

Diseño e Implementación de un Módulo Didáctico para la Integración de Redes de Campo Industriales: Modbus, Profibus, para Actuadores Eléctricos

Ricardo Defas, Andrés Guzmán, Yadira Bravo, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

Resumen- El presente artículo propone el diseño e implementación de un módulo didáctico para controlar y monitorizar Actuadores Eléctricos a través de protocolos de comunicación industrial Modbus RTU y Profibus DP. Los enlaces de comunicación con los equipos de campo se establecen con un PLC S7-1200 a través de las tarjetas de comunicación CM 1241 para Modbus y CM 1243-5 para Profibus. Como herramienta de visualización de resultados del proceso control se utiliza la pantalla Red Lion G306A (HMI). La programación implementada para los protocolos industriales se realiza a través de las herramientas y librerías del software TIA Portal V13, y para el panel de control, el software Crimson 3.0. Todos los elementos se integran en un tablero de control de baja potencia diseñado bajo las normas IEC 61439-1 e IEC 61439-2.

Índices – Modbus, Profibus, Redes de Campo, AUMA, HMI.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la automatización industrial se ha convertido en un medio fundamental para mejorar el rendimiento y eficacia de los procesos de una empresa industrial. Las principales estrategias que se logran mediante la automatización de procesos está dirigida en: aumentar la productividad de los recursos en las actividades manuales, el uso de equipos y sistemas que permitan obtener la información de manera oportuna y confiable, y sobre todo, la disminución de costos en la instalación. Uno de los métodos utilizados por las industrias para alcanzar estos objetivos es mediante el uso de buses de campo que, entre sus ventajas, permiten la transmisión de datos en tiempo real, capacidad de control de errores y manejo de tráfico, y cableado sobre una sola línea; dejando atrás el cableado tradicional.

Es por eso que este proyecto busca implementar un módulo de comunicación que permita verificar todas las variables de un proceso industrial específico, de manera óptima, a través del uso de buses de campo mediante los protocolos de comunicación industrial Modbus RTU y Profibus DP. Todo esto con el fin de proporcionar a la empresa AUMA A&C un demo con el cual se dicten capacitaciones de una manera más concreta, y así, mostrar a los clientes un proceso de automatización con actuadores AUMA (de varias interfaces de comunicación) que puede ser integrado de manera eficaz en un solo entorno con el uso de recursos adecuados.

El módulo de comunicación permitirá centralizar la información proveniente de una serie de actuadores conectados a una línea de bus. Consistiendo en monitorizar variables como: estado de cada actuador (Abre, Cierra o Paro) o el porcentaje de apertura y cierre de los mismos. Además, permitirá dar lectura a señales de alarmas producidas por

temperatura o torque. Finalmente, el módulo estará en capacidad de detectar e indicar cuando se ha producido una falla en el cableado del bus, puesto que se usará la topología conocida como bus en lazo cerrado. Cabe indicar que todo este proceso podrá ser visualizado a través de interfaz gráfica (HMI).

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

A. Protocolo Modbus

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[1].

Entre las características que posee Modbus, podemos mencionar las siguientes [2]:

- 1) *Transmisión en la arquitectura Cliente/Servidor.*
- 2) *El mecanismo de acceso al medio, a nivel de capa de enlace, es Maestro/Esclavo.*
- 3) *Dispone desde 1 hasta 247 esclavos.*
- 4) *El método de transmisión es Unicast.*
- 5) *Usa códigos de funciones para enviar la operación a realizar por el esclavo.*
- 6) *Protocolo público, compatible con varios dispositivos.*

Modbus presenta dos variantes para la transmisión de datos: ASCII y RTU; de los cuales el protocolo Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) es el más usado, ya que presenta mayor rendimiento en la transmisión de datos, puesto que utiliza un sistema de codificación binario; respecto a ASCII. [3]

La trama y codificación que usa Modbus RTU se muestra en la Fig. 1

Nº Esclavo (00-3F _h)	Código de Operación	Subfunciones, Datos	CRC(P16) H L

Fig. 1 Codificación RTU [4].

Donde;

- 1) *Número de Esclavo:* Número de destinatario.
- 2) *Código de Operación:* Este campo envía que operación se desea que realice el esclavo.
- 3) *Dirección, datos y Subfunciones:* En este campo se envía la información para ejecutar el código de operación seleccionado anteriormente.
- 4) *Control de errores CRC (Chequeo de Redundancia Cíclica):* Dependiendo el modo de transmisión, se usa el sistema de detección de errores.

B. Protocolo Profibus DP

Profibus es un 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 [5].

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).

C. Estándar RS-485

RS-485 es un estándar de comunicaciones de bus de campo muy sencillo y de bajo costo de instalación. Comprende aquellas aplicaciones en las cuales se requiere alta tasa de transmisión de datos. Las características estándar son:

- 1) *Cables*: Utiliza un par trenzado de cobre que admite comunicación *half-duplex*, incluye apantallamiento.
- 2) *Velocidad de Transmisión*: Se puede alcanzar velocidades de transmisión desde 9.6 kbps hasta 1.2 Mbps. La longitud máxima del medio de transmisión dependerá de la tasa de transmisión.
- 3) *Conectores*: Físicamente en la red los equipos Profibus y Modbus son suplidos con conectores estándar sub-D de 9 pines (DB9). Las diferencias de conector macho y hembra se pueden apreciar en la Fig. 2.



Fig. 2. Conectores DB9 Macho y Hembra.

Los pines que se usa del conector DB9 para la comunicación se describen en la Tabla I.

Tabla I PINES DE CONECTOR DB9 PROFIBUS [6]

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

D. Topologías de Red

La topología de red es la forma física en la que están conectados todos los equipos que conforman la red. En la industria se cuenta con varios tipos de topologías de las cuales se puede mencionar: red de anillo y red en estrella; pero una de las redes más utilizadas en aplicaciones de campo es la red en bus.

Como se puede observar en la Fig. 3, una red en bus tienen la característica de poseer un solo camino a través del interface físico.



Fig. 3. Red con topología en bus [7].

Entre los equipos que se conectan a la red, se puede mencionar ciertos equipos de medición como: sensores, transductores y actuadores; y equipos de control como PLC. Los Actuadores Eléctricos AUMA se consideran como dispositivos esclavos en la red de campo industrial, por lo tanto, serán descritos brevemente a continuación.

E. Actuadores Eléctricos

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.

Estos tipos de actuadores poseen 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.

F. 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. Como se puede ver en la Fig. 4[8].



Fig. 4 Estación maestra SIMA [8]

III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA COMUNICACIÓN

La implementación y configuración de la red de comunicación parte de la conceptualización de una arquitectura de red, tal como se muestra en la Fig. 5.

Como se observa en la Fig. 5, se requiere de un equipo principal(PLC) para encabezar la comunicación con los esclavos de la red, además de una pantalla de visualización (HMI); y a partir de esto se obtienen los protocolos de comunicación requeridos para la red, así:

- 1) *Comunicación entre PLC y los Actuadores Eléctricos mediante Protocolo Modbus RTU y Profibus DP tipo serial*

2) *Comunicación entre PLC y el equipo de visualización (HMI) y SIMA a través de protocolo Modbus TCP/IP.*

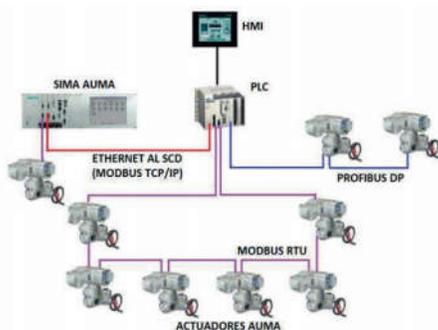


Fig. 5. Arquitectura de la Red de Campo.

A. *Equipos Utilizados*

Se utiliza un PLC S7-1200 para establecer conexión con los Actuadores Eléctricos. Junto a este PLC se cuenta con los siguientes elementos:

- 1) CPU 1212C
- 2) Módulo de Comunicación CM 1241 (Modbus RTU)
- 3) Módulo de Comunicación CM 1243-5 (Profibus DP)
- 4) Módulo de Switch Compacto CSM 1277 (TCP/IP)

B. *Comunicación usando protocolo Modbus RTU*

La comunicación entre el S7-1200 y los Actuadores con interfaz Modbus se realiza a través de la instrucción MB_MASTER del TIA PORTAL. Tal como se muestra en la Fig. 6, esta instrucción direcciona al dispositivo esclavo a transmitir a través del parámetro MB_ADDR, establece el código de función a ejecutar (escritura, lectura) con la combinación de parámetros MODE, DATA_ADDR y DATA_LEN, y define la zona de almacenamiento de los datos a ser enviados o recibidos (DARA_PTR) al esclavo.

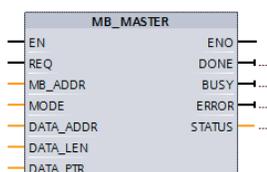


Fig. 6. Instrucción MB_MASTER en TIA PORTAL.

La escritura de comandos en los actuadores (Abrir, Cerrar, Paro, Set Point) y la lectura de parámetros (Alarmas, porcentaje de apertura y cierre del actuador) son establecidos mediante registros tipo palabra (2 bytes) que en el modelo de datos de Modbus se denominan *Holding Register* e *Input Registers* respectivamente.

Las direcciones y valores de estos registros son proporcionadas por manuales de configuración de la interface Modbus del actuador. Por ejemplo, para establecer el comando de "Abrir" en el actuador a través de la función MB_MASTER se debe escribir el valor de 16#0100 (DATA_PTR) en el registro 41001(DATA_ADDR) del modelo de datos.

C. *Comunicación mediante protocolo Profibus DP*

El intercambio de datos entre los actuadores Profibus y el S7-1200 se realiza previo a una configuración en el PLC a través del TIA PORTAL.

Es necesario añadir al PLC el archivo de descripción general del Actuador, denominado archivo GSD, como se observa en la Fig. 7. Entre las descripciones que incluye este archivo 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.

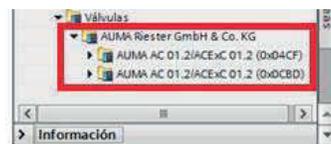


Fig. 7 Archivo GSD añadido a la configuración del S7-1200

A diferencia del protocolo Modbus, para el intercambio de datos entre los actuadores Profibus y el S7-1200, no es necesario crear ningún tipo de función específica para lectura parámetros o escritura de comandos. Esto debido a que el protocolo Profibus contempla funciones de Capa 8 o Nivel de Usuario, lo que hace transparente ésta configuración; solamente es necesario crear espacios de memoria en el CPU del S7-1200 para que los datos del proceso se transmitan y almacenen de forma automática y de manera cíclica.

Este procedimiento se realiza de acuerdo a las indicaciones de los manuales de configuración de los actuadores. Todos los parámetros son manejados en 6 registros de entrada y en 4 registros de salida tipo byte; por lo tanto, se escoge un espacio de memoria de 8 bytes de entrada y 8 bytes de salida como se muestra en la Fig. 8.

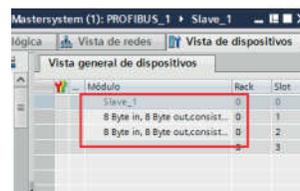


Fig. 8. Espacio de memoria reservada para lectura de parámetros del actuador.

Finalmente, resta leer los registros almacenados en la memoria de entrada y salida del CPU del PLC a través de las instrucciones DPRD_DAT (Lectura) y DPWR_DAT (Escritura) preestablecidas en la librería del TIA PORTAL. Tras esta configuración el dispositivo maestro y esclavo DP intercambiarán información de forma cíclica.

D. *Comunicación con Modbus TCP/IP*

Se cuenta con tres equipos aptos para comunicarse bajo el protocolo Modbus TCP/IP, esto son:

- 1) PLC SIMATIC S7-1200
- 2) Pantalla Táctil Red Lion G306A
- 3) 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. Con esto, la red implementada se considera como una red de área local (LAN) y a cada equipo se le asigna una máscara de subred y una dirección IP dentro del mismo rango, tal como se muestra en la Tabla II.

TABLA II
DIRECCIONES IP DE LOS EQUIPOS DE LA RED LAN

Equipo	Dirección IP	Máscara 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 III, la red LAN también incluye el equipo de programación para el S7-1200, representada por un PC o Laptop.

E. Comunicación S7-1200 a través de Modbus TCP/IP

El Simatic S7-1200 se configura como cliente de la Red Modbus TCP a través del software del TIA PORTAL usando el bloque de instrucción MB_CLIENT para entablar conexiones TCP/IP basadas en la arquitectura Cliente/Servidor; por lo tanto, el S7-1200, gestionará la conexión y desconexión con todos los servidores en el proceso.

Las funciones principales del MB_CLIENT son: enviar peticiones de lectura/ escritura hacia el servidor y recibir respuestas del mismo. En la Fig. 9, se muestra el bloque de la instrucción. [8]

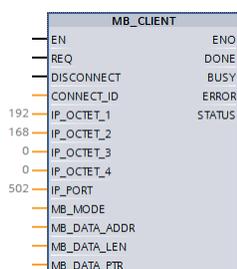


Fig. 9. Instrucción MB_CLIENT.

Un dispositivo Modbus TCP se direcciona de acuerdo a la dirección IP (IP_OCTECT) del servidor y de un número de puerto (IP_PORT).

F. Comunicación entre Pantalla RED LIÓN G306A y PLC S7-1200

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 Fig. 10, el controlador elegido para el puerto Ethernet de la pantalla es "TCP/IP Slave" y el protocolo usado es "Modbus".

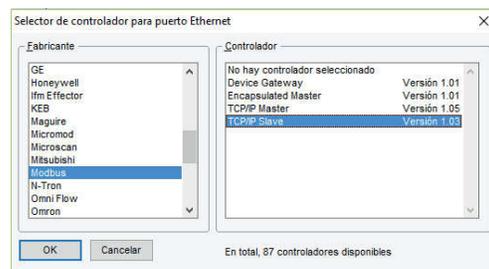


Fig. 10. Configuración de comunicación Maestro/Eslavo.

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.

G. Implementación física de la Red de Área Local

La red LAN cuenta con más de dos equipos, por lo tanto, la interconexión física de la red se hace mediante el Switch Ethernet Compacto CSM 1277.

La topología implementada es estrella, y la arquitectura final se ilustra en la Fig. 11.



Fig. 11. Arquitectura de Red LAN.

H. 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 está a su vez obtiene de los actuadores.

Para crear el enlace de la SIMA con el servidor Modbus TCP (S7-1200) se utiliza los recursos del TIA PORTAL siguiendo la configuración de los parámetros de comunicación y direccionamiento establecidos en 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.

IV. DESARROLLO DEL TERMINAL DE OPERACIÓN Y VISUALIZACIÓN

El hardware para la implementación del HMI es la pantalla gráfica Red Lion G306A y se programa a través del software Crimson 3.0.

Haciendo uso de estas herramientas 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 Fig. 12 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.



Fig. 12. Menú Principal de Operación.

En la Fig. 13 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.



Fig. 13. Distribución de Actuadores Eléctricos dentro de la red

La Fig. 4 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).



Fig. 14. Pantalla de Operación.

V. IMPLEMENTACIÓN DEL 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 Fig. 15 y Fig. 16 se ilustra el tablero con todos los elementos de protección, control y maniobra necesarios.



Fig. 15. Parte frontal tablero de Control.



Fig. 16. Parte interior del tablero de Control.

En Fig. 16, 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 CSM-1277. En la parte superior se colocan la fuente de voltaje SITOP de 24V@5A, y también la fuente de voltaje S8VS para la pantalla RedLion G306A instalada en la parte frontal.

A. Mando Manuales de los Actuadores

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 Fig. 17.



Fig. 17. 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 los actuadores. Los cables de la interfaz se conectan de acuerdo al esquema de conexión mostrado en la Fig. 18.

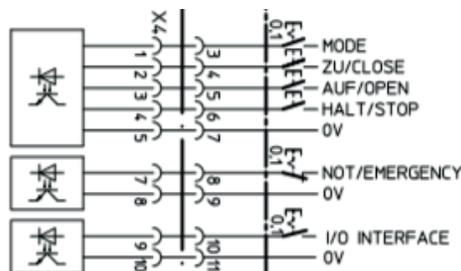


Fig. 18. Diagrama de conexión para comandar actuadores de forma remota.

B. Operación del Tablero de Control

La función del tablero depende de la configuración de los selectores ubicados en la parte frontal (Fig. 17.):

- 1) *Interfaz (Selector número 1)*: 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.
- 2) *Modo (Selector número 2)*: 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.

VI. CONEXIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS EQUIPOS ESCLAVOS DE LA RED

La red industrial cuenta con los siguientes equipos:

- 1) 2 Actuadores Eléctricos AUMATIC AC 01.2 Modbus RTU
- 2) 1 Actuator Eléctrico AUMATIC AC 01.1 Modbus RTU
- 3) 2 Actuadores Eléctricos SIPOS Flash 5 Modbus RTU
- 4) 1 Actuator Eléctrico AUMATIC AC 01.2 Profibus DP

La puesta en marcha de estos consiste en ajustar los siguientes parámetros de comunicación de cada actuator para que puedan integrarse a la red Industrial:

- 1) *Dirección del Actuator en la Red*
- 2) *Velocidad de Transmisión*
- 3) *Paridad par y bit de parada*

Finalmente, la comunicación hacia los actuadores Modbus y Profibus se hace con el cable Profibus (Tipo A) como se observa en la Fig. 19



Fig. 19. Cable Profibus [9].

La topología usada es en bus en forma de cadena en lazo cerrado, de manera que la salida de un actuator se conecta con la entrada del siguiente actuator.

VII. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas en los actuadores y en la comunicación se realizan desde el HMI; es decir, desde este equipo se envía los comandos correspondientes de apertura, cierre y alcance de set point en cada actuator de la red y al mismo tiempo se visualiza la retroalimentación de información correspondiente al proceso (porcentaje de apertura o cierre en cada actuator). Adicionalmente se simula fallas en cada actuator y en el cable la red de bus y de la misma forma, se visualiza si hay retroalimentación de alarmas, fallas y avisos de estado de cada dispositivo esclavo.

A. Resultados de Comando de Operación: Abrir, Cerrar y Set Point

Los resultados arrojados a los comandos de operación enviados mediante los protocolos Modbus RTU y Profibus DP se realizaron de forma exitosa.

La información de los registros de entrada que se visualizan en el HMI 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 actuator.

B. Resultados ante ruptura física del cable de bus en la Red Modbus

La ruptura del cable entre dos actuadores de la red Modbus hizo que la línea de bus se segmente en dos líneas independientes, tal como se ilustra en la Fig. 20; esto debido a los mecanismos desarrollados en el S7-1200 y a que los actuadores están conectados en topología de lazo cerrado.

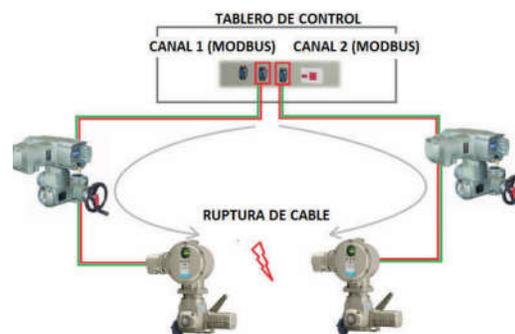


Fig. 20. Comunicación del sistema de control en caso de ruptura en el cable de bus.

C. Resultados en caso de que el actuator pierda suministro eléctrico

Cuando se pierde el suministro eléctrico, los conductores provenientes de los actuadores vecinos se enlazan

automáticamente, logrando mantener la estructura de lazo cerrado en la red. Esto se observa en la Fig. 21.

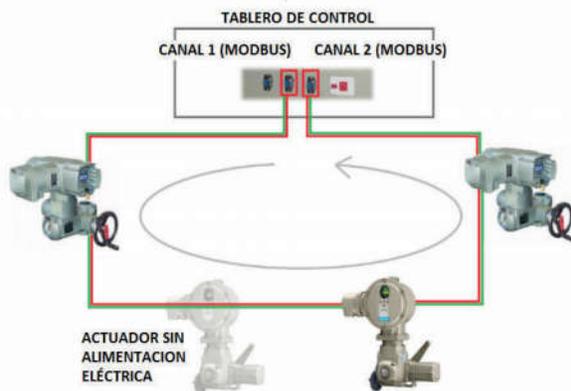


Fig. 21. Interconectado del bus en caso de un actuador sin suministro eléctrico.

VIII. CONCLUSIONES

En base a los resultados prácticos, se concluye que el protocolo Profibus se impone sobre el protocolo Modbus por facilidad de implementación/configuración; y sencillez en la concentración de la información. 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.

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.

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.

IX. REFERENCIAS

- [1] Modbus Organization. (2006, Diciembre) Modbus Application Protocol Specification. [Online]. Available: http://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1_b.pdf.
- [2] J. Bartolomé. (2011, Enero) El protocolo MODBUS. [Online]. Available: <http://www.tolaemon.com/docs/modbus.htm>.
- [3] Trexon Inc. (2000, Enero) Modbus Protocol. [Online]. Available: http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~smokey/software/about/sixnet/modbus/modbus_protocol.pdf.
- [4] J. B. Piña. (2013, Junio) MODBUS: Representación de Datos. [Online]. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/representacion-datos>.
- [5] Automatas Industriales. (2006) Profibus. [Online]. Available: <http://www.automatas.org/redes/profibus.htm>.
- [6] *Manual de la comunicación Profibus DP*, WEG S.A, Jaragua del Sur, SC, 2012, pp. 8.
- [7] J. B. Piña. (2012, Mayo) Topologías. [Online]. Available: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/Stopologias>.

- [8] *Actuadores Eléctricos para la automatización de válvulas industriales*, AUMA, Muellheim, 2015.
- [9] A. Ruiz. (2002) "Implementación de una Red Modbus/TCP", Universidad del Valle. [Online]. Available: http://www.bairesrobotics.com.ar/data/protocolo_modbus.pdf.

X. BIOGRAFÍAS



Ricardo D. Defas, nació el 5 de octubre de 1990 en ciudad de Quito. Obtuvo el título de Técnico en Comercio y Administración en el Colegio Nacional Rafael Larrea Andrade. Realizó sus estudios de pregrado en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo su título de Ingeniero en Electrónica y Control (ricardo.defas@epn.edu.ec)



Andrés P. Guzmán, nació el 13 de mayo de 1991 en la ciudad de Quito. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio San Gabriel, donde obtuvo el título de Bachiller Físico – Matemático. Realizó sus estudios de pregrado en la Escuela Politécnica Nacional, donde obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Control. (andres.guzman@epn.edu.ec)



Yadira L. Bravo, MSc, Profesora agregada del Departamento de Automatización y Control Industrial. Ingeniera en Electrónica y Control y Magíster en Ingeniería Sistemas de Control. Directora de Proyectos de titulación en el área de Control y Sistemas (yadira.bravo@epn.edu.ec).