

# Implementación de Tecnología Zigbee en una Red Modbus para Aplicaciones Inalámbricas en Automatización Industrial

Tarhan M.; De la Cruz F.; Díaz-Granados M.

Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre". Vicerrectorado Barquisimeto  
Departamento de Ingeniería Electrónica, Barquisimeto, Venezuela  
e-mail: maria.tarhan@gmail.com; fdlcruz@unexpo.edu.ve; mdiaz@unexpo.edu.ve

---

**Resumen:** Zigbee es un estándar que define un conjunto de especificaciones para redes inalámbricas de sensores a corta distancia y baja velocidad de transmisión. La tecnología Zigbee tiene a las redes industriales como uno de sus principales objetivos, pero en muchos casos, se requiere la coexistencia con las redes industriales existentes. En este trabajo, se presenta el diseño y construcción de sistema de adquisición de datos basado en dicha tecnología. Una pasarela Modbus-Zigbee, basada en microcontrolador, se comunica en una red cableada Modbus con un Controlador lógico programable (PLC). El PLC realiza las solicitudes al microcontrolador mediante protocolo de comunicaciones Modbus RTU y el microcontrolador direcciona, mediante comandos AT, un módulo coordinador Zigbee que conforma, a su vez, una red inalámbrica con dos módulos remotos transmisores/receptores Zigbee conectados a sensores industriales, uno con salida analógica y otro de tipo digital. La pasarela recibe los datos de los módulos remotos y traduce la información al protocolo Modbus para luego ser enviada al PLC. De esta manera, no se requiere modificar los programas del PLC y se preservan los sensores existentes.

**Palabras claves:** Autómata programable, PLC, redes industriales, Modbus, redes inalámbricas, Zigbee.

**Abstract:** ZigBee is a standard that defines a set of specifications for wireless sensor networks, at short range and low transmission speed. ZigBee technology has industrial networks as one of its primary targets, but in many cases, coexistence with existing industrial networks is required. In this paper, the design and construction of data acquisition system based on this technology is presented. A Modbus-Zigbee based microcontroller gateway communicates on a Modbus wired network with a Programmable Logic Controller (PLC). The PLC makes requests to the microcontroller via Modbus RTU protocol and the microcontroller routes, through AT commands, a Zigbee coordinator module, which in turn creates a wireless network with two remote transmitters/receivers Zigbee modules connected to industrial analog and digital sensors. The gateway receives data from the remote modules and translates the information to the Modbus protocol before being sent to the PLC. Thus, it is not necessary to modify the PLC programs and existing sensors are preserved.

**Keywords:** Programmable Logic Controller, PLC, industrial networks, Modbus, wireless networks, Zigbee.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

En las aplicaciones automatizadas, los autómatas o controladores lógicos programables (PLC) tienen cada vez un papel más importante gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y a la necesidad de mayor seguridad y control en los procesos. Debido a la gran variedad de procesos a controlar, cada vez se requieren equipos que brinden un control y supervisión eficiente, pero que también sean capaces de adaptarse al proceso, es decir, que brinden flexibilidad al mismo como simplificación de tareas y optimización del proceso.

Actualmente la mayoría de los procesos de automatización en el entorno industrial [1], en aplicaciones domóticas, monitoreo ambiental [19] e inclusive en la agricultura [20], están implementando la tecnología inalámbrica, debido a la eficiencia en cuanto a la comunicación con equipos remotos,

a su confiabilidad y a la reducción de costos de cableado y conexión, logrando comunicarse a través de distintos protocolos entre equipos.

El uso de las redes inalámbricas en los procesos supervisados y controlados por PLC es cada vez más común. Entre los distintos protocolos inalámbricos se encuentran la tecnología Bluetooth y la tecnología Zigbee entre otras, donde la tecnología Zigbee cada vez es más utilizada en los procesos de automatización [1] esto ya que la tecnología Zigbee posee más bondades para este tipo de aplicaciones que la tecnología Bluetooth, principalmente debido a mayores velocidades de comunicación (250 kbits/s de la tecnología Zigbee versus 3 kbits/s de Bluetooth), mayor cantidad de nodos, hasta 65535 en comparación con los 8 nodos de Bluetooth, menor consumo eléctrico, mayor rango de alcance (hasta 100 metros), entre otros.

En este artículo se presenta la implementación de tecnología inalámbrica Zigbee para monitorizar las variables de dos sensores remotos, comunicándose con un módulo

---

Autor para correspondencia: fdlcruz@unexpo.edu.ve, +58-416-6746583. Campus UNEXPO. Av. Corpahuaico. Barquisimeto 3002. Venezuela.

inalámbrico principal, basado en microcontrolador, el cual a su vez se comunicará mediante el protocolo de comunicaciones Modbus con un PLC, tomando solicitudes para la supervisión y monitorización del proceso.

Este trabajo se organiza como sigue: La sección 2 introduce los conceptos básicos del protocolo Zigbee. La sección 3 presenta detalles del diseño y construcción del prototipo desarrollado. La sección 4 describe los resultados experimentales y aplicaciones y, finalmente, la sección 5 corresponde a las conclusiones.

## 2. PROTOCOLO ZIGBEE

En este trabajo se presenta una pasarela basada en microcontrolador que traduce la información entre los dos protocolos de comunicación presentes:

- Protocolo de comunicaciones Modbus RTU (Remote Terminal Unit).
- Protocolo de comunicaciones inalámbricas Zigbee.

Modbus es un protocolo de mensajería de la capa de aplicación, posicionado en el nivel 7 del modelo OSI, que proporciona comunicación maestro-esclavo entre dispositivos conectados a diferentes tipos de buses o redes. Modbus es el estándar de comunicación serial de facto de la industria desde 1979, y permite comunicarse a millones de dispositivos de automatización [11]. Modbus funciona siempre en modo maestro-esclavo (cliente-servidor), siendo el maestro quien controla en todo momento las comunicaciones con los esclavos, cuyas direcciones van desde 1 hasta 247 (dirección de 8 bits). Los esclavos se limitan a retornar los datos solicitados o a ejecutar la acción indicada por el maestro. Modbus especifica el procedimiento que el maestro y el esclavo utilizan para intercambiar datos, el formato de estos datos, y como se tratan los errores. No especifica estrictamente el tipo de red de comunicaciones a utilizar, por lo que se puede implementar sobre redes basadas en Ethernet, RS-485, RS-232, etc.

Las comunicaciones Modbus se pueden realizar en modo ASCII o en modo RTU. En modo ASCII los bytes se envían codificados en ASCII, es decir, que por cada byte a transmitir se envían dos caracteres ASCII (2 bytes) con su representación hexadecimal. Cuando los dispositivos son configurados para comunicar en una red Modbus, usando el modo RTU, cada byte de 8 bits en un mensaje contiene dos dígitos hexadecimales de 4 bits, donde cada mensaje debe ser transmitido en un flujo continuo de datos. La estructura del entramado Modbus está dada por el campo de dirección (1 byte), seguido del campo función (1 byte), luego el campo de datos (N bytes según la función a realizar) y finalmente el fin de trama (2 bytes), dado por el campo de control de error, CRC (Cyclical Redundancy Checking) un método de comprobación de redundancia cíclica que controla el contenido del mensaje completo. Ver Fig 1.

DIRECCIÓN ESCLAVO (1 byte)	CÓDIGO FUNCIÓN (1 byte)	DATOS (N bytes)	CRC (2 bytes)
----------------------------------	-------------------------------	--------------------	------------------

Figura 1. Trama del mensaje Modbus RTU

Los códigos de las principales funciones que se realizan usando el protocolo Modbus se listan en la tabla 1.

Tabla 1. Principales funciones Modbus

Función	Descripción
01	Lectura de variable digital
02	Lectura de entrada digital
03	Lectura de registro interno
04	Lectura de registro de entrada
05	Escritura de variable digital
06	Escritura de registro interno
15	Escritura múltiple de variables digitales
16	Escritura múltiple de registros internos

Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbricas (basado en el estándar IEEE 802.15.4) desarrollado por la Zigbee Alliance [21], para las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Las redes con módulos Zigbee abarcan un gran abanico de aplicaciones en diversas áreas, como son: sistema inteligente de transporte, sistema de detección de minas, sistemas de monitorización de signos vitales en tiempo real, control de procesos en forma remota, como monitoreo de equipos petroleros, monitoreo de turbinas de viento, conectividad para las instalaciones de energía solar [6], entre otras.

Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4 GHz, a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256 kbps. [16]. Una red Zigbee la pueden formar hasta 65.535 nodos (se emplean 16 bits en el caso de dirección corta)

Para conformar la red de este trabajo, se emplearon los módulos Xbee de Digi International [4] que utilizan el protocolo Zigbee. Son transmisores/receptores por radiofrecuencia por lo que envían o reciben datos en cualquier dirección hacia o desde otro módulo respectivamente. Los módulos Xbee permiten enlaces seriales de señales TTL en distancias de 30 metros en interiores, 100 metros en exteriores con línea de vista y hasta 1.5 Km con los módulos Pro. Estos módulos cuentan con convertidores A/D internos, los cuales son de 10 bits y su tasa de muestreo van de 1 a 65535 ms. También poseen salidas PWM, que sirven para representar señales analógicas, entradas RTS y CTS para control de flujo, entradas digitales, "DIN" y "DOUT" (Data in y Data out, respectivamente) para comunicación serial, entrada para el voltaje de referencia del convertidor, entre otras características.

Existen trabajos que mencionan el empleo del protocolo Zigbee en aplicaciones de monitorización en tiempo real pero usando un microcontrolador para controlar el proceso [7][13]

o una computadora para monitorizar mediante Zigbee un proceso controlado en forma independiente [20] pero no hay disponible en la literatura la descripción detallada de un sistema inalámbrico basado en protocolo Zigbee para supervisar un proceso industrial controlado por PLC con comunicación Modbus.

### 3. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para la conversión de protocolos se diseñó un módulo basado en microcontrolador que es capaz de tomar la información de la trama de petición de Modbus, direccionarla y configurar mediante comandos AT el módulo Xbee coordinador para obtener la información desde los sensores conectados a la red Zigbee y ajustar la trama de datos que recibe el Xbee a la trama de respuesta que requiere Modbus. En la Fig. 2, se muestra el diagrama general del sistema.

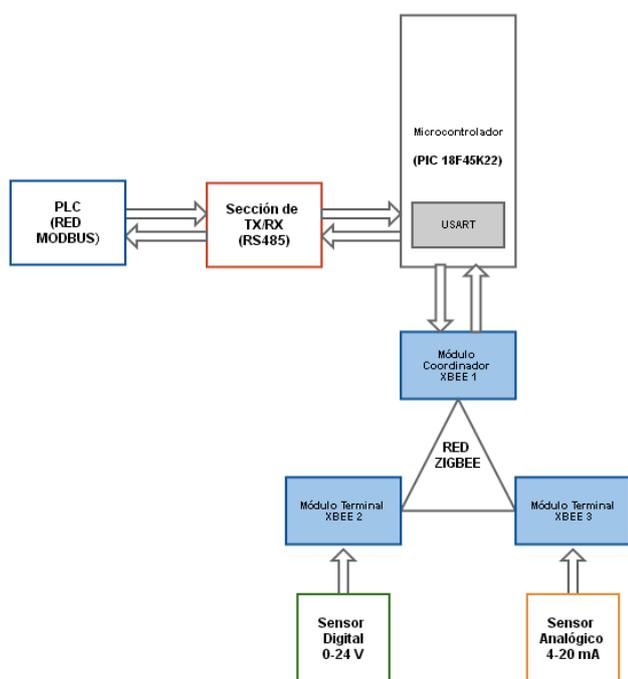


Figura 2. Diagrama general del sistema

#### 3.1. Sección de transmisión y recepción (Tx/Rx)

El módulo cuenta con una interfaz de comunicaciones RS-485, la cual está conformada por un MAX485 de Maxim Integrated [8] que permite la comunicación entre el estándar de Modbus RTU y la tecnología TTL del microcontrolador. Para el circuito de Tx/Rx, se basó en la configuración proporcionada por el fabricante en la hoja de datos, donde se indican los valores de los componentes (resistores) y la conexión necesaria para garantizar la correcta transmisión y recepción de datos. El módulo MAX485 se ajustó para una comunicación semiduplex donde realiza la transmisión o recepción de acuerdo a los parámetros requeridos, es decir, mediante un pin de habilitación conectado al microcontrolador se establece la transmisión o la recepción

de la información. En la Fig. 3 se puede observar el esquema de conexiones del módulo MAX485.

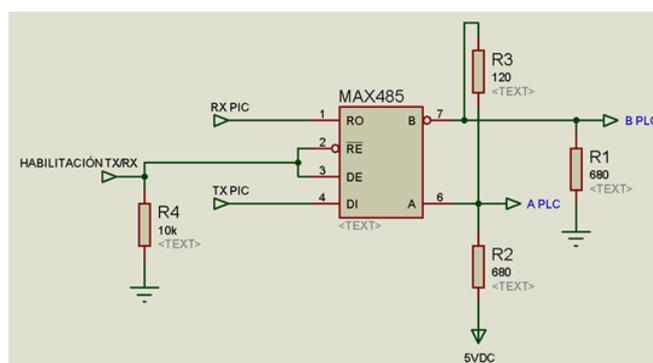


Figura 3. Diagrama de conexiones de la interfaz RS485.

#### 3.2. Pasarela Modbus-Zigbee

Para la conversión de protocolos se diseñó un módulo basado en microcontrolador que es capaz de tomar la información de la trama de petición de Modbus, direccionarla y configurar mediante comandos AT el módulo Xbee coordinador para obtener la información desde los sensores conectados a la red Zigbee y ajustar la trama de datos que recibe el Xbee a la trama de respuesta que requiere Modbus. Se empleó un microcontrolador 18F45K22 de Microchip Technology [9], el cual fue seleccionado debido a la cantidad de puertos seriales por hardware que posee. Así se garantiza la eficiencia del manejo de datos debido a las interrupciones asociadas a los mismos. La programación del microcontrolador contempla tres rutinas principales: rutina de inicio, recepción de datos Modbus y configuración del módulo Xbee.

##### 3.2.1. Rutina de inicio

Esta rutina se realiza cada vez que se energiza el dispositivo. En ésta se realizan la configuración de entradas y salidas del microcontrolador, la configuración de los puertos seriales para establecer la comunicación entre el microcontrolador y el PLC y la comunicación entre el microcontrolador y el módulo coordinador Xbee. También realiza las configuraciones iniciales de los módulos Xbee, la captura y procesamiento de la trama Zigbee así como los datos de los sensores, extraídos de la trama recibida por el módulo coordinador. El microcontrolador accede a la rutina de inicialización cada 30 segundos para actualizar la información proporcionada por los sensores.

##### 3.2.2. Recepción de datos Modbus

Una vez establecida la configuración inicial del programa y realizada la captura de datos de los sensores, se tiene la rutina de comunicación Modbus, la cual se encarga de esperar peticiones del PLC por el puerto serial, así como el análisis de la trama, su almacenamiento y procesamiento.

El control de trama se realiza mediante el cálculo del CRC (cálculo de redundancia cíclica) donde se compara el CRC de la trama recibida con el CRC calculado, si ambos son iguales no existe pérdida de datos por lo tanto se procede a realizar el procesamiento de la solicitud y enviar la trama de respuesta al

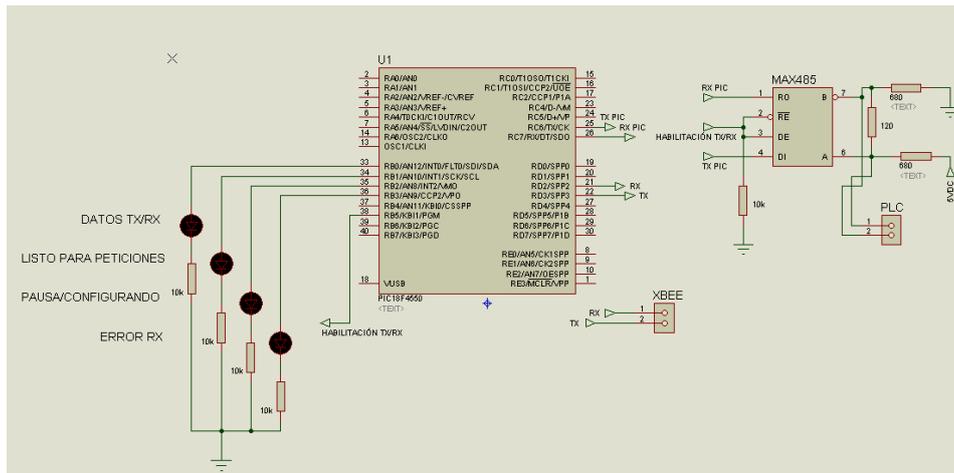


Figura 4. Esquema de conexiones de la pasarela Modbus-Zigbee.

Maestro (PLC); si no son iguales se procede a esperar una nueva petición.

### 3.2.3. Configuración del módulo Xbee

El módulo Xbee se configura mediante comandos AT, donde se indica la dirección del módulo Xbee terminal del cual tomará los datos del sensor. Cuando se reciben las tramas de datos, se procede a almacenarlas en un buffer para luego procesarlas y la identificación de la trama, se procede a calcular el CRC y finalmente guardar estos bytes en un vector para su futura transmisión.

### 3.3. Red Zigbee

La red Zigbee está conformada por un nodo coordinador, y dos nodos terminales. El nodo coordinador se conecta mediante los pines de transmisión y recepción al microcontrolador y los nodos terminales mediante acondicionadores a un sensor analógico y otro digital. Para la configuración de la red se trabajó con el programa XCTU de Digi [5], mediante el módulo USB Explorer. Este módulo se conecta a la computadora mediante un cable USB que permite la conexión de Xbee a la interfaz del programa XCTU para realizar configuraciones del módulo y para tener acceso a la información serial trabajada por el Xbee. Cada nodo terminal se configuró mediante el programa XCTU. Los nodos terminales enviarán la información del sensor asociado al nodo coordinador el cual solo será configurado mediante comandos AT por el microcontrolador dependiendo de la solicitud del usuario.

En la Fig. 4, se puede observar el esquema de conexiones del módulo principal, conformado por el microcontrolador 18F45K22, la interfaz de comunicaciones RS485 y el conjunto de LED que proporcionan información del funcionamiento del módulo durante las pruebas realizadas. De manera general, el funcionamiento está dado de la siguiente manera: Al inicializar el módulo, el LED “PAUSA/CONFIGURANDO” permanece activo, esto indica que el módulo está configurando y tomando la información de cada módulo Xbee. Este LED se activará siempre que el

almacenar los datos obtenidos del sensor en un registro. Para la comprobación de la trama se realiza de manera similar al cálculo del CRC, en este caso, calculando el *checksum* de trama y comparándolo con el valor de la trama recibida. Luego de esto, se procede a conformar el vector de la trama de respuesta, donde se indicará la dirección, función, bytes de datos y control de errores para finalmente ser enviados. En la trama de respuesta en los bytes de datos almacenados en el registro se tiene la información de los datos tomados del sensor y en conjunto con módulo entre en pausa para actualizar la información proporcionada por los módulos Xbee, aproximadamente cada 30 segundos. Luego de haber realizado la captura de la información de los módulos, el LED “LISTO PARA PETICIONES” se activará e indicará que el módulo está listo para recibir solicitudes. Luego de esto, cada solicitud Modbus recibida por el módulo será indicada mediante el led Datos Tx/Rx. El LED “ERROR RX” se activará cuando exista un error en la recepción de tramas Modbus.

### 3.4. Acondicionamiento de señales

Se empleó el sensor analógico de temperatura y humedad modelo THD-DD1C marca Autonics [2], el cual posee una salida normalizada de 4-20 mA para un rango de temperatura de -19.9°C a 60°C. Para adecuar esta salida a los rangos de voltaje trabajado por el módulo Xbee se obtuvo, mediante una resistencia de 250 Ω, una salida de voltaje en el rango de 1-5 Vdc. Para conectar esta señal de voltaje al pin D1 del módulo Xbee de tal manera que el módulo pueda convertir señales analógicas, se debe tener conectado el voltaje de referencia del modulo a un voltaje apropiado ( $0 < V_{ref} < V_{cc} = 3.3 \text{ Vdc}$ ). Por esto, se realizó una atenuación de voltaje, donde la salida de 1 a 5 Vdc pasará a ser de 0 a 3.3 Vdc. Para atenuar los niveles de voltaje, se trabajó con amplificadores operaciones, para este caso el amplificador LM324, el cual posee cuatro amplificadores en una pastilla de 14 pines. El circuito atenuador acoplado a las resistencias de conversión de corriente a voltaje se muestra en la Fig. 5. Se utilizó el sensor digital de proximidad capacitivo modelo CR30-15DN de Autonics [2], el cual maneja una salida (ON-OFF) normalizada de 0-24 Vdc. Para adecuar esta salida a los

rangos de voltaje trabajado por el módulo Xbee se obtuvo mediante un divisor de tensión una salida de 0-5 Vdc.

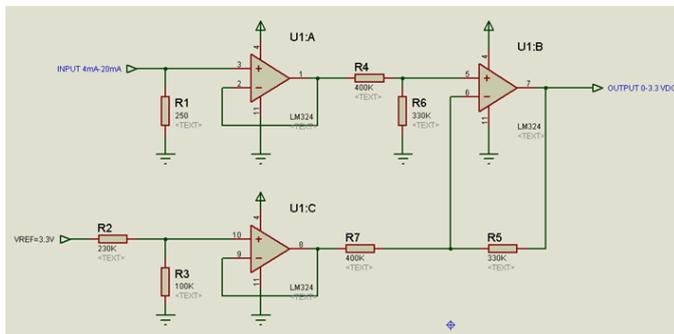


Figura 5. Circuito acondicionador de corriente de la salida del sensor de temperatura.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la prueba del sistema, se realizó el monitoreo de dos variables, temperatura y nivel del tanque de desechos de una maqueta de un invernadero industrial existente en el Laboratorio de Automatización Industrial del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Experimental Politécnica “Antonio José de Sucre”. Vicerrectorado Barquisimeto en Venezuela.

La maqueta representa el proceso de preparación de la mezcla para el riego, mediante dos ingredientes, A y B, así como el control de temperatura y humedad del invernadero. El proceso cuenta con un sensor de temperatura y humedad Autonics THD-DD1C, una lámpara incandescente de 100 W, un electro ventilador de 110 V y un nebulizador o fogger para garantizar las condiciones de clima deseadas. También se tiene un sensor de proximidad capacitivo, el cual detecta si el tanque de agua posee el nivel mínimo requerido para encender la bomba de control de humedad por nebulización. Una representación simplificada de la maqueta se muestra en la Fig.6.

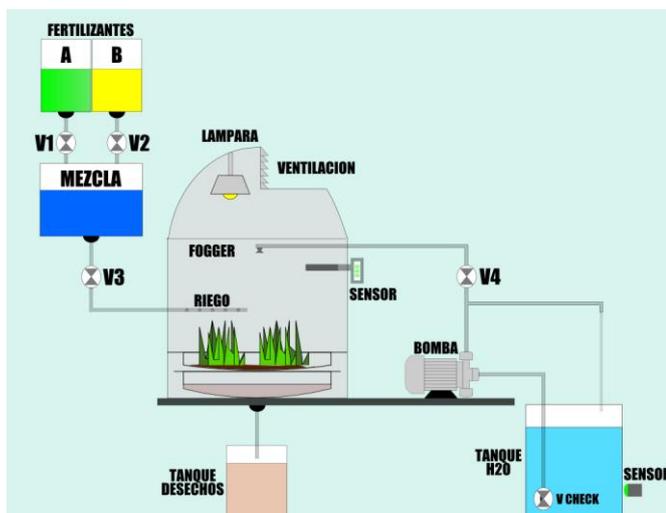


Figura 6. Esquema de la maqueta de invernadero.

El PLC se encarga del control de toda la maqueta que incluye preparación de mezcla, riego y control de temperatura y humedad. Para la prueba del sistema de adquisición de datos desarrollado, solo se tomó en cuenta la señal de salida de temperatura del analógico y el estado del sensor capacitivo.

#### 4.1. Configuración y prueba de los módulos Xbee

La red de módulos Xbee está conformada por un módulo coordinador y dos módulos terminales. El módulo coordinador es configurado mediante comandos AT [3] por el microcontrolador para así tomar la información de los módulos terminales. Cada módulo terminal tiene una dirección de destino fija, a la cual estarán enviando el estado de sus entradas mediante una trama API constantemente. El módulo coordinador cambiará su dirección para recibir de cualquiera de los dos módulos. Cada módulo terminal se configuró mediante el software XCTU donde se le asignó a cada uno su dirección de origen, dirección de destino, cantidad de muestras a enviar, tasa de muestreo y la respectiva configuración de las velocidades de transmisión. Para el módulo coordinador se realizó la configuración de las velocidades de transmisión ya que el direccionamiento final lo realizará el microcontrolador. Luego de configurar los tres módulos mediante el software XCTU, se procedió a probar el envío de trama y a verificar el estado de sus entradas, esto también a través del software XCTU. La comunicación inalámbrica Zigbee es transparente para el usuario, por lo que no es conveniente para el usuario conocer la información de datos consecutivos en un sistema de tiempo real. Luego de verificar el correcto funcionamiento de los módulos remotos, se procedió a la implementación del código de programación basado en microcontrolador para el direccionamiento del módulo coordinador y la captura por puerto serial de las tramas enviadas por los módulos terminales. Mediante el almacenamiento de los vectores de datos en la memoria EEPROM del microcontrolador se pudo visualizar el correcto tratamiento de las tramas recibidas. Para ello, se empleó el circuito depurador PICKit3 [10] de Microchips que permite programación y depuración de programas del microcontrolador 18F45K22. En la Fig. 7, se muestran las tramas (mostradas en código hexadecimal) procesadas por el microcontrolador al configurar el módulo principal y recibir las tramas de los módulos.

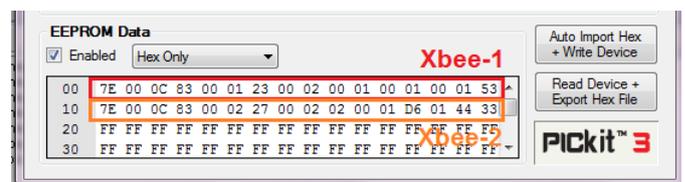


Figura 7. Software PICKit3, lectura de EEPROM del microcontrolador

El primer byte 0x7E ( $7E_{16}$ ) indica el comienzo del *frame* o trama. Los dos bytes siguientes 0x000C indican el largo de la trama de datos (*frame data*). El cuarto byte 0x83 corresponde a direccionamiento de 16 bits. Los siguientes bytes incluyen dirección de origen, potencia de la señal, máscara de canal,

etc. Los bytes 14° y 15° contienen los valores de los sensores (0001=ON para el digital y 0x0144 para el analógico). El último byte corresponde al *checksum*.

#### 4.2. Configuración y pruebas Modbus RTU

Para realizar las pruebas con la red Modbus, se realizó el programa que se encarga de efectuar las solicitudes Modbus RTU desde el PLC al microcontrolador. Se implementó la rutina de recepción, análisis y procesamiento de trama. Se configuraron velocidad de transmisión de 19200 kbps, 1 bit de parada y paridad par tanto en el PLC como en el microcontrolador. Una vez hecho esto, el microcontrolador recibe la petición Modbus de parte del PLC y solicita la información al Xbee coordinador. Este tiene los datos que recibe constantemente de los módulos remotos y los reenvía al microcontrolador. De las tramas recibidas (figura 7) el microcontrolador extrae la información correspondiente a los datos o valores de los sensores, es decir los bytes 14° y 15°, conforma la trama Modbus (figura 1), calcula el CRC y envía la respuesta al PLC. Finalmente, se verificó la correcta lectura de los datos de los sensores, usando el protocolo Modbus RTU, desde el PLC Twido monitoreando las variables de la maqueta del invernadero a través de la terminal gráfica Magelis. Se verificó la correcta recepción del valor de temperatura comparando el valor mostrado en el visualizador (display) incorporado en el sensor THD-DD1C y el valor mostrado en la pantalla Magelis. Igualmente, el estado del sensor capacitivo fue detectado por el PLC y visualizado en la pantalla al variar manualmente el nivel del depósito de agua.

### 5. CONCLUSIONES

Se logró una comunicación inalámbrica entre el PLC y los sensores remotos, mediante la utilización de los módulos Xbee y la creación de una Red Zigbee permitiendo así ampliar el campo de monitoreo y supervisión de variables remotas dentro de una aplicación de tipo industrial. Se realizó la transmisión/recepción de información entre el PLC y la pasarela a través de una red Modbus cableada y posteriormente con dos sensores remotos a través de una red inalámbrica Zigbee. La lectura de los datos de los sensores fue transparente al PLC, es decir, no fue necesario modificar el programa del PLC para solicitar los datos de los esclavos a través de la red Modbus, y ni sustituir los sensores empleados.

### REFERENCIAS

- [1] Altamiranda, N. Diseño e implementación de un sistema de supervisión inalámbrica para motores AC. Trabajo especial de grado. Universidad Politécnica "Antonio José de Sucre" UNEXPO, Venezuela. 2012.
- [2] Autonics Corporation. Sensors and Controllers. México. 2013 [Online] Disponible en <http://autonics.com.mx/index.php>.
- [3] Digi. XBee Command Reference Tables. 2012. [Online] Disponible en: [http://examples.digi.com/wp-content/uploads/2012/07/XBee\\_ZB\\_ZigBee\\_AT\\_Commands.pdf](http://examples.digi.com/wp-content/uploads/2012/07/XBee_ZB_ZigBee_AT_Commands.pdf)
- [4] Digi International, Inc. Xbee/Xbee-Pro RF Modules Data Sheet. 2009. [Online] Disponible en: [ftp1.digi.com/support/documentation/90000982\\_P.pdf](ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_P.pdf)
- [5] Digi International, Inc. XCTU. 2014. [Online] Disponible en: [www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu](http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/xctu)
- [6] Digi International, Inc. Learning center: Industry Standars, Digi Thecnologies and Applications. Disponible en: <http://www.digi.com/learningcenter/>
- [7] Durán, C., Iturriago, A. Automatización de un sistema de suministro de agua potable A través de la tecnología zigbee Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada Volumen 1 N° 17. 2011 [Online] Disponible en [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIIG/home\\_17/recursos/01\\_general/14062013/ali\\_iturriago.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaIIIG/home_17/recursos/01_general/14062013/ali_iturriago.pdf)
- [8] Maxin Integrated. Max485. 2014. [online] Disponible en: <http://www.maximintegrated.com/en/products/interface/transceivers/MAX485.html>
- [9] Microchip Technology. PIC18(L)F2X/4XK22 Data Sheet. 2012 [Online] Disponible en: [ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41412F.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41412F.pdf)
- [10] Microchip Technology. PICkit 3 In-Circuit Debugger. [online] Disponible en: [www.microchip.com/PIC164130](http://www.microchip.com/PIC164130)
- [11] Modbus Over Serial Line: Specification and Implementation Guide V1.02. 2006 [Online] Disponible en: [www.modbus.org/docs/Modbus\\_over\\_serial\\_line\\_V1\\_02.pdf](http://www.modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf).
- [12] Oyarce, A. Guía de Usuario: Xbee Series 1. 2008 [Online] Disponible en: [www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuario.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuario.pdf).
- [13] Pullés-Boudet, J.A., Pino-Escalona, A. Bonzon-Henríquez, J.E., Escalona-Costa, O. Desarrollo de aplicaciones de monitorización en tiempo real con el empleo del protocolo inalámbrico Zigbee para sistemas de calentamiento de agua con energía solar. Ciencia en su PC, N° 3, Cuba, 2010, pp. 41-57
- [14] Schneider Electric. Controladores Programables Twido. Guía de referencia de Hardware. 2009.
- [15] Schneider Electric. TwidoSuite V2.3 Guía de Programación. (2011).
- [16] Schneider Electric. Magelis XBT GT, XBT GK, XBT GH Guía de hardware. 2013.
- [17] Schneider Electric. Magelis XBTGT, XBTGK HMI Controller. Guía de programación. 2013
- [18] Stevanovic, D. Zigbee/IEEE 802.15.4 Standard. 2007. [Online] Disponible en: [www.cse.yorku.ca/~dusan/Zigbee-Standard-Talk.pdf](http://www.cse.yorku.ca/~dusan/Zigbee-Standard-Talk.pdf)
- [19] Yu C., Liu Y., Wang C. Research on Zigbee Wireless Sensors Network Based on Modbus Protocol. Wireless Sensor Network, Vol. 1 No. 1, 2009, pp. 43-47. [Online] Disponible en: [www.scirp.org/journal/wsn/](http://www.scirp.org/journal/wsn/).
- [20] Zhang Q., Yang X., Zhou Y., Wang L., Guo X. A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on Zigbee technology. Journal of Zhejiang University Science A. Vol 8, No. 10,

pp 1584-1587. 2007. [Online] Disponible en:  
[www.zju.edu.cn/jzus/openxt.php?doi=10.1631/jzus.2007.A1584](http://www.zju.edu.cn/jzus/openxt.php?doi=10.1631/jzus.2007.A1584)

[21] Zigbee Alliance. Zigbee Specifications, v1.0r13. 2006. [Online]  
Disponible en: [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org).