información se transmite en base al estándar RS-485 (comunicación serial), en Modbus TCP la información se transmite en base al estándar TIA-568 A y TIA-568B (redes Ethernet).

3.1.1 PLANIFICACIÓN DE LA RED MODBUS TCP

3.1.1.1 Identificación de Clientes y Servidores de la red

Como primer paso para la construcción de la red Modbus TCP, se identifica todos los nodos de los que está constituida. El requisito primordial es que estos elementos cuenten con un puerto de comunicación Ethernet en su estructura, con lo cual estarán aptos para comunicarse bajo el protocolo Modbus TCP. Por lo tanto, los nodos son:

- PLC SIMATIC S7-1200
- Pantalla Táctil Red Lion G306A
- Estación Maestra SIMA

De los equipos mencionados anteriormente, se establece que el SIMATIC S7-1200 adopte la función de Cliente Modbus TCP y que los equipos restantes operen como servidores.

3.1.1.2 Direccionamiento de equipos en de la Red

La red implementada se considera como una red de área local (LAN), puesto que el perímetro en donde se encuentran los equipos es menor a 100 metros. A cada equipo se le asigna una máscara de subred y una dirección IP dentro del mismo rango, con el fin que el Cliente o el equipo de configuración accedan a cada uno de los dispositivos que conforman la red.

La estación maestra SIMA tiene una dirección IP establecida por defecto, tal como se muestra en la Figura 3.1. Por lo tanto todos los equipos restantes tendrán direcciones IP del tipo 192.168.1.X; donde x es un número variable de 2 a 254, y la máscara de subred es 255.255.255.0. Si no se cumplen estas condiciones, simplemente la comunicación entre los equipos no será posible [42].

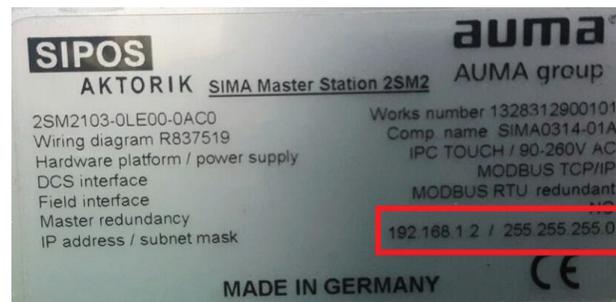


Figura 3.1. Dirección IP y Subred de Estación Maestra SIMA

De esta forma, la asignación de direcciones IP para los equipos de la red se establece tal como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Direcciones IP de los equipos de la Red LAN

Equipo	Dirección IP	Mascara deSubred
PLC SIMATIC S7-1200	192.168.1.3	255.255.255.0
Pantalla Táctil Red Lion G306A	192.168.1.4	
Estación Maestra SIMA	192.168.1.2	
Equipo de programación (PC o laptop)	192.168.1.9	

Como se observa en la Tabla 3.1, la red LAN también incluye el equipo de programación para el S7-1200, representada por un PC o Laptop. Este tipo de conexión es conocida como “Conexión PG.”

3.1.2 IMPLEMENTACIÓN FÍSICA DE RED DE ÁREA LOCAL

Debido a que la red LAN cuenta con más de dos equipos, la interconexión física de la red se hace mediante un *switch* Ethernet en conjunto con el cableado adecuado.

El cable usado para este fin es el UTP (*Unshielded Twisted Pair*) Categoría 5, tal como se observa en la Figura 3.2. Este es un cable que consta de 8 hilos de cobre asilados entre sí, se trenzan para formar cuatro pares de cables. El calibre de cada hilo es AWG #24 y no presenta ninguna protección adicional ante las interferencias electromagnéticas [43].

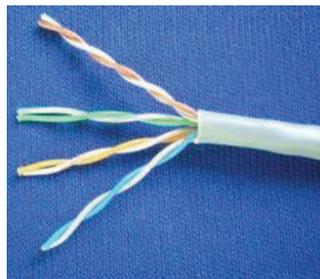


Figura 3.2. Cable UTP (Par trenzado sin blindaje) [43]

La terminación utilizada para el cable UTP se conoce como T568A, tal como se observa en la Figura 3.3. T568A es una asignación estándar que define el orden de cada hilo del cable UTP para ser conectado en cada pin del conector RJ-45 [44].



Figura 3.3. Terminación de Cable UTP con conector RJ-45 Macho

La conexión de la red LAN se hace mediante el Switch Compacto CSM 1277. La topología implementada es estrella, y la arquitectura final se ilustra en Figura 3.4.

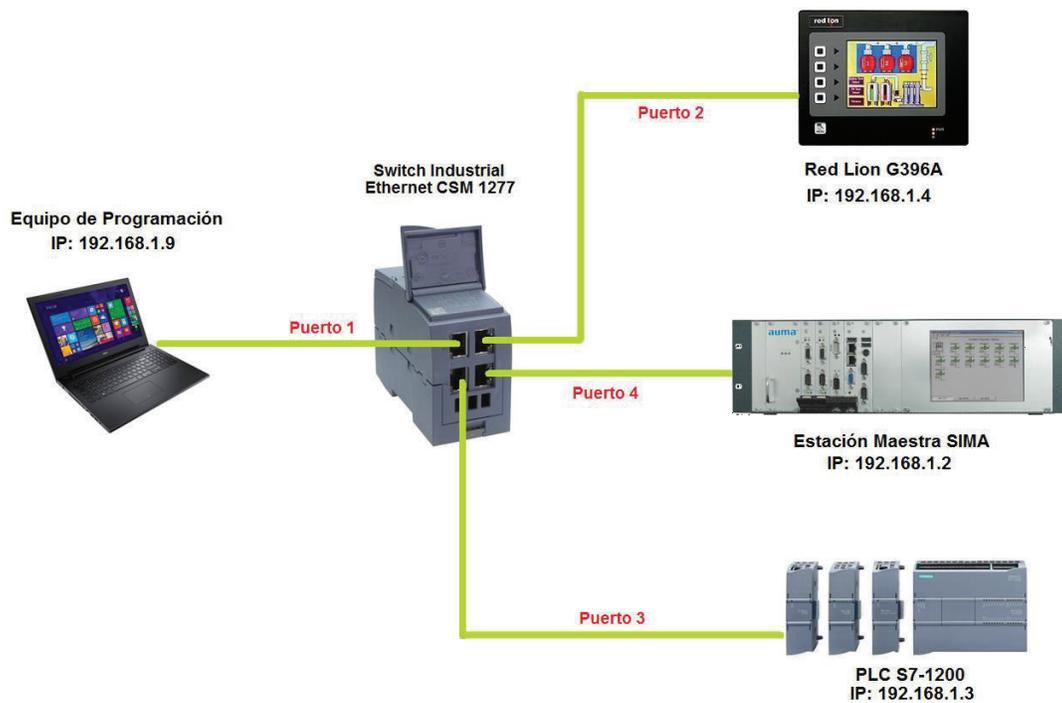


Figura 3.4. Arquitectura de Red LAN

3.1.3 PROGRAMACIÓN DE CLIENTES Y SERVIDORES MODBUS TCP

Una vez implementada la red LAN, se procede a programar los clientes y servidores de la red Modbus TCP. La programación y configuración de los servidores es una acción combinada entre el software de cada dispositivo.

Para establecer la Pantalla Táctil Red Lion G306A como servidor Modbus TCP se utiliza el software Crimson 3.0, y para la SIMA se usa el software SIMASoft. El CPU del S7-1200, a través del Software TIA PORTAL, está apto para configurarse como cliente de la red TCP.

3.1.3.1 PLC S7-1200 COMO CLIENTE MODBUS TCP

El Simatic S7-1200 se configura como cliente de la Red Modbus TCP a través de dos recursos:

1. **Hardware:** El puerto Profinet incluido en la misma CPU. Lo cual lo habilita para establecer conexiones TCP/IP.
2. **Software:** A través del TIA PORTAL usa el bloque de instrucción MB_CLIENT para entablar conexiones TCP/IP basadas en la arquitectura Cliente/Servidor.

Debido a que el hardware se configuró anteriormente, se procede a describir con más detalle la función MB_CLIENT.

3.1.3.1.1 Instrucción MB_CLIENT [35]

Las funciones principales del MB_CLIENT son: enviar peticiones de lectura/escritura hacia el servidor y recibir respuestas del mismo. Considerado como la cabeza en la comunicación; este gestiona la conexión y desconexión de los servidores en el proceso.

La instrucción se obtiene en la librería “Modbus TCP” del TIA PORTAL. En la Figura 3.5, se muestra el bloque de la instrucción.

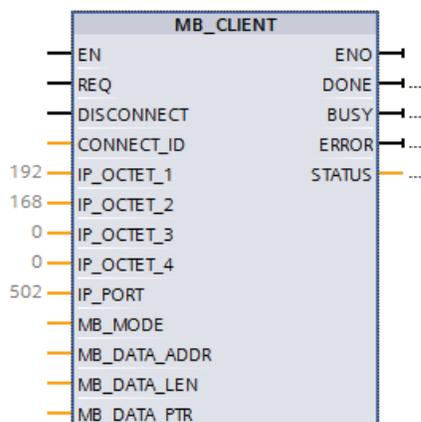


Figura 3.5. Instrucción MB_CLIENT

A diferencia de un dispositivo que usa Modbus RTU, un dispositivo Modbus TCP se direcciona de acuerdo a la dirección IP (IP_OCTECT) del servidor y de un número de puerto (IP_PORT). En la Tabla 3.2 se describen los parámetros del MB_CLIENT.

Tabla 3.2. Descripción de parámetros de la instrucción MB_CLIENT [35]

Parámetro	Declaración	Tipo de Dato	Descripción
DISCONNECT	IN	Bool	Establece una petición de conexión o desconexión del Servidor. 0 (FALSE): Servidor Desconectado 1 (TRUE): Servidor Conectado
CONNECT_ID	IN	UInt	Establece una identificación única de conexión entre el Cliente y Servidor
IP_OCTECT1 - IP_OCTECT4	IN	USInt	Dirección IP establecida para el Servidor. Un dirección IP está formada por cuatro octetos (8 bits cada uno)
IP_PORT	IN	UInt	Número de puerto del servidor mediante el cual el cliente establecerá comunicación. El valor por default es 502.

Establecer una petición hacia un servidor TCP se hace de la misma forma que en un esclavo Modbus RTU. Por lo tanto, los parámetros MB_MODE, MB_DATA_ADDR, MB_DATA_LEN, MB_DATA_PTR del MB_CLIENT cumplen la misma función que en la instrucción MB_MASTER.

El procedimiento para establecer un código de función Modbus se encuentra en la sección 2.6.6 y la descripción de los bits de control (DONE, BUSY, ERROR, STATUS) y en la Tabla 2.7 de este documento.

3.1.3.1.2 Múltiples conexiones con Servidores TCP

En la red Modbus TCP se establecen dos conexiones cliente/servidor a través del S7-1200, por lo tanto las siguientes reglas se toman en consideración:

- Cada instrucción MB_CLIENT debe ajustar una dirección IP única (IP_OCTECT) por cada servidor.
- Cada instrucción MB_CLIENT debe ajustar una única identificación de conexión (CONNECT_ID) por cada enlace entre cliente/servidor

La identificación de conexión para cada servidor, como se verá más adelante, se establecen como "1" y "2". Por último, si se desea realizar futuras expansiones, hay que considerar que el S7-1200 permite un máximo de 8 conexiones del tipo Cliente/Servidor.

3.1.3.2 Comunicación entre Pantalla RED LIÓN G306A y PLC S7-1200

El primer servidor es la pantalla táctil Red Lion G306A, su función principal es monitorizar y visualizar todos los parámetros del proceso. El equipo integra un puerto de comunicación Ethernet que distingue entre dos tipos de variantes tecnológicas: 10BaseT (10 Mbps) o 100BaseTX (100 Mbps).

Para crear el canal de comunicación con el PLC S7-1200 se configura la pantalla como servidor Modbus TCP desde el software Crimson 3.0. Como se observa en

la Figura 3.6, el controlador elegido para el puerto Ethernet de la pantalla es “TCP/IP Slave” y el protocolo usado es “Modbus”.

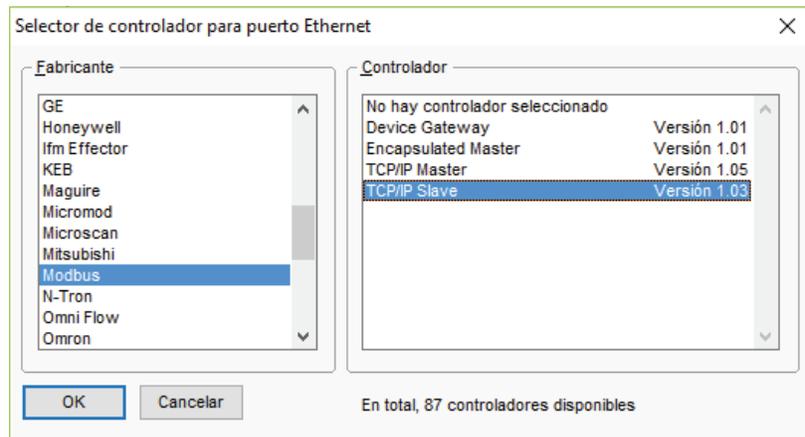


Figura 3.6. Configuración de comunicación Maestro/Esclavo

Una vez escogido el controlador, se realiza la configuración de los parámetros para el direccionamiento del servidor en la red de área local. Como se estableció anteriormente, la dirección IP para la pantalla se ajusta a 192.168.1.4 y la Máscara de Subred a 255.255.255.0, tal como se observa en la Figura 3.7.



Figura 3.7. Configuración del puerto Ethernet.

Un parámetro importante a configurar es el número de puerto TCP para la comunicación entre los dispositivos. Para el protocolo Modbus TCP el valor por defecto se ajusta a 502, tal como se muestra en la Figura 3.8.

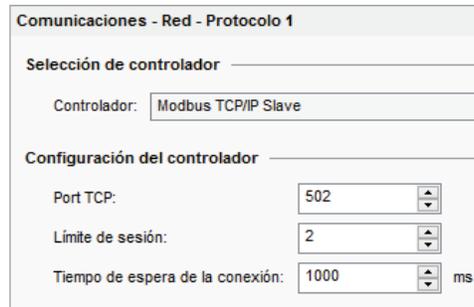


Figura 3.8. Ajuste de número de puerto

El modelo de datos del protocolo Modbus utiliza registros tipo “palabras” o “bits” para transmisión de datos. Por lo tanto se elige que los datos a intercambiar entre los dispositivos sean del tipo “*Holding Registers*” como se observa en Figura 3.9. La dirección inicial de los registros se establece en 400001.



Figura 3.9. Selección del tipo de registro a manipular

Crimson 3.0, al ser un software muy didáctico, presenta una diferencia entre los datos que son enviados y los datos que son recibidos.

Como se crean dos bloques de registros (lectura y escritura) el software simboliza de color verde las variables que se envían al PLC, y de color rojo las variables que se reciben del PLC, tal como podemos apreciar en la Figura 3.10.



Figura 3.10. Variables del HMI asignadas a cada registro.

Una vez establecido el servidor, se vincula este con el cliente Modbus TCP por medio de los parámetros de dirección IP y del puerto de comunicación del HMI en la función MB_CLIENT a través del TIA PORTAL.

3.1.3.3 Comunicación entre Estación Maestra SIMA y S7-1200

La SIMA tiene varias características para la comunicación con los Actuadores, pero esta también puede conectarse con un sistema de control de más alto nivel, es decir que se puede realizar control sobre esta estación y obtener toda la información que esta a su vez obtiene de los actuadores.

Para crear el canal de comunicación entre el S7-1200 y la SIMA es necesario conocer los datos del proceso que se intercambian entre ambos equipos.

3.1.3.3.1 Datos del Proceso entre SIMA y S7-1200

En la Tabla 3.3, se presenta la información general que la SIMA puede enviar y recibir de cada uno de los actuadores.

Tabla 3.3. Datos de comunicación de los actuadores [45]

Datos hacia los Actuadores (Señales de salida)	<ul style="list-style-type: none"> • Apertura • Cierre • Valor de Set Point
Datos desde los Actuadores (Indicaciones Generales)	<ul style="list-style-type: none"> • Carrera en Cierre • Carrera en Apertura • Set Point alcanzado • Posición de Cierre alcanzado • Posición de Apertura alcanzado • Falla de Torque en Cierre • Falla de Torque en apertura • Final de carrera en Cierre • Final de carrera en Apertura • Selector en REMOTO • Selector en LOCAL • Posición del Actuador (0 - 1000)
Datos desde los Actuadores (Indicaciones de Falla)	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador de falla • Indicador de peligro • Indicador de "No Listo" • Pérdida de fase • Falla térmica

La información que puede intercambiar la SIMA con el PLC S7-1200 es:

Proceso de datos hacia la SIMA → Forzar Búsqueda

Proceso de datos desde la SIMA → Lista viva para canal A y B

3.1.3.3.2 Configuración de la estación maestra SIMA

La estación maestra SIMA debe ser configurada para poder establecer la comunicación con los Actuadores Eléctricos. Presenta varios parámetros que pueden variar en base al proceso o aplicación para el cual esté trabajando.

La topología de red es una característica muy importante que la SIMA toma en cuenta dentro de sus parámetros a configurar, ya que en base a esta determinará la conexión de uno o ambos puertos de comunicación.

Una ventaja importante que presenta la SIMA en su configuración, es que puede limitar el número máximo de dispositivos esclavos que requiere un proceso y a su vez la dirección Modbus máxima que debe tener el último esclavo de la red.

En la Figura 3.11, se muestra la ventana con los parámetros SIMA configurados.

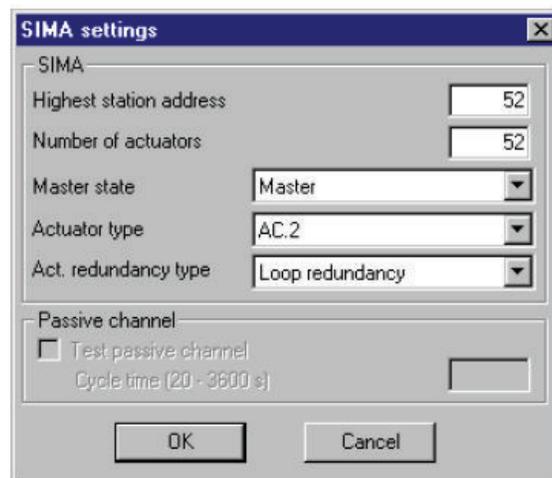


Figura 3.11. Parámetros de Configuración SIMA

Se debe configurar en la SIMA la velocidad de transmisión y los bits de paridad con los que realizará la transmisión y recepción de datos, como se muestra en la Figura 3.12.

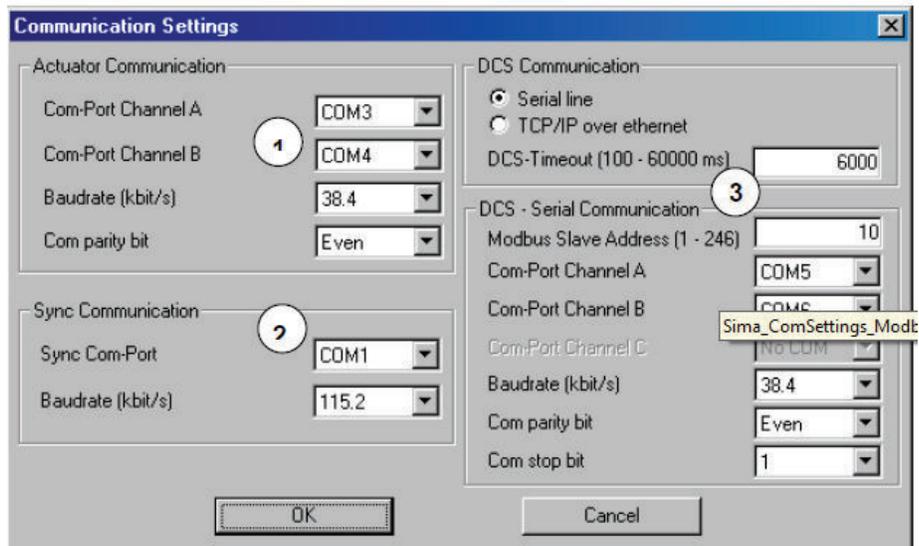


Figura 3.12. Parámetros de Comunicación de la estación maestra SIMA

3.1.3.3.3 Ajustes del SIMA como Servidor

Para conectarse con el servidor Modbus TCP, que para este caso representa la SIMA, se utiliza los recursos del TIA PORTAL. La configuración de los parámetros de comunicación y direccionamiento se establecen con la instrucción MB_CLIENT. La dirección IP asignada a la SIMA es 192.168.1.2 y el número de puerto se ajusta a 502.

3.2 DESARROLLO DEL TERMINAL DE VISUALIZACIÓN Y OPERACIÓN

3.2.1 HMI

HMI (*Human Machine Interface*) es un panel de control que permite la interacción entre el usuario con las máquinas. Aquí se puede crear el entorno de un proceso y mediante este panel se puede también automatizar cualquier proceso industrial y mantener monitorización de cada máquina o dispositivo que se encuentra dentro del mismo.

3.2.1.1 Características

El HMI permite al usuario interactuar en procesos que varían ampliamente desde plantas nucleares hasta botones de entrada en un dispositivo. Pero para un HMI es importante considerar:

- El medio para comunicarle a la máquina la operación a realizar, conocido esto como ENTRADA.
- La información al usuario acerca del progreso de los procesos, conocido como SALIDA.

3.2.1.2 Funciones [46]

Basado en las dos características principales que debe cumplir un HMI, este cumple con funciones específicas dentro de una automatización:

- **Monitoreo** de datos en tiempo real
- **Supervisión** de los datos monitorizados y ajustar las condiciones de trabajo en caso de requerirlo.
- **Alarmas** de eventos excepcionales dentro del proceso.
- **Control** para ajustar los valores del proceso dentro de los límites requeridos. Esta función va más allá de la supervisión de datos.
- **Históricos**, es decir el almacenamiento de datos del proceso en cierta frecuencia.

3.2.1.3 Tareas [46]

Tomando en cuenta que las funciones del HMI dependerán de las tareas que el programador establezca para el proceso, estas pueden cumplir con distintos objetivos, entre los cuales pueden ser:

- Comunicación con los dispositivos en campo
- Visualización de variables a través de objetos animados

- Enviar las señales para el proceso
- Análisis de las variables
- Control limitado de ciertas variables del proceso.

3.2.2 TOUCH SCREEN RED LION G306A [47]

El hardware para la implementación del HMI es la pantalla gráfica Red Lion G306A. Las características físicas y técnicas se mencionan a continuación:

- Botones físicos frontales para configuración de “Menús”.
- Manipulación táctil en la pantalla.
- Alcance hasta 5 puertos RS 232/422/485 (3 físicos y 2 opcionales en la tarjeta de comunicación).
- Puerto Ethernet 10 base T/100 base-TX para configuración en red.
- Puerto USB para cargar el programa desde el PC.
- Capacidad de insertar una Flash Compacta para incrementar la capacidad de memoria.
- Alimentación de 24 VDC, con tolerancia de 20 %.
- Memoria no volátil de 8 Mbyte, expandible mediante flash compacta.

3.2.3 SOFTWARE CRIMSON 3.0

EL software para la programación de la pantalla Red Lion G306A es Crimson 3.0. Este es una plataforma utilizada para desarrollar interfaces de operador en un entorno de programación con características que permiten implementar y configurar representaciones de procesos de control de manera fácil. El software es de libre descarga, y puede ser obtenido desde la página oficial de Red Lion [48].

Este software corre desde versiones de Windows XP en adelante. Los requerimientos para la instalación son bastantes bajos ya que solamente utiliza 150 MB de memoria libre en el disco [49].

3.2.4 DESCRIPCIÓN DE PANTALLAS

Haciendo uso de las herramientas que ofrece Crimson 3.0 se diseña un número de pantallas necesarias para representar el proceso general de la red industrial. A continuación se detallan las principales pantallas:

En la Figura 3.13, se muestra el menú principal de operación, este permite seleccionar entre comandar actuadores eléctricos con interfaz Modbus o interfaz Profibus. Además presenta la opción de comandar la estación maestra SIMA.

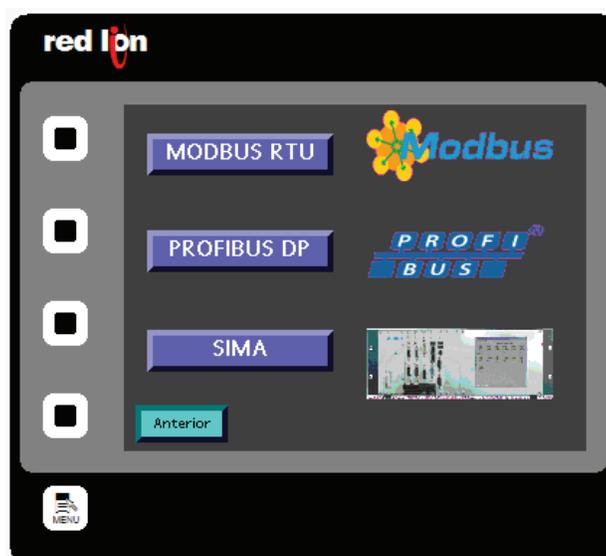


Figura 3.13. Menú Principal de Operación

En la Figura 3.14, se muestra la ventana de distribución de los actuadores con interfaz Modbus en base a su dirección de esclavo. Esta distribución aplica de manera similar para los actuadores eléctricos con interfaz Profibus y aquellos que se comandan con la SIMA. Para cada protocolo varía de la cantidad de esclavos. Desde esta pantalla el operador puede ingresar a la ventana de operación de un actuador seleccionando su dirección de esclavo en la parte inferior de su representación (botón azul).

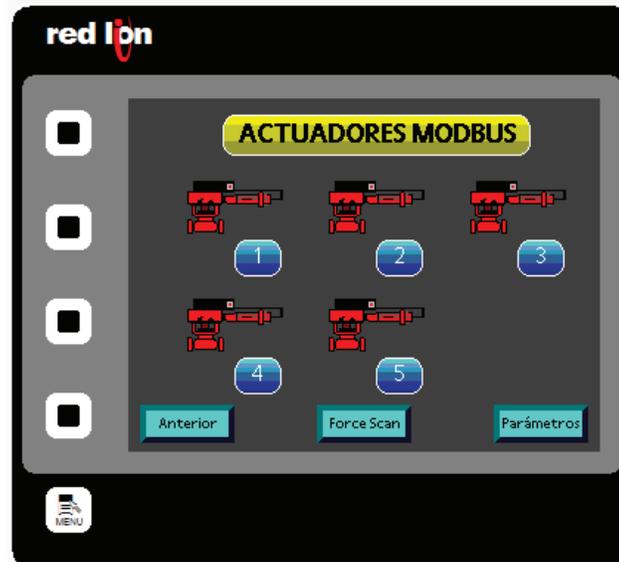


Figura 3.14. Distribución de Actuadores Eléctricos dentro de la red.

La Figura 3.15 presenta la ventana de operación de un actuador. Esta ventana cuenta con botones de acción para operar a cada actuador (ABRIR, CERRAR, PARO, SETPOINT) y de igual manera cuenta con indicadores para las señales obtenidas desde el Actuador (Posición Actual y Alarmas).

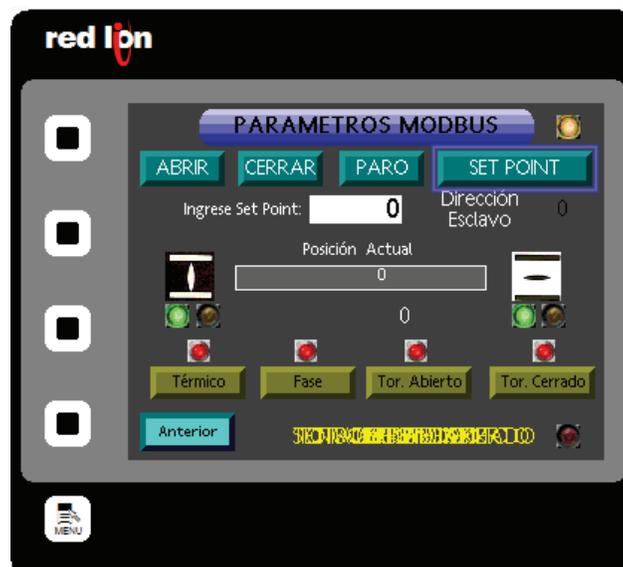


Figura 3.15. Pantalla de Operación.

3.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED INDUSTRIAL

3.3.1 TABLERO DE CONTROL

La implementación de tablero de control se realiza en base a la norma IEC 61439-1 e IEC 61439-2, considerando que es un tablero control de baja potencia. En la Figura 3.16 y Figura 3.17 se ilustra el tablero con todos los elementos de protección, control y maniobra necesarios.



Figura 3.16. Parte frontal tablero de Control



Figura 3.17. Parte interior del tablero de Control

La parte frontal está constituida por la pantalla táctil, mediante la cual el operador interactúa con el proceso, visualiza y monitoriza todas las variables, y observa resultados. Además, se incluye elementos para control remoto: tres pulsadores y dos selectores de dos posiciones de la marca Camsco.

En la parte inferior se observa tres conectores DB9 hembra, dos son destinados para la conexión de la interfaz Modbus y uno para la interfaz Profibus. También cuenta con un conector RJ45 para la conexión de la interfaz Ethernet basado en el protocolo de comunicación Modbus TCP/IP.

3.3.1.1 Elementos constitutivos del tablero

El tablero de control está constituido en base a los siguientes elementos:

- Fuentes de Alimentación
- Elementos de Control
- Elementos de Maniobra
- Protecciones
- Elementos de conexión

Para que el tablero efectúe de forma óptima todas sus funciones, todos los componentes mencionados deben ser integrados en el interior del mismo siguiendo las normas básicas de seguridad y protección [50]. A continuación se describe de forma general los aspectos constructivos del tablero:

Envolvente: Es una carcasa metálica, diseñada para montarse sobre una superficie plana. Es resistente a penetraciones de elementos de pequeña dimensión como alambres, y resistente a chorros de agua proveniente de todas direcciones (IP 65) [51].

Chasis: De color tomate en la Figura 3.19, es un doble fondo metálico sobre el que se montan los elementos de soporte como son: riel DIN y las canaletas plásticas.

Elementos de Cableado y Conexión: Para la conexión eléctrica de todos los componentes internos se usa la designación de conductores que se ilustra en la Figura 3.18.



Figura 3.18. Designación de conductores

El cable usado en todos los casos es el AWG #18. Para dar continuidad a conexiones sin tener que hacer uso de empalmes se utiliza borneras plásticas para rieles.

Protecciones: El S7-1200 y ambas fuentes de alimentación SITOP y S8VS están protegidas contra sobrecargas y cortocircuitos con fusibles de 1 amperio cada una.

3.3.1.2 Compartimentación¹

En la Figura 3.19, se observa el CPU 1212C con los módulos de comunicación CM 1241 (Modbus) y CM 1243-5 (Profibus) conectados en la parte izquierda del CPU. Adicionalmente, se ubica el *switch* Ethernet estratégicamente también en la parte izquierda con el fin de disminuir el cableado del conductor UTP hacia la pantalla táctil y hacia la SIMA.

La separación entre el PLC y las fuentes de voltaje se hace en dos niveles. Puesto que el PLC es el componente que emite más cantidad de calor, es colocado en la parte inferior, por lo tanto las fuentes de alimentación están situadas en la parte superior. Siguiendo las consideraciones del fabricante, las fuentes de alimentación

¹ **Compartimentación:** Separación de las unidades funcionales que intervienen en un tablero de control [53].

SITOP y S8VS se colocan a una separación mínima de 5 cm entre ellas y con otros elementos laterales.

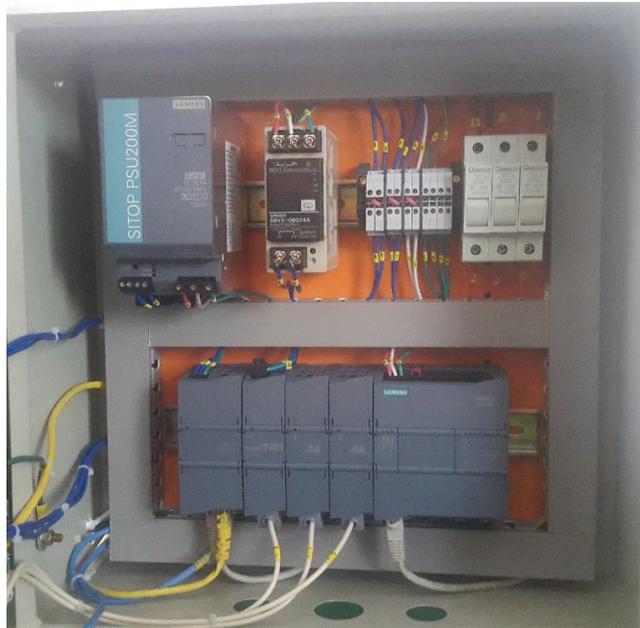


Figura 3.19. Elementos de control, alimentación y protección del Tablero

3.3.1.3 Conexión Remota de Actuadores desde el Tablero de Control

Para la conexión remota, en caso que se produzca una falla en la comunicación a través de la línea de bus con un actuador, se usa los pulsadores y selectores instalados en la parte frontal del tablero de control, como se observa en la Figura 3.20.



Figura 3.20. Interfaz para el control remoto en los actuadores

Los actuadores eléctricos AUMA, en su estructura interna poseen un módulo de entradas analógicas y digitales para dar los comandos básicos de operación de forma directa, con lo cual se brindan al sistema de control una vía de comunicación adicional con lo actuadores. Este control puede ser activado manualmente en el tablero de control

Los cables de la interfaz se conectan de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Figura 3.21.

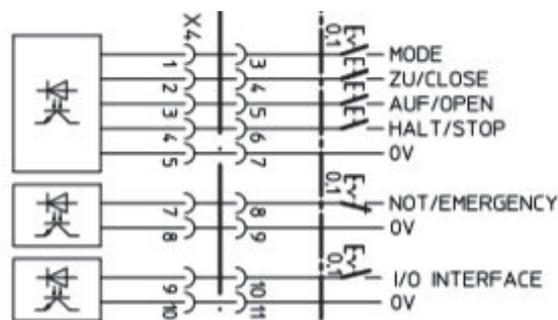


Figura 3.21. Diagrama de conexión para comandar actuadores de forma remota.

La entrada 4 (CLOSE) permite enviar el comando de cerrar al actuador, la entrada 5 (OPEN) envía el comando de abrir, mientras que la entrada 6 (STOP) detiene el movimiento del actuador. Las entradas 3 (MODE) y 6 (INTERFAZ) permiten escoger el modo de control y forma comunicación sobre el actuador. Esto se explica en la siguiente sección del documento.

Las entradas digitales se activan con un voltaje de 24 VDC @ 100 mA. Para este fin se usa la fuente SITOP de SIEMENS que entrega una salida eléctrica a sus bornes de 24 VDC y permite un consumo máximo en la carga de 5 A.

Los pines físicos del módulo de entradas analógicas y digitales y las conexiones realizadas se observan en la Figura 3.22.

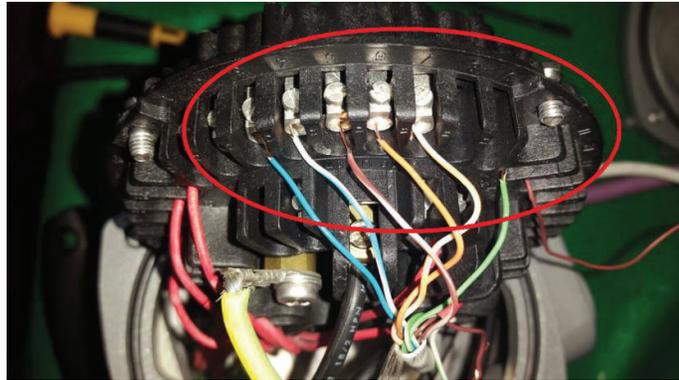


Figura 3.22. Conexión eléctrica de pines para comandar actuadores en forma remota

La red implementada es para uso didáctico y de demostración, de modo que la conexión remota se hace para un solo actuador. Si se hiciera para todos los actuadores de la red, perdería sentido el implementar una red digital de campo.

3.3.1.4 Operación del Tablero de Control

La función del tablero depende de la configuración de los selectores ubicados en la parte frontal (Figura 3.20):

- Selector número 1 → Interfaz: El operador puede escoger entre comandar a los actuadores de forma **remota** desde los pulsadores en la parte frontal del tablero, o haciendo uso del **bus** de campo a través el HMI.
- Selector número 2 → Modo: El operador puede escoger entre comandar los actuadores utilizando entradas discretas (*on/off*) mediante los pulsadores de la parte frontal del tablero, o utilizando una consigna analógica de corriente de 0/4-20 mA.

3.3.2 CONEXIÓN ELÉCTRICA DE LOS EQUIPOS DE LA RED

La red industrial cuenta con los siguientes equipos:

- 2 Actuadores Eléctricos AUMATIC AC 01.2 Modbus RTU

- 1 Actuador Eléctrico AUMATIC AC 01.1 Modbus RTU
- 2 Actuadores Eléctricos SIPOS Flash 5 Modbus RTU
- 1 Actuador Eléctrico AUMATIC AC 01.2 Profibus DP

Debido a que la red Industrial es orientada a fines didácticos y se encuentra en el establecimiento de capacitación de la Empresa AUMA, todas las pruebas y demostraciones hechas en los actuadores se realizan en vacío. Por lo tanto, el consumo de corriente que requiere cada uno de los actuadores es muy bajo, haciendo posible que la alimentación eléctrica de los actuadores se haga directamente desde los tomacorrientes de la sala de capacitación.

Los requerimientos eléctricos para los actuadores son:

- **Parte mecánica (Motor):** Voltaje alterno de 110 a 120 V a una frecuencia de funcionamiento de 60 Hz.
- **Módulo de Control:** El consumo máximo de 650 mA @ 110 a 120 VAC.

En base a los requerimientos mencionados, no es necesario ningún tipo de acometida especial. Este hecho también se respalda debido a que los actuadores SIPOS internamente tienen un variador de velocidad, lo que asegura que la corriente de arranque para estos actuadores sea prácticamente nula.

Sin embargo, si la instalación de los actuadores se extiende al campo industrial donde las fluctuaciones de voltaje y corriente son más frecuentes, algunas consideraciones importantes que se deben tomar en torno a la protección de los actuadores son:

- La variación máxima de voltaje permisible en los actuadores es: $\pm 20\%$
- La variación máxima de frecuencia permisible es: $\pm 5\%$ [34]

3.3.3 PUESTA EN MARCHA DE LOS ACTUADORES ELÉCTRICOS PARA LA RED DE CAMPO

La puesta en marcha de los actuadores consiste en ajustar los parámetros de comunicación de cada uno para que puedan integrarse a la red Industrial Modbus o Profibus, dependiendo de su interfaz.

Los parámetros más sobresalientes en cada actuador son:

1. Dirección del Actuador en la Red
2. Velocidad de Transmisión
3. Paridad y Bits de parada

Par el caso de los actuadores AUMATIC AC 01.2 Modbus RTU, AUMATIC AC 01.1 Modbus RTU, AUMATIC AC 01.2 Profibus DP; estas versiones poseen una pantalla frontal en la parte de control, como se observa en la Figura 3.23, desde la cual, ingresando al menú de configuración del protocolo con ayuda de los botones presentes en el lado derecho de la pantalla, se configura los parámetros de comunicación.



Figura 3.23. Configuración de parámetros de comunicación en Actuadores AUMA

Como lo exige el protocolo de comunicación Modbus, todas las estaciones pasivas de la red deberán ajustarse a los mismos parámetros de comunicación establecidos previamente en el Maestro de la Red.

Los actuadores Modbus son configurados a la velocidad de transmisión máxima posible. Tomando en cuenta que el actuador más lento puede alcanzar una tasa de transmisión de 38400 bit/s, todos los demás actuadores son configurados a esa velocidad de transmisión. En todos los casos, la paridad escogida es par y los bits de parada son dos.

El direccionamiento de los actuadores Modbus, por fácil identificación, se hace en orden ascendente, desde la estación 1 hasta la 5, en este caso no es necesario que el maestro Modbus sea asignado una dirección.

Para el caso del actuador con interfaz Profibus la velocidad de transmisión escogida es de 1.5 Mbit/s, y la dirección establecida es la número 5, aun cuando se dispone de un solo actuador Profibus. Para este protocolo al dispositivo maestro generalmente se asigna la dirección número 1.

3.3.4 CONEXIÓN DEL CABLE DE BUS DE CAMPO

La comunicación hacia los actuadores Modbus y Profibus se hace con los cables y conectores establecidos en el estándar EN50170. El cable utilizado es el que se observa en la Figura 3.24.



Figura 3.24. Cable Profibus [52]

El cable Profibus (Tipo A) consiste en un par de hilos de calibre 22AWG de cobre, presenta doble apantallamiento y su recubrimiento es de PVC de color púrpura [52].

Al retirar la tapa lateral de actuador, se encuentra la pletina de conexión estándar para los cables del bus. Como se observa en la Figura 3.25, algunos actuadores incluyen dos canales de conexión en caso de que el sistema de control requiera implementar redundancia de canal. No todos los actuadores de la red presentan

esta propiedad, por lo tanto, la conexión del bus se realiza usando un solo canal (*Channel 1*).



Figura 3.25. Pletina de Conexión Estándar

En el canal 1 de la pletina estándar se incluyen dos borneras de conexión, debido a la topología de red de encadenamiento implementada en los actuadores. La primera bornera se conecta a la estación anterior y la segunda se conecta a la estación siguiente.

La conexión de los hilos de cable Profibus se realiza en base al estándar RS-485, tal como se presenta en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Designación de Pines para conexión del cable Profibus [34]

Cable Profibus	Indicación en la pletina de AUMA	Pines en conector DB9 (RS-485)	Color
A	N/A	8	Verde
B	P/B	3	Rojo

Para la red de actuadores Modbus se usa terminadores red² activos, que son módulos externos de resistencias con su propia fuente de alimentación, como se muestra en la Figura 3.26.

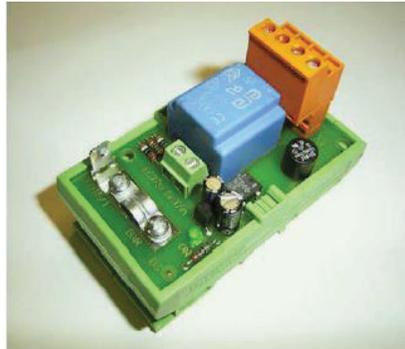


Figura 3.26. Terminador activo de Red [45]

La red Profibus cuenta con un solo actuador, por lo tanto, la misma estación representa el final del bus. Para la terminación de la línea se utiliza un terminador de red incluido en la pletina de conexión estándar del actuador. La activación se controla en base a un interruptor (*ON/OFF*).

3.3.5 ACTUADORES MODBUS EN ENCADENAMIENTO DE LAZO CERRADO

Uno de los objetivos del proyecto es implementar una red de comunicación que garantice el intercambio de datos con los actuadores aun cuando surjan fallas en la línea de bus. La falla hace referencia a los siguientes casos:

- Ruptura de un segmento de bus entre dos actuadores
- Pérdida del suministro eléctrico en algún actuador

²**Terminador de red:** Conjunto de tres resistencias cuyos valores se escogen para igualar la impedancia característica del cable Profibus, típicamente 150 Ohm [54].

En cualquiera de los dos casos, se pretende que el sistema de control detecte la falla en el menor tiempo posible, se recupere, y evite que la comunicación con los demás actuadores del bus se vea afectada.

Por los mecanismos desarrollados, si se produce una falla, el sistema de control para la red Modbus está en capacidad de:

- Segmentar la línea de bus en dos líneas independientes. En caso de ruptura del cable, el maestro de respaldo toma el mando de la línea segmentada, y mantiene la comunicación de los actuadores restantes de esa línea, tal como se ilustra en la Figura 3.27.

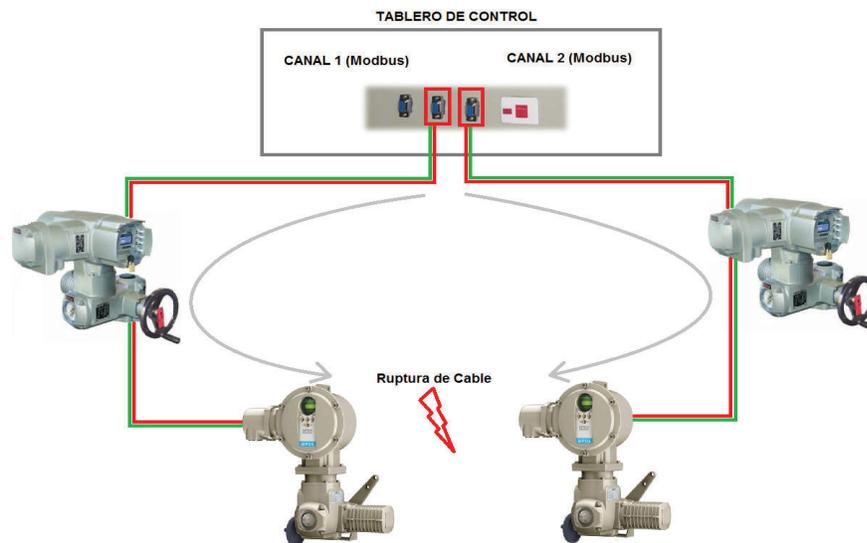


Figura 3.27. Comunicación del sistema de control en caso de ruptura en el cable de bus

Por las características de los actuadores:

- En caso de perder el suministro eléctrico, los conductores provenientes de los actuadores vecinos son enlazados automáticamente, logrando mantener la estructura de lazo cerrado en la red. Esto se observa en la Figura 3.28.

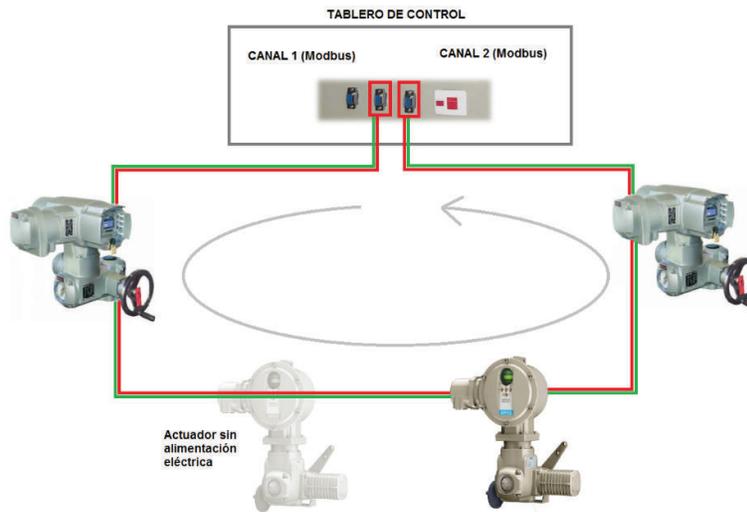


Figura 3.28. Interconectado del bus en caso de un actuador sin suministro eléctrico.

CAPÍTULO 4

4. PRUEBAS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta las pruebas realizadas en cada protocolo de comunicación con el fin de identificar el estado de transmisión y recepción de datos. A su vez enumerar los resultados generados en la comunicación con el fin de detectar las correspondientes señales que emiten los Actuadores Eléctricos.

4.1 PRUEBAS

4.1.1 PRUEBA DE COMUNICACIÓN EN LA RED DE ÁREA LOCAL

Esta prueba consiste en diagnosticar la conectividad de cada uno de los equipos que conforman la red de área local.

Para este fin se usa la herramienta de administración de redes más popular; a través del comando “Ping” se envía una trama de datos hacia un dispositivo remoto de la red, y este responderá con una “trama eco” en caso de que el equipo se encuentre accesible.

La prueba se realiza por medio del “Símbolo del Sistema”, tecleando “cmd” en la pantalla de inicio para ingresar a la misma y seguido por el comando “Ping + [Dirección IP del equipo remoto]”. Como se muestra en la Figura 4.1.



```
cmd
Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.
C:\Users\USUARIO>ping 192.168.1.9
```

Figura 4.1. Comando Ping.

4.1.2 PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON MODBUS RTU

El estado de funcionamiento de la comunicación a través del protocolo Modbus RTU se verifica mediante la comparación de valores en cada registro entre el programa simulador “*Modbus Master Simulator*” (Simulador Maestro Modbus) y los datos enviados y recibidos a través del S7-1200.

El *Modbus Master Simulator*, es una herramienta del Software CDT (*Commissioning Data Technician*), que funciona como dispositivo maestro en donde se puede visualizar los valores de cada bit correspondiente a cada registro de salida y de entrada.

La Figura 4.2, muestra la ventana del software simulador para Modbus RTU.

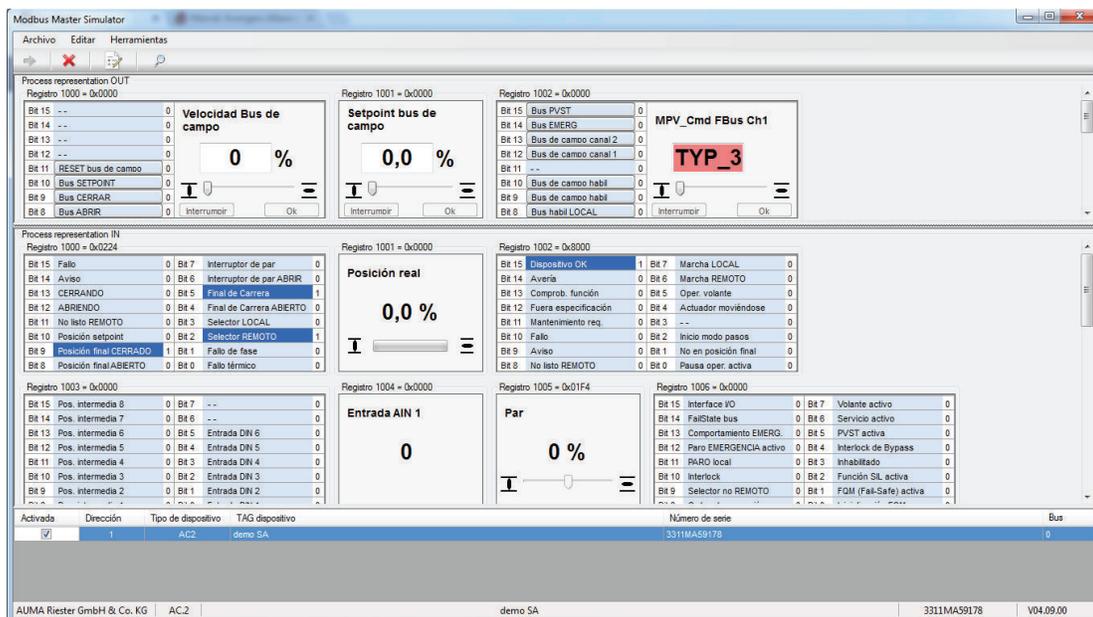


Figura 4.2. *Modbus Master Simulator*

Mediante el software descrito anteriormente, se realiza la comunicación hacia un Actuador Eléctrico, enviando comandos de apertura, cierre y alcance de Set Point. En este se visualizará el valor de cada registro con los bits desplegados, detectando de esta manera alarmas, fallas y avisos de estado de cada dispositivo esclavo.

4.1.3 PRUEBA DE COMUNICACIÓN DE LAZO CERRADO EN MODBUS RTU

El objetivo de una red en lazo cerrado, como se ha mencionado en capítulos anteriores, es no perder la comunicación en caso que el sistema de control detecte falla por cualquier causa en la línea de bus.

Para comprobar que la red cumple el objetivo de mantener la comunicación en caso de ruptura de lazo, se desconecta el cable de comunicación entre el Actuador 2 y Actuador 3 tal como se muestra en la Figura 4.3. De esta manera la red queda dividida en dos segmentos.



Figura 4.3. Ruptura del lazo de comunicación

4.1.3.1 Prueba con Canal A y Canal B conectados en el Tablero de Control.

Se conectan ambos canales en el Tablero de Control, como se indica en la Figura 4.4, para comprobar la lectura de conexión de cada Actuador Eléctrico.

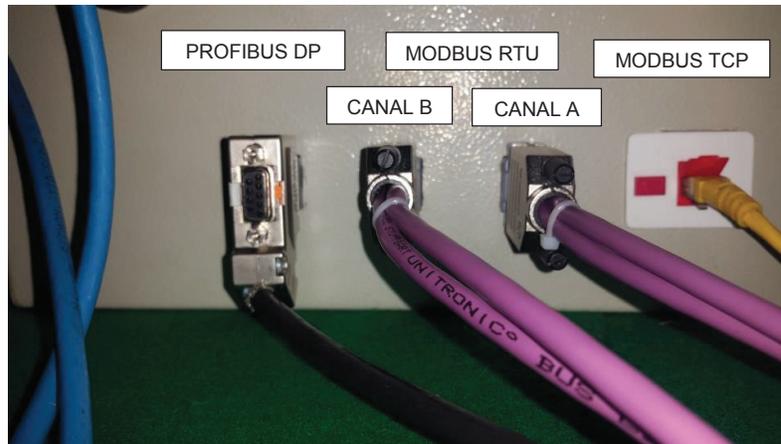


Figura 4.4. Canal A y Canal B conectados en el Tablero de Control

4.1.3.2 Prueba con Canal A y Canal B conectados en el Tablero de Control y Actuador 4 desconectado de la comunicación.

Se conectan ambos canales de comunicación en el Tablero de Control. En esta prueba se desconecta el Actuador 4 de ambos canales de comunicación.

4.1.3.3 Prueba con Canal A desconectado y Canal B conectado en el Tablero de Control

En el Tablero de Control se desconecta el Canal A, pero se mantiene la conexión del Canal B, esto se puede apreciar en la Figura 4.5.

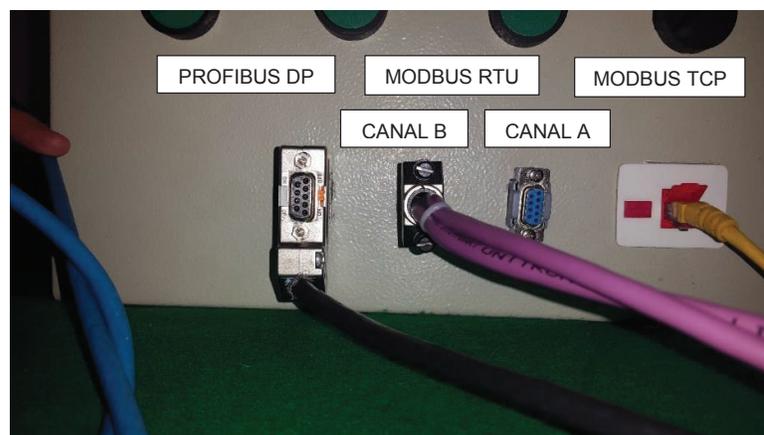


Figura 4.5. Canal A desconectado y Canal B conectado en el Tablero de Control

4.1.3.4 Prueba con Canal A conectado y Canal B desconectado en el Tablero de Control

En el Tablero de Control se conecta nuevamente el Canal A, y ahora el Canal B se desconecta, tal como se puede ver en la Figura 4.6.

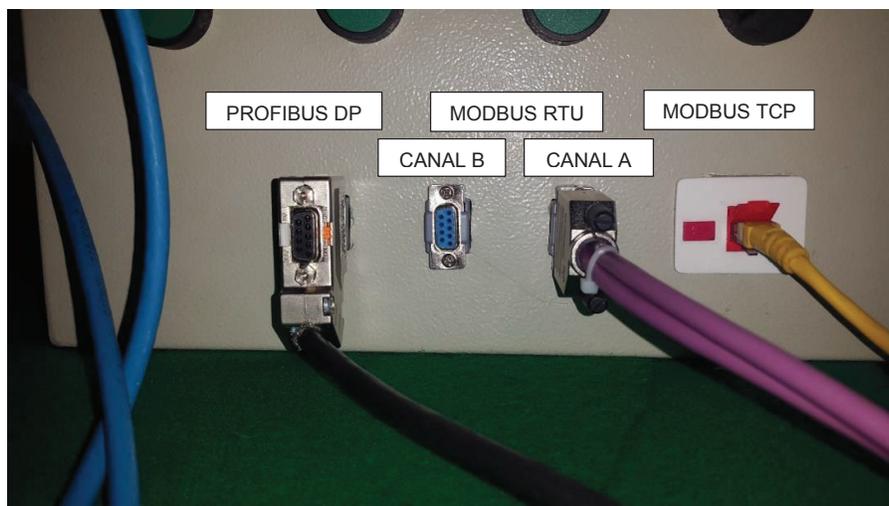


Figura 4.6. Canal A conectado y Canal B desconectado en el Tablero de Control.

4.1.3.5 Prueba de tiempos de comunicación intercambiando canales en el Tablero de Control

Los Actuadores Eléctricos entran en comunicación con el Tablero de Control con un retardo de tiempo. Tomando en cuenta diferentes situaciones a las que puede enfrentarse la comunicación, se realiza una medición de tiempos para tabular el comportamiento de la red.

4.1.4 PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON PROFIBUS DP

Esta prueba consiste en verificar la comunicación entre el equipo maestro S7-1200 y el esclavo Profibus DP representado por el actuador AUMA. Debido a que no se cuenta con un *Tester* adicional para comprobar la conexión de los equipos Profibus en la red, a través de la interfaz PG/PC del S7-1200 se hace uso de la herramienta

de visualización *online*, que incluye el TIA PORTAL, para poder monitorizar los equipos comunicados con el PLC en tiempo real.

Primero, se verifica si existe conexión entre el maestro y esclavo DP, y posteriormente se observa la información que se intercambia entre las estaciones. Escribiendo en los registros de salida (comandos) se observa el comportamiento del actuador mediante los registros de entrada.

4.1.5 PRUEBA DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP

Para comprobar la comunicación con la estación maestra SIMA, mediante Modbus TCP/IP, se mantiene la red de comunicación de la misma forma que en Modbus RTU, es decir con la ruptura del lazo de comunicación entre Actuadores 2 y 3, y el Actuador 4 fuera de la red de campo.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 RESULTADO DE COMUNICACIÓN EN LA RED DE ÁREA LOCAL

La red de área local cuenta con tres equipos remotos, de modo que los resultados se muestran a continuación:

El comando Ping para el PLC S7-1200 con dirección IP **192.168.1.3** se muestra en la Figura 4.7.



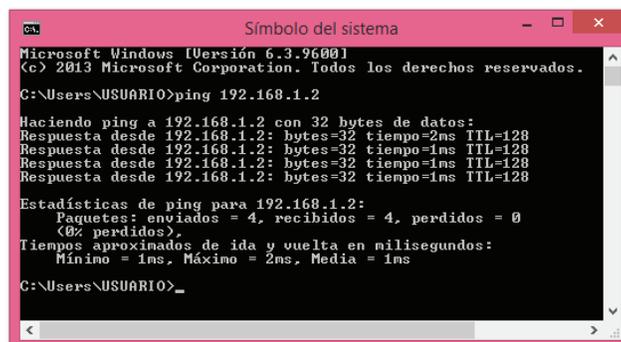
```
C:\Users\USUARIO>ping 192.168.1.3
Haciendo ping a 192.168.1.3 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.3: bytes=32 tiempo=6ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.3: bytes=32 tiempo=16ms TTL=30
Respuesta desde 192.168.1.3: bytes=32 tiempo=1ms TTL=30

Estadísticas de ping para 192.168.1.3:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 16ms, Media = 6ms

C:\Users\USUARIO>
```

Figura 4.7. Comando Ping para PLC S7-1200

El comando Ping para la SIMA con dirección IP **192.168.1.2** se muestra en la Figura 4.8.



```

Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.1.2

Haciendo ping a 192.168.1.2 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.2: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.1.2:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\Users\USUARIO>

```

Figura 4.8. Comando Ping con Estación Maestra SIMA

El comando Ping para la Pantalla Táctil Red Lion G306A con dirección IP **192.168.1.4** se muestra en la Figura 4.9.



```

Microsoft Windows [Versión 6.3.9600]
(c) 2013 Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\USUARIO>ping 192.168.1.4

Haciendo ping a 192.168.1.4 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.1.4: bytes=32 tiempo=2ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.4: bytes=32 tiempo=1ms TTL=128
Respuesta desde 192.168.1.4: bytes=32 tiempo=3ms TTL=128

Estadísticas de ping para 192.168.1.4:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 3ms, Media = 2ms

C:\Users\USUARIO>

```

Figura 4.9. Comando Ping con Pantalla Táctil Red Lion G306A

Los resultados muestran que todos los equipos remotos son capaces de devolver la trama hacia el equipo fuente y no existe pérdida de paquetes en la comunicación, por lo tanto todos los equipos de la red de área local están disponibles para comunicarse dentro de la misma.

4.2.2 RESULTADO DE COMUNICACIÓN CON MODBUS RTU

En la Tabla 4.1, se muestra los comandos de operación enviados desde el maestro S7-1200 hacia los actuadores, junto con las direcciones de registro y los valores

configurados para cada comando. Se compara estos valores usando el Simulador Maestro Modbus.

Tabla 4.1. Datos de Salida desde las estaciones maestras

Comandos de operación	Modbus Master Simulator		S7-1200	
	Registro	Dato	Registro	Dato
Abrir	1000	16#0100	1000	256
Cerrar	1000	16#0200	1000	512
Valor de Set Point	1001	16#026D	1001	621
Alcanzar Set Point	1000	16#0400	1000	1024
Paro	1000	16#0800	1000	2048

Valor Hexadecimal	→	Valor Decimal
100	→	256
200	→	512
26D	→	621
400	→	1024
800	→	2048

Como se puede apreciar en la Tabla 4.1, el Simulador Maestro Modbus muestra las funciones Modbus requeridas para la comunicación, valores que son útiles para la configuración y programación del S7-1200.

Los valores que se visualizan desde el Simulador Maestro Modbus son hexadecimales, mientras que el PLC envía valores decimales, realizando la conversión se puede apreciar que los valores son los mismos.

Para el caso del comando “Valor de Set Point”, se toma el dato momentáneo, ya que este puede tomar valores entre 0 y 1000 (Valor Decimal), que representan la posición del Actuador entre 0 y 100%.

En la Figura 4.10, se muestra la ventana del TIA PORTAL V13, en modo *online*; de esta manera se comprueba los comandos de operación que se envían desde el PLC y los valores que recibe este desde los Actuadores.

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arr...	Valor de observación
8	▼ Enviar	Array[0..9] of UInt	50.0		
9	■ Enviar[0]	UInt	0.0	0	512
10	■ Enviar[1]	UInt	2.0	0	600
11	■ Enviar[2]	UInt	4.0	0	0
12	■ Enviar[3]	UInt	6.0	0	0
13	■ Enviar[4]	UInt	8.0	0	0
14	■ Enviar[5]	UInt	10.0	0	0
15	■ Enviar[6]	UInt	12.0	0	0
16	■ Enviar[7]	UInt	14.0	0	0
17	■ Enviar[8]	UInt	16.0	0	0
18	■ Enviar[9]	UInt	18.0	0	0
19	▼ Recibir	Array[0..9] of UInt	70.0		
20	■ Recibir[0]	UInt	0.0	0	36
21	■ Recibir[1]	UInt	2.0	0	0
22	■ Recibir[2]	UInt	4.0	0	1024
23	■ Recibir[3]	UInt	6.0	0	0
24	■ Recibir[4]	UInt	8.0	0	0
25	■ Recibir[5]	UInt	10.0	0	0
26	■ Recibir[6]	UInt	12.0	0	0
27	■ Recibir[7]	UInt	14.0	0	0
28	■ Recibir[8]	UInt	16.0	0	0
29	■ Recibir[9]	UInt	18.0	0	0

Figura 4.10. Software TIA PORTAL en modo *online*

Como se aprecia en la imagen anterior, mientras se envían señales hacia los actuadores, se puede observar al mismo tiempo el comportamiento de los mismos mediante los registros de entrada. Estos valores se visualizan a través del HMI, tal como se muestra en la Figura 4.11.



Figura 4.11. Estado de los Actuadores Eléctricos vistos en el HMI.

4.2.3 RESULTADO DE COMUNICACIÓN DE LAZO CERRADO EN MODBUS RTU

Los resultados para comprobar que los Actuadores se encuentran bajo comunicación en lazo cerrado, incluso con ruptura de cable entre los Actuadores 2 y 3, se ilustran mediante capturas de pantalla en diferentes situaciones de la comunicación.

Interpretación de símbolos:



→ Actuator listo para operación remota



→ Actuator no listo para operación remota

4.2.3.1 Resultado con Canal A y Canal B conectados en el Tablero de Control.

En la Figura 4.12, se muestra el estado de conexión de los Actuadores Eléctricos en el HMI.



Figura 4.12. Estado de los Actuadores Eléctricos

Se puede apreciar que todos los Actuadores Eléctricos se encuentran en comunicación con el Tablero de Control.

4.2.3.2 Resultado con Canal A y Canal B conectados en el Tablero de Control y Actuador 4 desconectado de la comunicación.

Teniendo ruptura del lazo entre Actuador 2 y 3, y desconectando el Actuador 4, se puede ver en la Figura 4.13, que los demás actuadores permanecen en la red. La pantalla HMI muestra el estado de cada actuador, donde se confirma que el Actuador 4 está fuera de la red.



Figura 4.13. Actuador 4 fuera de la red de campo

4.2.3.3 Resultado con Canal A desconectado y Canal B conectado en el Tablero de Control

Al tener ruptura del lazo, el Canal B analiza la señal de los Actuadores hasta el punto en donde el lazo pierde la comunicación. El HMI muestra los actuadores presentes en la red desde el Canal B, tal como muestra la Figura 4.14.

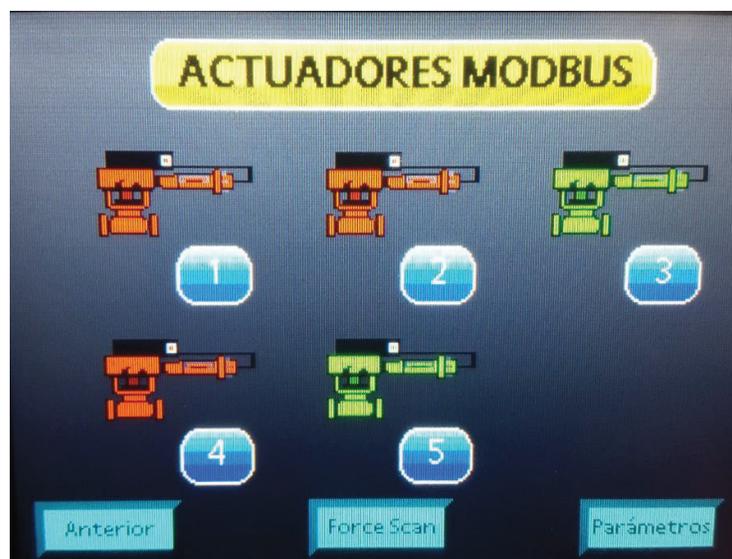


Figura 4.14. Actuadores conectados mediante Canal B

4.2.3.4 Resultado con Canal A conectado y Canal B desconectado en el Tablero de Control

En este caso, al desconectar el Canal B sucede lo contrario a la situación anterior. El HMI muestra los Actuadores 1 y 2, que corresponden a los dispositivos esclavos que se encuentran en comunicación hasta el punto de ruptura del lazo, esto se puede apreciar en la Figura 4.15.

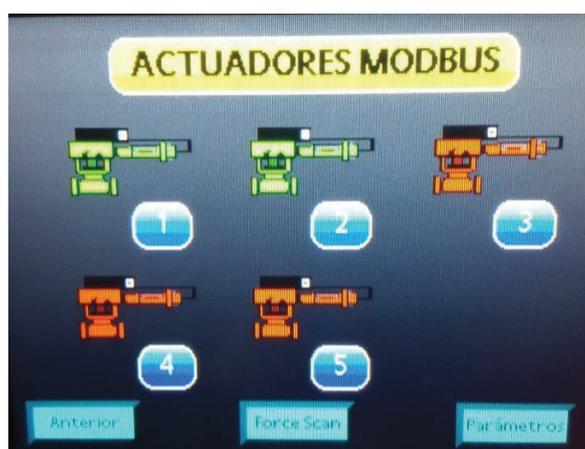


Figura 4.15. Actuadores conectados mediante Canal A.

4.2.3.5 Resultado de tiempos de comunicación intercambiando canales en el Tablero de Control

En la Tabla 4.2, se muestra los tiempos que tarda cada Actuador Eléctrico en entrar en comunicación, haciendo referencia de cada situación en la que puede presentarse dentro de la red.

Tabla 4.2. Tiempos en establecer comunicación con cada dispositivo esclavo

Situación: Lazo de comunicación sin falla.				
Actuador	AC 01.2	Ecotron 5	Profitron 5	AC 01.2
Dirección	1	2	3	5
Tiempo	3.19 (seg)	3.49 (seg)	3.23 (seg)	3.17 (seg)
Situación: Ruptura de lazo entre Actuador 2 y 3. Actuadores 3 y 5 comunicados desde Canal A.				
Actuador	AC 01.2	Ecotron 5	Profitron 5	AC 01.2
Dirección	1	2	3	5
Tiempo	6.30 (seg)	6.25 (seg)	3.40 (seg)	3.23 (seg)
Situación: Lazo desconectado entre Actuador 2 y 3. Actuadores 3 y 5 comunicados desde Canal B.				
Actuador	AC 01.2	Ecotron 5	Profitron 5	AC 01.2
Dirección	1	2	3	5
Tiempo	3.22 (seg)	3.11 (seg)	6.30 (seg)	6.34 (seg)

Al entrar en comunicación los Actuadores Eléctricos desde el Canal A, estos reaccionan más rápido que los Actuadores conectados desde el Canal B cuando hay ruptura de lazo de comunicación. Esto se genera debido a que el programa tiene por defecto, analizar siempre toda la red desde el Canal A, y en caso de encontrar un error en la red, entra en conexión el Canal B.

4.2.4 RESULTADO DE COMUNICACIÓN PROFIBUS DP

Haciendo uso de la herramienta de visualización *online* como se muestra en la Figura 4.16, la conexión entre los equipos DP es correcta debido al “*check*” de color verde que se muestra en la parte superior de cada una de las estaciones de la red.

Incluso se puede visualizar la dirección de cada estación y la línea de comunicación de datos (PROFIBUS_1).

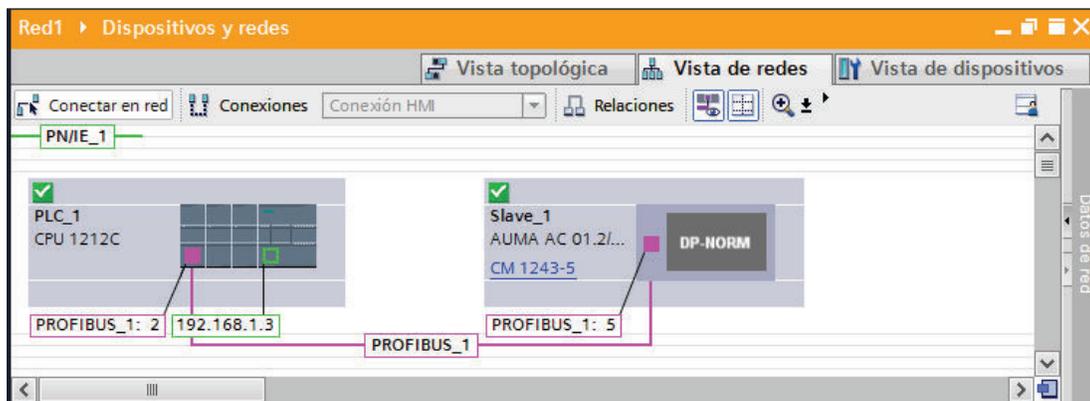


Figura 4.16. Comunicación entre Equipos Profibus DP

Para evaluar el funcionamiento de la comunicación con el actuador Profibus se procede a enviar los comandos de operación básicos (ABRIR, CERRAR, SETPOINT) a través de los registros de salida, y para comprobar que la acción corresponde al comando enviado se lee los registros de entrada del actuador.

Un comando de operación se envía mediante el registro llamado BYTES_OUT [0], como se muestra en la Figura 4.17.

Los resultados se muestran a continuación:

- **Comando de Operación Abrir**

Escribiendo el valor 16#01 en el registro BYTES_OUT [0] se deja que el actuador alcance la posición máxima posible. La Figura 4.17, muestra el valor de la posición actual leída a través de los registros BYTES_IN [2] y BYTES_IN [3] de 16#03E8 que en decimal se traduce en 1000 (100%).

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arr...	Valor de observación
ProfibusDP	Struct	244.0		
BytesIN	Array[0..7] of Byte	0.0		
BytesIN[0]	Byte	0.0	16#0	16#01
BytesIN[1]	Byte	1.0	16#0	16#14
BytesIN[2]	Byte	2.0	16#0	16#03
BytesIN[3]	Byte	3.0	16#0	16#E8
BytesIN[4]	Byte	4.0	16#0	16#80
BytesIN[5]	Byte	5.0	16#0	16#00
BytesIN[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
BytesIN[7]	Byte	7.0	16#0	16#00
BytesOUT	Array[0..7] o...	8.0		
BytesOUT[0]	Byte	0.0	16#0	16#01
BytesOUT[1]	Byte	1.0	16#0	16#00
BytesOUT[2]	Byte	2.0	16#0	16#00
BytesOUT[3]	Byte	3.0	16#0	16#00
BytesOUT[4]	Byte	4.0	16#0	16#00
BytesOUT[5]	Byte	5.0	16#0	16#00
BytesOUT[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
BytesOUT[7]	Byte	7.0	16#0	16#00

Figura 4.17. Resultados leídos con el Actuador en posición totalmente abierta

- **Comando de Operación Cerrar**

Escribiendo el valor 16#02 en el registro BYTES_OUT [0] el actuador alcanza la posición mínima posible. La Figura 4.18 muestra el valor de la posición actual leída (BYTES_IN [2] y BYTES_IN [3]) de 16#0000 que en decimal se traduce en 0 (0%).

Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arr...	Valor de observación
ProfibusDP	Struct	244.0		
BytesIN	Array[0..7] of Byte	0.0		
BytesIN[0]	Byte	0.0	16#0	16#02
BytesIN[1]	Byte	1.0	16#0	16#24
BytesIN[2]	Byte	2.0	16#0	16#00
BytesIN[3]	Byte	3.0	16#0	16#00
BytesIN[4]	Byte	4.0	16#0	16#80
BytesIN[5]	Byte	5.0	16#0	16#00
BytesIN[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
BytesIN[7]	Byte	7.0	16#0	16#00
BytesOUT	Array[0..7] o...	8.0		
BytesOUT[0]	Byte	0.0	16#0	16#02
BytesOUT[1]	Byte	1.0	16#0	16#00
BytesOUT[2]	Byte	2.0	16#0	16#00
BytesOUT[3]	Byte	3.0	16#0	16#00
BytesOUT[4]	Byte	4.0	16#0	16#00
BytesOUT[5]	Byte	5.0	16#0	16#00
BytesOUT[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
BytesOUT[7]	Byte	7.0	16#0	16#00

Figura 4.18. Resultados leídos con el Actuador en posición totalmente cerrada

- **Comando de Operación Set Point**

El valor de consigna ajustado es 16#01F4 (500 decimal) a través de los registros BYTES_OUT [2] y BYTES_OUT [3]. Escribiendo el valor 16#04 en el registro BYTES_OUT [0] se indica al actuador que alcance el valor de consigna ajustado. La posición alcanzada por el actuador es 16#01EB (491) leída desde los registros BYTES_IN [2] y BYTES_IN [3] tal como se observa en la Figura 4.19.



	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arr...	Valor de observación
5	ProfibusDP	Struct	244.0		
6	BytesIN	Array[0..7] of Byte	0.0		
7	BytesIN[0]	Byte	0.0	16#0	16#04
8	BytesIN[1]	Byte	1.0	16#0	16#04
9	BytesIN[2]	Byte	2.0	16#0	16#01
10	BytesIN[3]	Byte	3.0	16#0	16#EB
11	BytesIN[4]	Byte	4.0	16#0	16#80
12	BytesIN[5]	Byte	5.0	16#0	16#02
13	BytesIN[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
14	BytesIN[7]	Byte	7.0	16#0	16#00
15	BytesOUT	Array[0..7] o...	8.0		
16	BytesOUT[0]	Byte	0.0	16#0	16#04
17	BytesOUT[1]	Byte	1.0	16#0	16#00
18	BytesOUT[2]	Byte	2.0	16#0	16#01
19	BytesOUT[3]	Byte	3.0	16#0	16#F4
20	BytesOUT[4]	Byte	4.0	16#0	16#00
21	BytesOUT[5]	Byte	5.0	16#0	16#00
22	BytesOUT[6]	Byte	6.0	16#0	16#00
23	BytesOUT[7]	Byte	7.0	16#0	16#00

Figura 4.19 Resultados leídos con el Actuador cuando alcanza valor de consigna

Los resultados muestran que los comandos de operación enviados mediante el protocolo Profibus DP se realizaron de forma exitosa. La información de los registros de entrada que se visualizan de forma *online* refleja el correcto comportamiento de los actuadores ante los comandos de operación ABRIR Y CERRAR. Para el caso del valor real leído, cuando se ordenó alcanzar un SETPOINT, este valor difiere un poco del valor seteado debido a las características mecánicas del motor del actuador.

4.2.5 RESULTADO DE COMUNICACIÓN MODBUS TCP

Al conectar la estación maestra SIMA con el PLC, mediante protocolo Modbus TCP, se reciben las señales de los actuadores conectados a la SIMA. De esta manera se puede apreciar en la Figura 4.20, los Actuadores Eléctricos que se encuentran en la red.



Figura 4.20. Estado de Actuadores conectados a la SIMA

Los resultados mostrados en la imagen anterior, pueden ser comprobados directamente desde la SIMA, tal como se puede apreciar en la Figura 4.21.

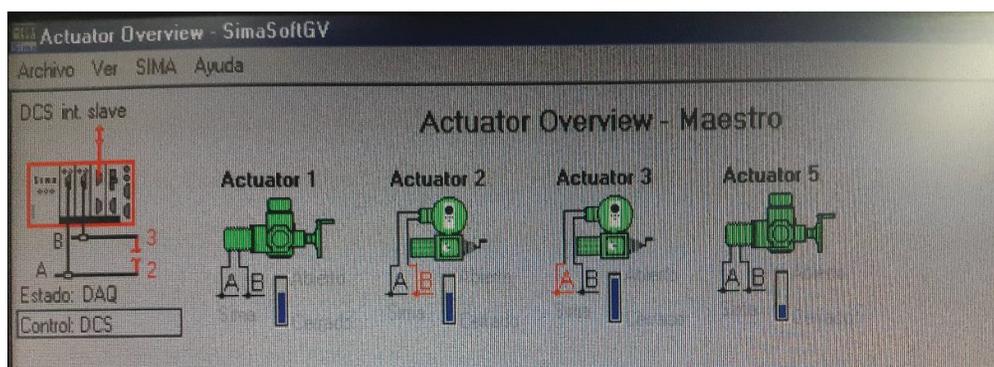


Figura 4.21. Ventana de estado desde la SIMA

Como se indica en la imagen anterior, la SIMA muestra de igual manera los actuadores que se encuentran en comunicación junto con su dirección Modbus. Se

puede observar que el Actuador 4, no se encuentra en la red, como se aprecia también desde el HMI.

La SIMA tiene características que ayuda a conocer al operador ciertas situaciones en las que se encuentra la red de campo, como conocer en cuales puntos se rompe el lazo de comunicación, en este caso, en Actuadores 2 y 3 como se mencionaba en los resultados de Modbus RTU. Así mismo en los actuadores, se visualiza que canales se encuentran conectados a los mismos. Esto se comprueba en el PLC, usando el software TIA PORTAL en modo *online*, tal como se observa en la Figura 4.22, donde se aprecia los actuadores conectados en cada canal; a su vez se observa las direcciones de los actuadores que se encuentran conectados a la red.

	Nombre	Tipo de datos	Offset	Valor de arranq...	Valor de observación
29	NumActCanalesA_B	Array[0..4] of Word	56.0		
30	NumActCanalesA_B[0]	Word	0.0	16#0	16#0003
31	NumActCanalesA_B[1]	Word	2.0	16#0	16#0003
32	NumActCanalesA_B[2]	Word	4.0	16#0	16#0000
33	NumActCanalesA_B[3]	Word	6.0	16#0	16#0000
34	NumActCanalesA_B[4]	Word	8.0	16#0	16#0000
35	ListadeVida	Array[0..4] of Word	66.0		
36	ListadeVida[0]	Word	0.0	16#0	16#0001
37	ListadeVida[1]	Word	2.0	16#0	16#0002
38	ListadeVida[2]	Word	4.0	16#0	16#0003
39	ListadeVida[3]	Word	6.0	16#0	16#0005
40	ListadeVida[4]	Word	8.0	16#0	16#0000

Figura 4.22. Software TIA PORTAL en modo *online*

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Con el proyecto desarrollado, el centro de capacitación AUMA cuenta con una herramienta adicional para mostrar a los operadores las dos posibles vías de comunicación entre los actuadores y un sistema de control, con el fin que los actuadores puedan ser operados de forma remota y su información pueda ser centralizada en una base de datos común. A la vez, se demostró que es posible integrarlos a una red de campo industrial con el uso de tecnología más económica en comparación a lo que representaría un dispositivo dedicado al caso.
- En base a los resultados prácticos, se concluye que para una automatización con redes de campo, en la cual se incluyen varios dispositivos que trabajan en base a los protocolos Modbus RTU y Profibus DP; por facilidad de implementación del protocolo y sencillez en la concentración de la información de cada equipo, el protocolo Profibus se impone sobre el protocolo Modbus. Sin embargo, Profibus exige mayores requerimientos en cuanto a hardware, ya que requiere equipos específicos para su implementación, lo que se traduce en mayor presupuesto.
- Profibus presentó una herramienta beneficiosa para integrar a los equipos Profibus DP de manera muy sencilla en la red de campo, es decir, el archivo GSD. Esta herramienta permitió acceder y manipular la información del Actuador AUMA con interfaz Profibus sin necesidad de hacer ningún tipo de mapeo en los registros internos, a diferencia de los Actuadores con interfaz Modbus que requirió un trabajo más elaborado para llegar al mismo resultado.

- Implementar el Protocolo Modbus TCP desde el S7-1200 resultó menos complejo, debido a que el Protocolo Modbus RTU, el cual se implementó con anterioridad, utiliza la misma técnica para emitir tramas de petición a los esclavos, la diferencia radicó en la forma de direccionarse a las estaciones y el medio físico para transmitir la información.
- El hecho de haber integrado la SIMA, la Pantalla Táctil Red Lion y el PLC S7-1200 sobre una Red Modbus TCP, y del mismo modo, el haber integrado los Actuadores AUMA y Actuadores SIPOS sobre una Red Modbus RTU, demostró la interoperabilidad que presenta el Protocolo Modbus, ya que pudo integrar a dispositivos de diferentes fabricantes sobre una misma red de datos.
- La Pantalla Red Lion, en conjunto con el Software Crimson 3.0, demostraron ser una buena combinación para el desarrollo de aplicación. Entre varias opciones, permitió escoger el protocolo adecuado para integrar a la Pantalla como servidor a la Red TCP; además permitió implementar un modelo de datos para el protocolo. La desventaja encontrada fue que el software Crimson 3.0 no permite simular el proceso que se implementa, herramienta que era necesaria para comprobar el correcto funcionamiento de la interfaz desarrollada cuando no se disponía físicamente de la pantalla.
- El HMI cumple la función de comandar a los actuadores de forma remota. Además, si se produce alguna falla en el sistema de comunicación (Ej. Ruptura de Lazo) o se presenta alguna falla en los actuadores (Ej. Falla térmica), el HMI despliega una señal de advertencia, y en algunos casos una recomendación, para que el operador tomé la acción correctiva adecuada.
- Con la topología en lazo cerrado implementado en la red Modbus, se garantiza la transmisión y recepción de datos entre el Sistema de Control y los Actuadores Eléctricos a pesar de tener pérdida en la comunicación por causas como ruptura de conexión entre dispositivos esclavos o desconexión de energía eléctrica de un esclavo.

- Tomando en cuenta la Tabla 4.2, en la que se muestran los tiempos de respuesta de los Actuadores. Se observa que la comunicación, entre el Sistema de Control y los Actuadores Eléctricos, es más rápida cuando no existe ningún punto desconectado en toda la red.
- Al trabajar con 2 módulos, CM-1241, para la red Modbus: uno principal y uno de respaldo. Se cumple uno de los objetivos del planteamiento de la red de campo industrial, que es la transmisión y recepción de datos hacia los dispositivos esclavos a pesar de perder la comunicación en un Actuador Eléctrico.
- La comunicación entre los Actuadores Eléctricos y la estación maestra SIMA se realiza instantáneamente. Gracias a esto, el Sistema de Control, mediante Modbus TCP/IP, puede realizar operaciones de comando y detección de alarmas de los Actuadores Eléctricos sin retardos de tiempo.

5.2 RECOMENDACIONES

- Si por algún motivo el operador aumenta un actuador a la red de campo, la interfaz del operador deberá ser modificada con los cambios correspondientes, debido a que el programa inicialmente se diseñó para comandar cinco actuadores.
- Se recomienda a futuro ampliar el alcance de este proyecto, aumentando un módulo de señales analógicas de 4 a 20mA en el tablero de control, de modo que la demostración del control sobre los actuadores, utilizando la interfaz “remota” se pueda realizar de forma satisfactoria.
- Para mejorar los tiempos de respuesta en la comunicación Modbus, desde el HMI hacia los Actuadores, se recomienda mantener los procesos de salida de comandos de operación y los procesos de entrada de datos, independientes entre sí, disminuyendo así el tráfico de información en la línea de bus.

- Se recomienda a futuro, procesar las señales de salidas analógicas que poseen los Actuadores. Con el objetivo de visualizar la posición actual del Actuador cuando este sea comandado en forma remota, en caso de perder la comunicación por Modbus y Profibus.
- Se debe tener en cuenta la distancia mínima de separación que deben tener los cables de comunicación con los cables de alimentación (fuerza), la cual debe ser 20 cm, para evitar interferencia en la línea de bus y por ende aumento en la impedancia que puede causar pérdida de comunicación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Definición.de. (2010) Protocolo de comunicación. [Online]. Available: <http://definicion.de/protocolo-de-comunicacion/>.
- [2] (2010, Mayo) Tipos de Topologías. [Online]. Available: <http://redeselie.blogspot.com/2010/05/tipos-de-topologias-topologia-o-forma.html>.
- [3] J. B. Piña. (2012, Mayo) Topologías. [Online]. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/5topologias>.
- [4] Universidad de Valencia. (2014) Sistemas Industriales Distribuidos. [Online]. Available: http://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo3_rev0.pdf.
- [5] Modbus Organization. (2006, Diciembre) Modbus Application Protocol Specification. [Online]. Available: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf.
- [6] J. Bartolomé. (2011, Enero) El protocolo MODBUS. [Online]. Available: <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>.
- [7] Trexon Inc. (2000, Enero) Modbus Protocol. [Online]. Available: http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~smokey/software/about/sixnet/modbus/modbus_protocol.pdf.
- [8] J. B. Piña. (2013, Junio) MODBUS: Representación de Datos. [Online]. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/representacion-datos>.
- [9] H. Pizarro, E. Solano, and M. Távara. (2009, Septiembre) Red Modbus/TCP con un ordenador y CUATRP PLC. [Online]. Available: <http://www.monografias.com/trabajos75/red-modbus-tcp-ordenador/red->

modbus-tcp-ordenador2.shtml.

- [10] Tecnología Digital de Bajío. (2012, Septiembre) MODBUS parte III. [Online]. Available: <http://tecdigitaldelbajio.com/blog/27-modbus-parte-i-que-es-el-modbus.html>.
- [11] National Instruments. (2014, Octubre) Introducción a Modbus. [Online]. Available: <http://www.ni.com/white-paper/7675/es/>.
- [12] Automatas Industriales. (2006) Profibus. [Online]. Available: <http://www.automatas.org/redes/profibus.htm>.
- [13] J. B. Piña. (2012) PROFIBUS, Process Field Bus. [Online]. Available: http://uhu.es/antonio.barragan/descargas/aai/Profibus_Domingo_Diez_Barreiro.pdf.
- [14] E. Red. (2013) Profibus Fieldbus. [Online]. Available: http://eaal.groups.et.byu.net/html/ProfibusFieldbus/body_profibus_fieldbus.html.
- [15] A. G. Higuera. (2005). *El control automático en la industria*. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?id=MzLgX4uM-O0C&pgis=1>.
- [16] B. R. Mehta and Y. J. Reddy. (2015). *Industrial Process Automation Systems: Design and Implementation*. [Online]. Available: https://books.google.com/books?id=Iz_LAwAAQBAJ&pgis=1.
- [17] Universidad Politécnica de Cartagena. (2013) Comunicaciones Industriales. [Online]. Available: <http://www.etitudela.com/entrenadorcomunicaciones/downloads/profibusteor ia.pdf>.
- [18] *Comunicaciones PROFIBUS DP para Panel View 550/900*, Rockwell

Automation, Milwaukee, WI, 1996, pp. 8.

- [19] *Manual de la comunicación Profibus DP*, WEG S.A, Jaragua del Sur, SC, 2012, pp. 8.
- [20] M. Felser. (2011) PROFIBUS Manual: A Collection of Information Explaining PROFIBUS Networks. [Online]. Available: http://profibus.felser.ch/en/index.html?service_access_point.htm.
- [21] Neoteo. (2009, Mayo) RS485: Domótica al alcance de tu mano. [Online]. Available: <http://www.neoteo.com/rs485-domotica-al-alcance-de-tu-mano-15810>.
- [22] Real Time Automation. (2014) PROFIBUS Protocol Overview. [Online]. Available: <http://www.rtaautomation.com/technologies/profibus/>.
- [23] J. B. Piña. (2012, Junio) Protocolo de comunicación DP. [Online]. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/32-protocolo-comunicacion-dp>.
- [24] Acromag Inc. (2012) BusWork 900PB Series Profibus/RS485 Network I/O Modules. [Online]. Available: <http://www.diit.unict.it/users/scava/dispense/II/Profibus.pdf>.
- [25] Automação Industrial. (2014) O Protocolo Profibus (Parte IV). [Online]. Available: <http://www.automacaoindustrial.info/o-protocolo-profibus-parte-iv/>.
- [26] SIEMENS. (1999, Agosto) Device Description Data Files GSD. [Online]. Available: http://www.profibus.co.kr/board/down/board/technic/gsd_e.pdf.
- [27] *Actuadores Eléctricos para la automatización de válvulas industriales*, AUMA, Muellheim, 2015.

- [28] SIEMENS. (2011, Noviembre). *SIMATIC S7-1200 Getting Started*. [Online]. Available:
<https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-GETTINGSTARTER.PDF>.
- [29] *Catálogo de Productos “Siemens*, SIEMENS, Múnich, BY, 2015.
- [30] SIEMENS. (2011, Septiembre). *Módulo de comunicaciones CM 1241*. [Online] Available:
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Product/6ES7241-1CH32-0XB0>.
- [31] *SIMATIC NET S7-1200 - PROFIBUS CM 1243-5*, SIEMENS, Múnich, BY, 2011.
- [32] SIEMENS. (2010, Agosto). *SIMATIC NET S7-1200 Compact Switch Module CSM 1277*. [Online]. Available:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/313/36087313/att_74878/v1/BA_S7-1200-CSM1277_78.pdf.
- [33] SIEMENS. (2016) Fuente Modular SITOP. [Online]. Available:
<http://w3.siemens.com/mcms/power-supply-sitop/es/modular/Pages/Default.aspx>.
- [34] *Actuator controls AUMATIC AC 01.1/ACExC 01.1 Modbus*, AUMA, Muellheim, 2015.
- [35] *S7-1200 Programmable controller System Manual*, SIEMENS, Múnich, BY, 2014.
- [36] (2014) Configuración CB1241 (RS-485) - CM1241 (RS-232) Modbus RTU. [Online]. Available: http://plc-hmi-scadas.com/TIA_Portal_Modbus_RTU.php.

- [37] (2011, Mayo) TIA Portal v13. [Online]. Available: <http://www.infoplcn.net/descargas/106-siemens/software-step7-tiaportal/2251-tia-portal-archivos-gsd-profibus>.
- [38] *Actuator controls AUMATIC AC 01.2/ACExC 01.2 Profibus DP*. AUMA, Muellheim, 2015.
- [39] *SIMATIC S7-1200 Easy Book Manual*, SIEMENS, Múnich, BY, 2011.
- [40] SIEMENS. (2005, Noviembre) Consisten Data. [Online]. Available: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/5116353/what-is-consistent-data?dti=0&lc=en-WW>.
- [41] A. Ruiz. (2002) "Implementación de una Red Modbus/TCP", Universidad del Valle. [Online]. Available: <http://www.bairesrobotics.com.ar/data/protocolo-modbus.pdf>.
- [42] Principiantes.Info. (2009) Configuración de una LAN. [Online]. Available: http://www.principiantes.info/lan/lan_configuracion_utiles.php.
- [43] C. Shore. (2013) Qué es un cable UTP? [Online]. Available: http://www.ehowenespanol.com/cable-utp-sobre_10903/.
- [44] (2011, Abril) Redes: Norma EIA TIA 568A-568B. [Online]. Available: <http://bignewssoftware.blogspot.com/2011/04/norma-eia-tia-568a-568b.html>.
- [45] *SIMA Master Station*. AUMA, Muellheim, 2012.
- [46] Universidad Nacional de Quilmes. Introducción a HMI. [Online]. Available: [http://iacci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion HMI.pdf](http://iacci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf).
- [47] Red Lion Controls Inc. MODEL G306A - GRAPHIC COLOR LCD OPERATOR INTERFACE TERMINAL. [Online]. Available:

http://files.redlion.net/filedepot_download/213/3819.

- [48] Seltec. (2010) Red Lion Crimson 3.0. [Online]. Available: <http://www.seltec.co.uk/products/crimson-30.html>.

- [49] *CRIMSON 3.0 User Manual*, Red Lion Controls Inc., Filadelfia, PA, 2009.

- [50] ABB S.A. Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2. [Online]. Available: <http://www.renner.com.gt/catalogos-n/abb/cuadernos-de-aplicaciones-abb/Guia-de-construccion-de-cuadros-electricos-de-baja-tension.pdf>.

- [51] T. Piqué. (2001) NTP 588: Grado de protección de las envolventes de los materiales eléctricos. [Online]. Available: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/501a600/ntp_588.pdf.

- [52] Tempsens Instruments. PROFIBUS DP Cable. [Online]. Available: http://www.tempsens.com/pdf/cable/network_cable/PDPPEBC022P.pdf.

- [53] J. Medina. Automatismos Industriales - Cuadros Eléctricos. [Online]. Available: <http://www.infopl.net/documentacion/11-instalaciones-cuadros-electricos/2276-cuadros-electricos>.

- [54] C. Henning. (2014,Junio) Installing PROFIBUS Terminators. [Online]. Available: <http://profinews.us/2014/06/all-power-to-the-terminators/>.