

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNIDAD TERMINAL REMOTA RTU DE BAJO COSTO PARA UN LABORATORIO DE PRUEBAS DE SISTEMAS ELECTRONEUMÁTICOS

Carlos Levi Cartagena Lobos

Ingeniero industrial. Docente Investigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana.
Correo electrónico: carlos.cartagena@itca.edu.sv

David Ernesto Cortez

Ingeniero Eléctrico. Docente Coinvestigador, Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana.
Correo electrónico: dernesto.cortez@itca.edu.sv

Recibido: 20/04/2023 - Aceptado: 25/07/2023

Resumen

Este proyecto se desarrolló con el objetivo de diseñar y construir una Unidad Terminal Remota RTU de bajo costo para un entrenador del laboratorio de pruebas de sistemas electroneumáticos. Como primera etapa se diseñó el prototipo tomando el enfoque modular incluyendo los elementos esenciales que conforman las unidades terminales remotas; se diseñó un módulo de entradas y salidas de señales digitales, un módulo central para el procesamiento de datos y manejo de las comunicaciones alámbricas e inalámbricas de la RTU. En la segunda etapa se realizó el testeo en los laboratorios de ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana, para validar el funcionamiento; se realizaron pruebas experimentales tales como medir la latencia en la transmisión de datos desde una conexión local y una conexión remota usando el VPN. Se diseñó una aplicación con LabView para manipular un cilindro neumático por Internet, obteniendo resultados satisfactorios. Como resultado se obtuvo el diseño innovador de creación propia de una RTU de bajo costo, tomando elementos de hardware abierto, con la que se puede establecer la comunicación con un PLC S7 1200, a través del protocolo MODBUS TCP/IP. La RTU diseñada permite el envío y recepción de comandos de forma inalámbrica bajo el estándar Zigbee para el desarrollo de prácticas de laboratorio de forma remota y por varios usuarios. Con el desarrollo de esta investigación queda demostrado que la fiabilidad en la comunicación entre un PLC S7 1200 de Siemens y una RTU construida con hardware abierto, se logra si se usa un protocolo de comunicación industrial como el MODBUS TCP/IP.

Palabras clave

Sistema de transferencia electroneumático, distribución de energía eléctrica, diseño de sistemas, equipos de control, protocolo Modbus TCP/IP, unidad terminal remota.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A LOW-COST REMOTE TERMINAL UNIT RTU FOR AN ELECTROPNEUMATIC SYSTEMS TESTING LABORATORY

Abstract

This project was developed with the purpose of designing and building a low-cost Remote Terminal Unit (RTU) for a trainer in the electropneumatic systems testing laboratory. In the first stage, the prototype was designed taking a modular approach including essential elements that conform the Remote Terminal Units. A module for digital signal inputs and outputs was designed, along with a central module for data processing and management of wired and wireless communications of the RTU. In the second stage, testing was carried out in the laboratories of ITCA-FEPADE Centro Regional Santa Ana to validate functionality. Experimental tests were performed, such as measuring latency in data transmission from a local connection and a remote connection using VPN. An application was designed using LabView to manipulate a pneumatic cylinder over the internet, obtaining satisfactory outcomes. As a result, the innovative design of a low-cost RTU was obtained, taking elements of open hardware, with which communication can be established with a PLC S7 1200, through the MODBUS TCP/IP protocol. The designed RTU allows wireless sending and receiving commands using the Zigbee standard, facilitating remote laboratory practices for multiple users. The research demonstrates that the reliability in the communication between a Siemens S7 1200 PLC and an RTU built with open hardware is achieved if an industrial communication protocol such as MODBUS TCP/IP is used.

Keyword

Electro-pneumatic transfer system, electrical power distribution, system design, control equipment, Modbus TCP/IP protocol, remote terminal unit.

Introducción

Una Unidad Terminal Remota RTU, permite procesar de manera continua estados y eventos para gestionar los equipos físicos en una instalación industrial, además facilitan la comunicación con los sistemas SCADA. Las RTU son los equipos más utilizados para el telecontrol de instalaciones distribuidas y/o desatendidas.

Si se compara un Controlador Lógico Programable PLC con una RTU, hay diferencias importantes: los PLC están diseñados para uso industrial, donde se prioriza el tiempo de respuesta en el control de los procesos en milisegundos, en cambio las RTU están diseñadas para la gestión de infraestructuras, donde principalmente se deben cumplir dos grandes requisitos, la autonomía y la fiabilidad de los datos, por ello ofrecen múltiples métodos de conexión, Ethernet, Serie, GPRS/3G/4G, Radio y diferentes protocolos de comunicación Modbus, SNMP, IEC-104, DNP3.

Considerando la necesidad de disponer de un modelo de telecontrol para el laboratorio de electroneumática en ITCA-FEPADE, Centro Regional Santa Ana, se implementó el proyecto: "Diseño y construcción de Unidad Terminal Remota de bajo costo para un laboratorio de pruebas de sistemas electroneumáticos". El enfoque principal para este proyecto fue diseñar una RTU de bajo costo, tomando elementos del hardware abierto, que permita establecer la comunicación con un PLC S7 1200, mediante el protocolo MODBUS TCP/IP. Para flexibilizar el envío y recepción de comandos de forma remota, se integró una antena RF que funciona bajo el estándar Zigbee. Se configuró una red incorporando un VPN (IXROUTER-IXON), con el propósito de experimentar con comunicaciones remotas para el control y monitoreo desde cualquier parte del mundo de una forma segura y fiable.

Desarrollo

En el campo industrial existen una variedad de soluciones para conectar un PLC para el control de un proceso de forma remota, una de las soluciones más difundidas en el entorno industrial son las RTU; es una pequeña y robusta computadora que proporciona inteligencia en el campo para permitir que un autómata programable o PC se comunique con los instrumentos en los sistemas SCADA. La RTU es una unidad independiente de adquisición y control de datos y actualmente existen en el mercado una variedad que utilizan hardware propietario: SIMATIC RTU 3010C, RTU3030 y RTU3031C de la marca SIEMENS, RTU -LP-ST de la marca SENECA entre otras.

Concepción y diseño de las Unidades Terminales Remotas.

La adquisición de datos por parte de la estación maestra requiere que la Unidad Terminal Remota tenga la capacidad de

leer tres tipos distintos de señales. [1]:

- Señal digital.
- Señal analógica.
- Señal de acumulación de pulsos.

Otras partes esenciales de la RTU son:

- El módulo de salidas digital y analógico.
- El módulo modem para establecer la comunicación con la estación maestra.

La comunicación en la RTU se realiza mediante un modem que permite el envío de comandos, empleando protocolos de comunicación industrial tales como MODBUS TCP y MODBUS RTU.

Protocolo MODBUS.

MODBUS es un protocolo de comunicaciones originalmente ubicado en la capa de aplicación del modelo OSI, que ofrece comunicación cliente/servidor entre distintos dispositivos y medios. Ha sido el protocolo preferido en la industria desde 1979 [2]. "El protocolo MODBUS se ha expandido para incluir implementaciones a través de protocolo serial, TCP/IP y el User Datagram Protocol (UDP)" [3].

A continuación, se describen las características más importantes del protocolo MODBUS sobre una línea serial, que se encuentra ubicado en la segunda capa del modelo OSI. [4]

MODBUS en la capa de enlace.

El protocolo MODBUS sobre una línea serial es un protocolo jerárquico de tipo maestro/esclavo, en el que uno de los nodos, el maestro, envía solicitudes explícitas a los nodos esclavos para que sean procesadas y respondidas. Los nodos esclavos no pueden comunicarse entre sí, y no transmiten datos sin la previa solicitud del maestro. El maestro solo puede iniciar un intercambio de información a la vez.

En la capa de aplicación la trama MODBUS está conformada por una Unidad de Datos de Protocolo PDU, mostrada en la Fig. 1, que contiene la función que desea implementar el maestro y los datos asociados a ella.

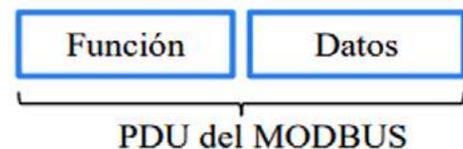


Fig. 1. PDU del MODBUS en la capa de aplicación.

Al insertar el protocolo MODBUS en la capa de enlace se le asocian dos nuevos elementos a la PDU: La dirección del esclavo y la Comprobación de Redundancia Cíclica CRC, como se muestra en la Fig. 2

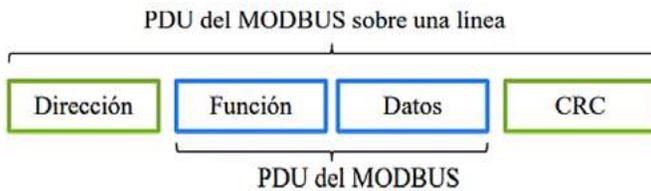


Fig. 2. PDU del MODBUS en la capa de enlace.

El maestro tiene dos maneras de hacer solicitudes a los esclavos: el modo unicast y el modo broadcast [2]. En el modo unicast el maestro envía una petición a un único esclavo y este procesa y responde la petición, mientras que en el modo de broadcast, el maestro envía un mensaje a todos los esclavos empleando la dirección 0, los esclavos procesan la petición, pero no emiten una respuesta. De acuerdo con el contenido de los bits de la PDU, el protocolo MODBUS sobre una línea serial presenta dos modos de transmisión: el modo RTU y el modo ASCII [4].

Cada uno de los esclavos es identificado con una dirección, que debe ser única para cada bus de datos. Estas direcciones pueden ir desde la 1 hasta la 247. Las direcciones comprendidas entre la 248 y la 255 están reservadas por el protocolo, mientras que la dirección 0 se encuentra designada para el modo de broadcast. El maestro no posee una dirección específica.

MODBUS en la capa física

A nivel de la capa física el protocolo MODBUS sobre una línea serial, puede ser implementado por distintas interfaces, la más común es el RS485 de par trenzado, aunque también está disponible para el estándar RS485 de cuatro cables y en el RS232 para conexiones cortas de tipo punto a punto [4].

En el estándar MODBUS de par trenzado todos los dispositivos están conectados en paralelo por tres cables: el común y el bus de datos conformado por el par trenzado. La velocidad para la transmisión de datos suele ser de 9600 Bd (Baudios) y los dispositivos MODBUS también deben implementar la velocidad de 19200 Bd. [4]

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se ejecutó utilizando el diseño experimental llevando a cabo diferentes actividades las cuales se detallan a continuación.

Diseño y construcción de prototipo de RTU.

El prototipo se diseñó tomando el enfoque modular, en el que se incluyeron los elementos esenciales que conforman las unidades terminales remotas. Se diseñó un módulo de entradas de señales digitales, un módulo para la salida de señales digitales, un módulo central para el procesamiento de datos y manejo de las comunicaciones alámbricas e inalámbricas de la RTU.

Testeo de la RTU en los laboratorios de ITCA.

Para comprobar que la Unidad Terminal Remota funciona correctamente para solucionar el problema para el cual fue concebida, se realizaron pruebas utilizando el laboratorio de electroneumática, entre ellas verificar si los comandos de control se enviaban correctamente en una red conformada por hardware abierto, PLC y computadoras con un sistema ESCADA experimental, utilizando diferentes protocolos de comunicación especialmente MODBUS TCP y Zigbee para la comunicación inalámbrica.

Resultados

1) Diseño e implementación de la RTU

El hardware de la Unidad Terminal Remota está dividido en 5 módulos: el módulo de alimentación, el módulo de comunicación, el módulo de control, el módulo de entradas digitales y el módulo de salidas digitales.

El montaje se realizó utilizando una placa prediseñada en la que se colocaron los diferentes componentes requeridos para cada módulo. En la Fig. 3, se muestra un diagrama de bloques para tener una visión general del hardware de la RTU diseñada.



Fig. 3. Diagrama de bloques de la RTU.

Con el propósito de facilitar los cambios en la funcionalidad de la RTU, se adoptó el enfoque de diseño modular, permitiendo que el producto final se pueda ensamblar por capas. En la Fig. 4 se muestra una imagen del ensamble final de la RTU.

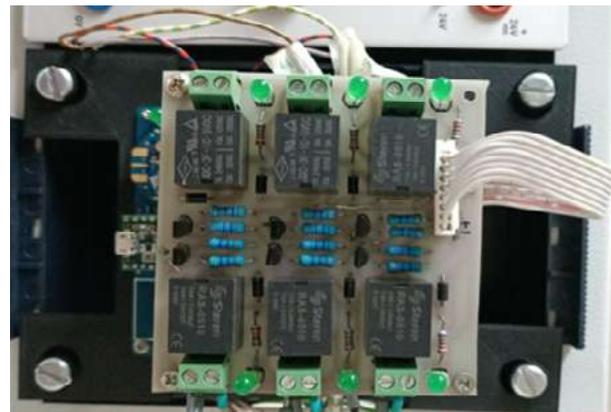


Fig.4. Ensamble de la RTU.

2) Latencia de la red de comunicación

Considerando que la latencia es el tiempo de retraso en el proceso de envío y recepción de datos a través de una red, y con el propósito de determinar la viabilidad de utilizar la RTU en aplicaciones donde el tiempo de respuestas en las comunicaciones es crítico, se realizaron dos experimentos: el primero consistió en conectar el módulo RTU a una red LAN en las instalaciones de ITCA y en el segundo se realizó una conexión remota usando un VPN, para ello se utilizó el IXROUTER-IXON.

Los resultados de las pruebas obtenidos para una conexión de la RTU a una red local LAN fue de una latencia promedio de 52.9 milisegundos y para la conexión remota usando una VPN IXON la latencia promedio fue de 994.0 milisegundos.

Con el propósito de realizar las pruebas de latencia se diseñó una aplicación con el entorno de desarrollo LabView, Fig. 5, utilizando el protocolo de comunicación MODBUS TCP.



Fig. 5. Aplicación para medir la latencia de red.

3) Comunicación remota vía VPN usando el protocolo MODBUS TCP.

Se realizaron pruebas para manipular un cilindro neumático de doble efecto del módulo electroneumático conectado a la RTU. Se diseñó una aplicación en LabVIEW que permitió manipular el cilindro neumático de doble efecto por Internet. Al presionar un botón virtual (ON) el vástago del cilindro sale y al presionar otro botón (OFF) el vástago del cilindro se retrae.

La solución para manipular de forma remota componentes del módulo electroneumático conectado a la RTU se dividió en las siguientes partes:

a) Diseño de la Red de Comunicaciones. Fig. 6.

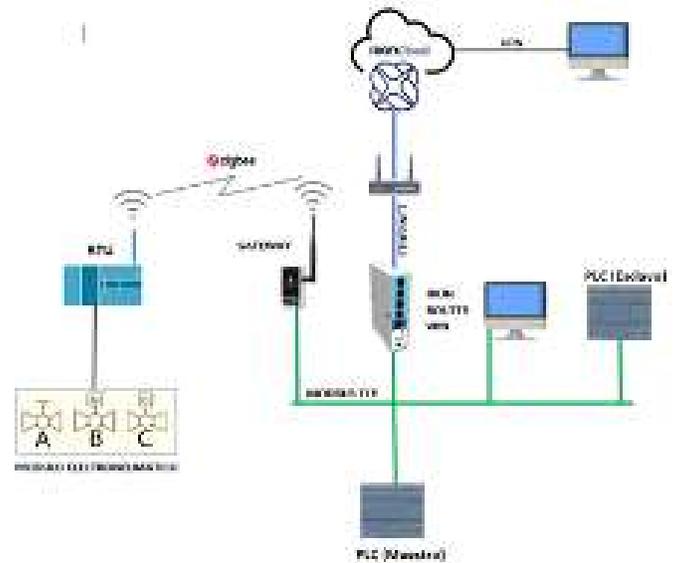


Fig. 6: Diseño de red para el envío y recepción de datos.

b) Diseño del Diagrama de Mando. Fig. 7

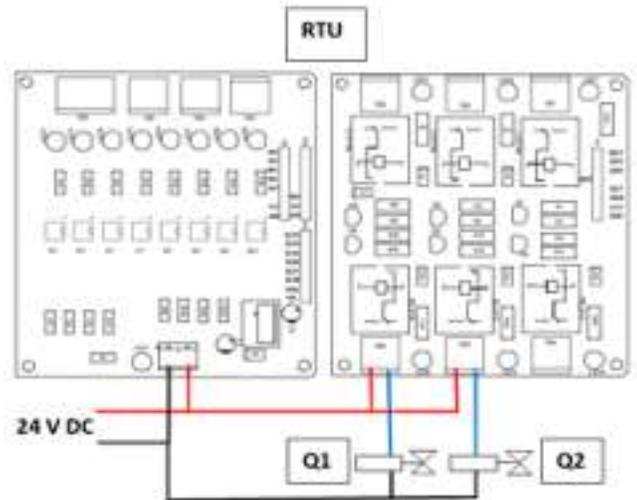


Fig. 7: Diagrama de conexión de las electroválvulas con la RTU

c) Diseño del Diagrama de Fuerza. Fig.8

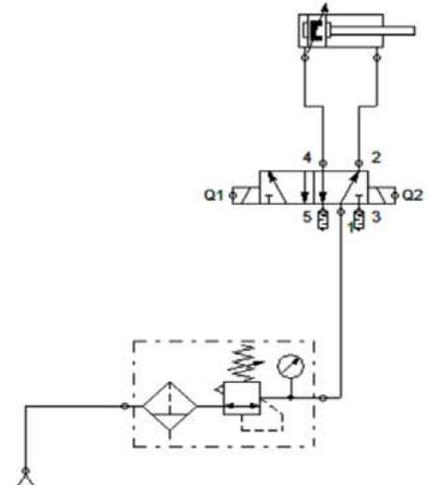


Fig. 8. Circuito para el control de un cilindro de doble efecto

d) Diseño de la Aplicación en LabView. Fig. 9.



Fig. 9. Interfaz para control y monitoreo remoto.

e) Segmentos del Programa para el PLC. Fig. 10.

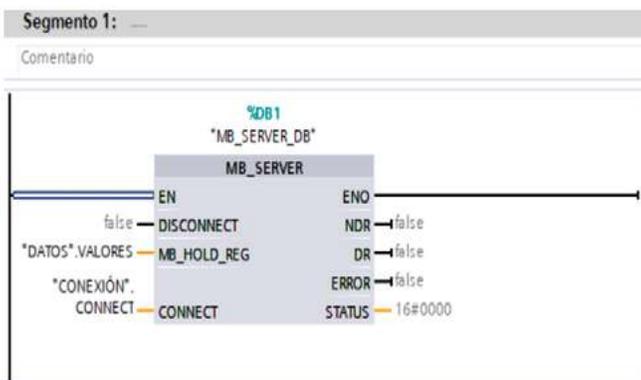


Fig. 10. Configuración del MB_SERVER_DB y registro de valores numéricos

f) Montaje de los componentes. Fig. 11.



Fig. 11. Vista del módulo con el montaje de componentes neumáticos y electroneumáticos.

Conclusiones

- Con el desarrollo de la investigación queda demostrado que la fiabilidad en la comunicación entre un PLC S7 1200 de Siemens y una RTU construida con hardware abierto se logra si se usa un protocolo de comunicación industrial como el MODBUS TCP/IP.

- Para aplicaciones donde el tiempo de respuesta es crítico, hay que considerar la latencia en la comunicación. Usando diferentes configuraciones de red para este proyecto de forma experimental, se obtuvo una latencia de 52.9 milisegundos con conectividad local y 994 milisegundos con conectividad remota.

- En aplicaciones donde el tiempo de respuesta sea crítico, usar la RTU en una red local; para aplicaciones donde la latencia en las comunicaciones no es crítica la RTU se puede usar con conectividad remota mediante un VPN.

Referencias

[1] Montalvo, L. “Diseño y construcción de unidades terminales remotas (RTU) de bajo costo para sistemas de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA)”. 1991 Conference Paper.

[2] MODBUS Organization, “MODBUS Application Protocol Specification” V1.1b3 [Online]. available: https://www.modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf [Accessed: 10-mar.2023]

[3] National Instruments, “Información Detallada sobre el Protocolo Modbus [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/393885543/NATIONAL-INSTRUMENTS-Informacion-Detallada-Sobre-El-Protocolo-Modbus> [Accedido: 10-mar.2023]

[4] MODBUS Organization, MODBUS over Serial Line Specification and Implementation Guide V1.02 [Online]. Available: https://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf [Accessed: 15-mar.2023]

Bibliografía

1. Montenegro, G. Electrónica general y aplicada, carpeta de trabajos prácticos, , 2016- TP N° 14. 2006. [En línea]. Disponible en: <http://fcai.uncuyo.edu.ar/catedras/carpeta-trabajos-practicos.pdf> [Accedido: 15-mar.2023]

2. Rabadán Barastegui, J.J. “Diseño y desarrollo de una red MODBUS RTU basada en Arduino”. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Universidad de Sevilla. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/69399> [Accedido:15-mar.2023]