



Sistema de Adquisición de Datos con comunicación inalámbrica

Felipe Pérez Roque

Enrique Valdés Zaldívar

Olimpia Arias de Fuentes

felipe@feecom.co.cu

enrique.valdes@electronica.cujae.edu.cu

oarias@imre.oc.uh.cu

RESUMEN / ABSTRACT

En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un Sistema de Adquisición de Datos (SAD) con comunicación inalámbrica, aplicable al monitoreo remoto de parámetros ambientales con una estación de sensores. El sistema está basado en un microcontrolador PIC y una microcomputadora a los que se les ha incorporado un módulo de transmisión/recepción del tipo XBee, basados en la tecnología ZigBee, que permite la comunicación inalámbrica bidireccional entre ellos. La adquisición, digitalización, procesamiento, transmisión, así como el almacenamiento y la presentación de la información, se realiza con el empleo de dos programas diseñados específicamente para esta aplicación.

Palabras claves: SAD, microcontrolador, comunicación inalámbrica

A wireless Data Acquisition System (DAS) for the remote environmental monitoring using a sensors workstation was designed and implemented. The system is based on a PIC microcontroller and a PC interconnected by an XBee transmission/reception module based on ZigBee technology, which allows the bidirectional wireless communication between them. The acquisition, digitalization, processing, transmission, storage and presentation of the information are achieved by mean of two programs specifically designed for this application.

Key words: Data Acquisition System, microcontroller, wireless communication

Wireless Data Acquisition System

INTRODUCCION

La necesidad de disponer de sistemas de medición para acceder a lugares remotos, que sean robustos, de bajo costo, que posibiliten una rápida respuesta y que funcionen ininterrumpidamente con una cierta autonomía, durante largos períodos de tiempo y sin un gran mantenimiento, ha llevado hacia el desarrollo de sistemas multisensores que se puedan supervisar y controlar remotamente mediante la implementación de redes inalámbricas de sensores¹.

El desarrollo de sistemas de sensado inalámbricos es relativamente reciente. Ello ha sido posible gracias a los avances obtenidos en la microelectrónica, la computación y las telecomunicaciones. La miniaturización de los componentes electrónicos ha permitido diseñar circuitos que sean capaces de procesar información tanto digital como analógica y, además, transmitirla en ondas de radiofrecuencia con módulos pequeños. Estos circuitos pueden ser fácilmente colocados en espacios reducidos.

Las redes inalámbricas de sensores (Wireless Sensor Networks en inglés) es una de las tecnologías más significativas del siglo XXI². En particular, se van imponiendo con éxito en las aplicaciones de monitoreo ambiental^{3,4}. Existen varias tecnologías para la transmisión inalámbrica de la información. Entre las más importantes se pueden mencionar ZigBee, Bluetooth y WiFi, entre otras. Cuando lo que se necesita es enviar una gran cantidad de información, la alternativa es WiFi o Bluetooth. Sin embargo, cuando la velocidad de transmisión requerida es baja, y lo que se busca es reducir costos y consumo energético, la alternativa adecuada es ZigBee⁵. De hecho, cada vez son más frecuentes los diseños de redes inalámbricas de sensores basadas en el empleo de ZigBee^{6,7,8,9}.

El objetivo de este trabajo está dirigido al diseño e implementación de un sistema que asegure la adquisición, digitalización y transmisión inalámbrica a una PC, de las señales de tensiones analógicas provenientes de una estación de sensores, para ser

aplicado en el monitoreo remoto de parámetros ambientales. El sistema contempla el procesamiento de los datos enviados, los que son mostrados al usuario, además de permitir su almacenamiento. A través del programa implementado en la PC, el usuario puede, además, decidir el modo de trabajo del microcontrolador y la combinación de canales analógicos de medición con la que se trabajará.

Concepción General del Sistema de Adquisición de Datos

En la figura 1 se muestra el Diagrama en Bloques del SAD. El sistema está integrado por un microcontrolador y una PC. Cada una de las partes del sistema se encuentra conectada con un módulo de comunicación inalámbrica a través de la interfaz RS-232. El sistema podrá adquirir hasta 5 señales analógicas y posee suficiente flexibilidad como para permitir al usuario seleccionar el modo de trabajo y la variante de canales de medición con que se trabajará, así como el cambio de un modo de trabajo a otro, o la detención de la adquisición de las señales en un momento determinado. La presencia de un microcontrolador con entradas analógicas permite digitalizar la señal analógica recibida, lo que facilitará su procesamiento y transmisión. El empleo de las potencialidades de la Instrumentación Virtual permitirá aprovechar la capacidad de procesamiento y almacenamiento de la computadora personal. El usuario recibirá la información del monitoreo en tiempo real o la podrá consultar cuando desee, dado que los datos adquiridos se almacenarán en el lugar destinado previamente por el usuario.

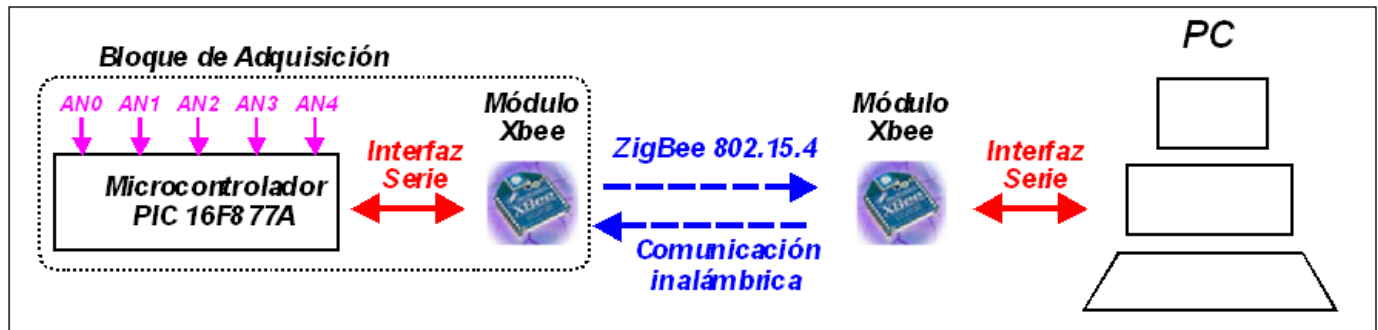


Figura 1 Diagrama en bloques del Sistema de Adquisición de Datos

El hardware del SAD está conformado por un Bloque de Adquisición y una computadora personal que puede ser conectada a través de la interfaz serie RS-232 ó por puerto USB con un módulo de comunicación inalámbrica XBee producido por MaxStream. El Bloque de Adquisición, ubicado junto a la estación de sensores, está formado por un microcontrolador PIC 16F877A, fabricado por Microchip, conectado por puerto serie a un módulo XBee. En el PIC se ejecuta un programa elaborado en lenguaje C y en la PC otra aplicación en LabVIEW, ambos diseñados específicamente para el sistema desarrollado.

Bloque de Adquisición

El elemento central del Bloque de Adquisición es un microcontrolador PIC16F877A¹⁰. Este microcontrolador fue seleccionado teniendo en cuenta que cumple con los requerimientos establecidos para el diseño en que se va a trabajar, especialmente la disponibilidad de modo de trabajo SLEEP para limitar el consumo de energía cuando está inactivo, un conversor análogo/digital con un número mínimo de 5 entradas analógicas (este PIC tiene 8, lo que permite reserva para futuras expansiones), puerto serie USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) para conectarse al módulo de comunicación inalámbrica y posibilidad de recibir interrupciones externas, entre otras. Por otra parte, se tuvo en cuenta que es un dispositivo sencillo de programar, fiable y con altas prestaciones, del que poseemos los kits de desarrollo, las herramientas para programarlo, así como la experiencia en su empleo. Mediante el microcontrolador se realiza la adquisición de las señales analógicas que se quieren medir, su digitalización y su entrega al dispositivo de comunicación inalámbrica para ser enviadas a la PC. Además, este dispositivo será el responsable de recibir e interpretar las indicaciones provenientes de la PC y mantener la comunicación con ésta, según el protocolo previsto.

La comunicación inalámbrica

En la tabla 1 se presenta una comparación de las características principales de las tecnologías de comunicación inalámbrica ZigBee 802.15.4, Bluetooth 802.15.1 y WiFi 802.11^{3,5,6}.

Prestaciones	ZigBee 802.15.4	Bluetooth 802.15.1	WiFi 802.11
Costo del chip (USD)	1	3	4
Consumo de corriente (mA)	30	65-170	350
Capacidad de red (nodos)	65000	30	7
Vida útil de la batería (días)	> 365	7	1
Velocidad de Transmisión RF (Kbps)	250	1000-3000	54000
Potencia de transmisión (mW)	1-2	1-100	40-200
Frecuencia de radio (GHz)	0.868; 0.915; 2.4	2.4	2.4
Rango de trabajo (metros)	1-100	1-100	30-100

Tabla 1 Comparación de tecnologías de comunicación inalámbrica

Como puede verse, mientras que ZigBee alcanza menor velocidad y potencia de transmisión, sin embargo es más barata, tiene mayor capacidad de red y presenta menor consumo de energía y mayor tiempo de vida útil de la batería.

Por tanto, para la comunicación inalámbrica se empleó la tecnología ZigBee 802.15.4¹¹. La elección de este tipo de tecnología se basó, además, en su menor complejidad, su capacidad de trabajar en diferentes topologías de red y su flexibilidad¹². Los dispositivos empleados fueron el **XB24-AWI-001 (XBee)** y el **XBP24-AWI-001 (XBee-Pro)**. En la tabla 2 se pueden apreciar las prestaciones de los dispositivos empleados¹³.

Prestaciones	Dispositivo XBee	Dispositivo XBee-Pro
Alcance en interiores/contexto urbano (m)	30	100
Alcance en exteriores y en línea recta (m)	100	1500
Potencia de transmisión (mW)-(dBm)	1-0	100-20
Velocidad de Transmisión RF (Kbps)	250	250
Velocidad de Datos de la Interfaz (bps) (seleccionable por software)	1200-115200	1200-115200
Voltaje de alimentación (V)	2.8-3.4	2.8-3.4
Frecuencia de operación(GHz)	2.4	2.4
Dimensiones(cm)	(2.44) X (2.76)	(2.44) X (3.29)

Tabla 2 Prestaciones de los dispositivos de transmisión inalámbrica XBee y XBee Pro

Desde el programa que se ejecuta en el microcontrolador se configura el módulo **XB24-AWI-001** conectado a él, y desde la PC se configura el otro módulo conectado a esta. El usuario solo tiene que garantizar que el dato a transmitir esté en la salida del puerto serie del microcontrolador. Los módulos **XBee** se encargan de ejecutar todas las tareas necesarias para la comunicación.

Protocolo de comunicación

Se diseñó un protocolo para establecer la comunicación ordenada entre la PC y el PIC. Las características y dimensiones de los mensajes intercambiados dependerán del modo de trabajo y la selección de canales a medir que decida el usuario.

En la figura 2 se presenta la estructura que tendría cada byte que forma parte del mensaje enviado. Como se observa, comenzaría con un bit en '0' que indicaría el inicio del carácter (Start bit), después vienen los 8 bits (pueden ser '0' ó '1') con la información transmitida, y finalmente un bit de parada en '1' que indicaría el fin del carácter (Stop bit).

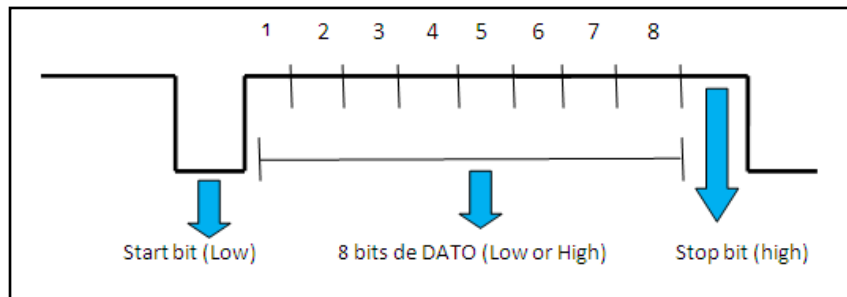


Figura 2 Estructura de cada byte transmitido

El usuario podrá seleccionar todas las combinaciones posibles para los canales de trabajo AN0, AN1 y AN2. En cada uno de dichos canales se medirá un valor de tensión analógica en el rango de 0 a 5 V. Además, siempre que se haga una medición con uno de esos tres canales, se podrá calcular también otro valor de tensión analógica diferencial mediante la medición de los canales AN3 y AN4.

Habitualmente, el microcontrolador estará en el modo de trabajo denominado **Espera**. Este es un modo de consumo mínimo de energía en el que como su nombre lo indica, se esperan indicaciones del usuario. Cuando se recibe alguna indicación, se pasa a alguno de los siguientes modos de trabajo, según la elección que haya realizado el usuario:

Monitoreo a Solicitud: En este modo se puede hacer una medición en cualquier momento que el usuario considere. Se identifica con el código "a". Una vez que el PIC recibe esta indicación, toma 60 muestras de cada canal seleccionado, a razón de 1 muestra/segundo, las promedia y transmite a la PC el valor resultante. Después, inmediatamente se detiene y entra en modo **Espera** para ahorrar energía.

Monitoreo Continuo con Alarma: Este modo está diseñado para que el sistema se mantenga midiendo hasta que el usuario indique detenerse. Se identifica con el código "c". Una vez que el PIC recibe esta indicación, comienza a tomar muestras de cada canal seleccionado a razón de 1 muestra/segundo y transmite a la PC el valor resultante. Se mantiene midiendo hasta que recibe indicación para detenerse y entrar en modo **Espera**. Mientras, en la PC se compara cada muestra con el valor de referencia preestablecido por el usuario. Si el dato medido es mayor que la referencia, se enciende un botón de alarma en el Panel Frontal.

A los efectos de que en la PC se pueda identificar la información útil, a cada dato enviado se le agrega al final el código "r". El dato de tensión de cada canal será identificado con su número (0, 1 ó 2) y el código ":", mientras que el voltaje diferencial irá precedido de la letra "T".

Diseño del software del Sistema de Adquisición de Datos

Se diseñaron dos programas diferentes y complementarios, que deben interactuar entre sí. El primero, es el programa que se implementa en el microcontrolador PIC16F877A. El segundo, es el implementado en la PC.

El programa implementado en el PIC le permite adquirir y digitalizar el valor de tensión que recibe en sus entradas analógicas y transmitirla a la PC mediante el módulo de comunicación inalámbrica XBee. Además, el programa garantiza la comunicación con la PC, el procesamiento de las indicaciones recibidas, así como su ejecución e información del resultado. Para ello, el programa se elabora en el lenguaje de alto nivel ANSI C. Se emplea como compilador el **PIC C Compiler v4**, suministrado por la compañía **Custom Computer Services (CCS)**, que permite la compilación de un programa elaborado en lenguaje C para microcontroladores.

El programa a ser ejecutado en el PIC consta de tres bloques:

- **Rutina de atención a la Interrupción por Puerto Serie:** Su función es establecer la comunicación con la PC con el objetivo de:
 1. Conocer el modo en que el usuario decidió trabajar (**A Solicitud** ó **Continuo con Alarma**), así como cual combinación de canales a medir fue seleccionada, de las 7 posibles.
 2. Confirmar a la PC que se recibió correctamente la indicación.
 3. Configurar la ejecución del programa principal según las indicaciones recibidas.

- **Rutina de atención a la Interrupción del Timer 0:** Es responsable de la adquisición y digitalización de las muestras de voltaje analógico correspondientes a los canales seleccionados. Para ello, se implementa un contador por software que permite cada un segundo activar el conversor análogo-digital para cada canal seleccionado y almacenar el dato de la conversión. Además, indica al programa principal la información necesaria para su trabajo.
- **Programa principal:** Su primera tarea es realizar la configuración básica del PIC, que incluye, entre otras, la frecuencia de trabajo de 4 MHz, los canales AN0, AN1, AN2, AN3 y AN4 del conversor A/D como entradas analógicas, que el rango de medición del conversor A/D esté entre 0 y 5 V, y que el módulo UART se encuentre activado y sus terminales RX y TX se comporten como entrada y salida digitales respectivamente. A continuación, configura el dispositivo de comunicación inalámbrica XBee acoplado al PIC. A partir de aquí, el programa entra en un lazo infinito (modo **Espera**) en espera de ser interrumpido por la llegada de un comando al puerto serie del PIC, que además lo "despierta". En ese momento, se determina cuál de los modos de trabajo ha sido indicado desde la PC y se ejecutan las acciones de medición previstas en cada caso. Finalmente, se confirma a la PC la conclusión del trabajo y el retorno al modo de **Espera**.

El diseño aprovecha todas las potencialidades del hardware y el software asociados a una **computadora personal** que está conectada al resto del sistema a través de la interfaz serie. El programa elaborado para ésta garantiza que el usuario pueda interactuar con el Sistema de Adquisición de Datos, así como el procesamiento, almacenamiento y visualización de la información adquirida. Primero, recibe, procesa y transmite al PIC las indicaciones del usuario. Después, recibe la información proveniente de este y la procesa, almacena y permite al usuario visualizarla.

El programa se elaboró en el lenguaje gráfico **LabVIEW v8.6**, suministrado por la compañía **National Instruments**, que permite construir sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. Sus programas se denominan Instrumentos Virtuales (Virtual Instruments ó VI). Cada VI está compuesto por un panel frontal, que permite la interfaz con el usuario pues cuenta con indicadores y controles para ello; un diagrama en bloques, que es donde se definen las tareas que deberá cumplir el VI, pues es el código fuente del VI; y un ícono/conector, que se utiliza cuando el VI se usa como subVI en el diagrama en bloques de un VI de mayor jerarquía.

El programa en LabVIEW, que consta de seis bloques, dirige todo el proceso, establece la interfaz con el usuario, recibe las decisiones de éste sobre el modo de trabajo y la selección de canales con la que se trabajará. También, le muestra el resultado final de las mediciones y las alarmas, si corresponde. Además, garantiza la elaboración y salva de una tabla confeccionada en un fichero de texto, con la información de la fecha y hora de cada medición realizada, y los valores medidos para cada canal.

En la figura 3 se muestra una vista del Panel Frontal que se abre ante el usuario cuando inicia el programa desarrollado en LabVIEW que se ejecuta en la PC, mientras que en la figura 4 se presenta un segmento del Diagrama en Bloques con el código fuente del Programa Principal.

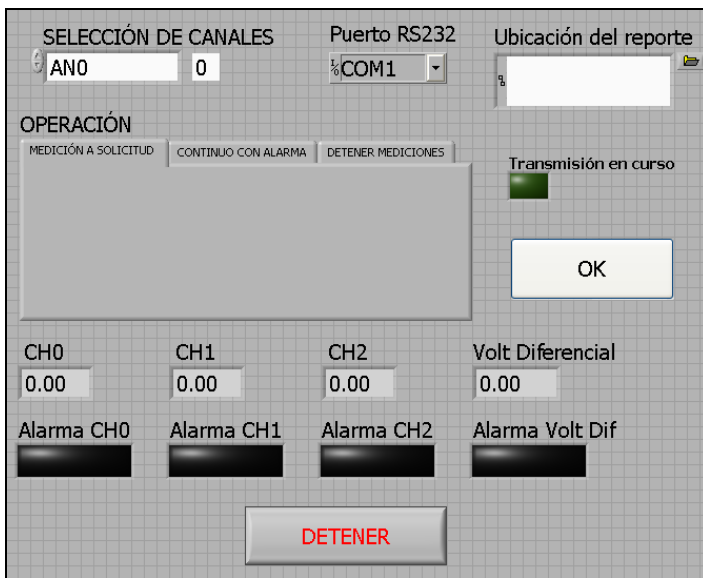


Figura 3 Vista del Panel Frontal

Los tres controles superiores permiten seleccionar la **combinación de canales** a medir, el **puerto serie** de la PC al que está conectado el módulo de comunicación inalámbrica y la **ubicación de la carpeta** en que se archivará el reporte de la medición. Debajo, en la segunda fila, están los controles para decidir el **modo de operación** y la **indicación de medir (OK)**, además del indicador lumínico (Transmisión en curso) que informa que **hay comunicación** con el PIC. Además, aparecen ocho indicadores: uno por cada uno de los tres canales medidos, otro con el **valor diferencial** y cuatro lumínicos de **Alarma**, que se encienden si el valor medido es superior a la referencia indicada por el usuario. Por último, el botón **DETENER** permite interrumpir la ejecución del VI.

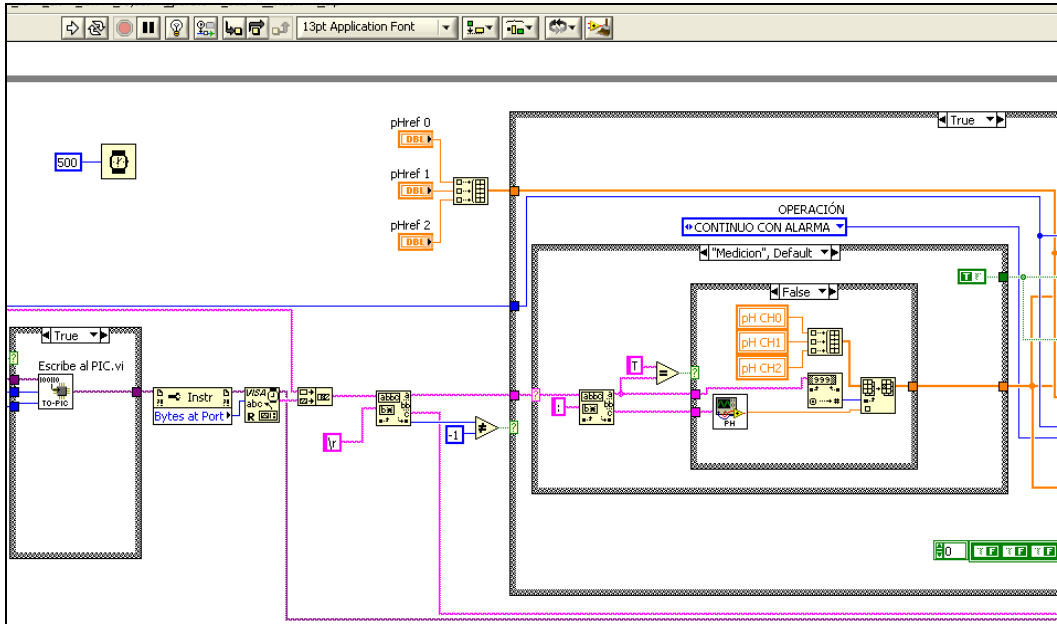


Figura 4 Vista de un segmento del Diagrama en Bloques

En el código gráfico asociado a la figura 4, puede verse cómo, cuando corresponde, el **Programa Principal** llama a diferentes subVI para que cumplan sus respectivas funciones.

Resultados de la simulación

En la figura 5 se muestra el Diagrama en Bloques del set empleado en la PC para simular el funcionamiento del SAD, aunque en esta simulación no es posible todavía verificar la comunicación inalámbrica entre el PIC y la PC.

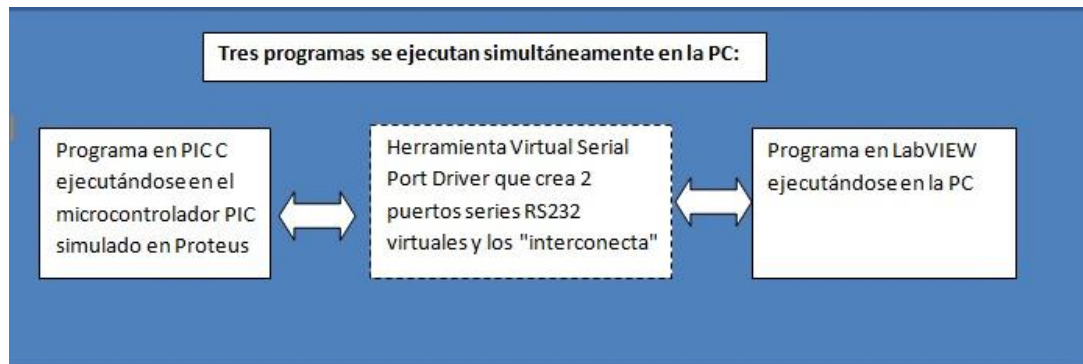


Figura 5 Vista del set para simulación del SAD

Para ello, se empleó la herramienta de software **Virtual Serial Port Driver 6.0**, de la compañía Eltima Software GmbH, que permite crear virtualmente un par de puertos serie RS-232 interconectados como se muestra en la figura 6. Después, se asignó uno

de esos puertos serie virtuales al PIC y otro a la PC y se ejecutaron simultáneamente el programa del PIC en Proteus y el de la PC en LabVIEW.

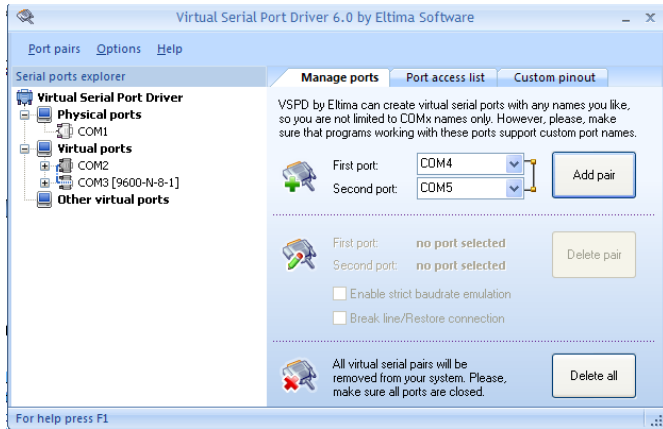


Figura 6 Vista del panel frontal del Virtual Serial Port Driver

En la figura 7 se observa una vista del resultado de la simulación que permite comprender el protocolo diseñado. Se observan dos ventanas: a la izquierda, el Panel Frontal del programa elaborado en LabVIEW; a la derecha, la simulación del PIC con Proteus. A su vez, esta última está dividida en dos ventanas: a la izquierda, lo que se recibe en el PIC; a la derecha, lo que se transmite desde el PIC.

Primero, en el Panel Frontal, el usuario selecciona: medir los 3 canales AN0, AN1 y AN2; emplear el COM3 para la comunicación serie RS-232; guardar el resultado de la medición en la carpeta señalada en **Ubicación del reporte**; emplear el método de medición **A Solicitud**; y finalmente oprime el botón **OK** para comenzar la comunicación.

Segundo, en la ventana que muestra lo que se recibe en el PIC, se observa la cadena de caracteres (**b6a**) enviada por el PC al microcontrolador, solicitando la medición en los términos indicados por el usuario.

Tercero, en la ventana que muestra lo que se transmite desde el PIC, puede verse, tras los caracteres de configuración del módulo XBEE, el carácter **ra** enviado por el microcontrolador a la PC para confirmar que recibió la indicación. Se enciende entonces en el Panel Frontal el indicador que confirma que la comunicación es exitosa.

Cuarto, se ejecuta por el PIC la adquisición de las señales, su digitalización y transmisión. Los caracteres enviados por el PIC al PC (valores de voltaje precedidos de los caracteres **0**, **1**, **2** de los tres canales AN0, AN1 y AN2 y el valor de tensión diferencial de AN3 y AN4, precedido de la letra **T**) se observan en la ventana que muestra lo que se transmite desde el PIC.

Quinto, los resultados que se ven en los indicadores correspondientes del Panel Frontal del LabVIEW coinciden con los transmitidos por el PIC, lo que prueba que la simulación de la "conexión" de ambos puertos serie fue exitosa.

Finalmente, en la ventana que muestra lo que se transmite desde el PIC, se observa el carácter **rp** enviado por el PIC a la PC para indicar que concluyó su trabajo y se "durmió" para ahorrar energía. Se apaga entonces el indicador lumínico denominado "Transmisión en curso".

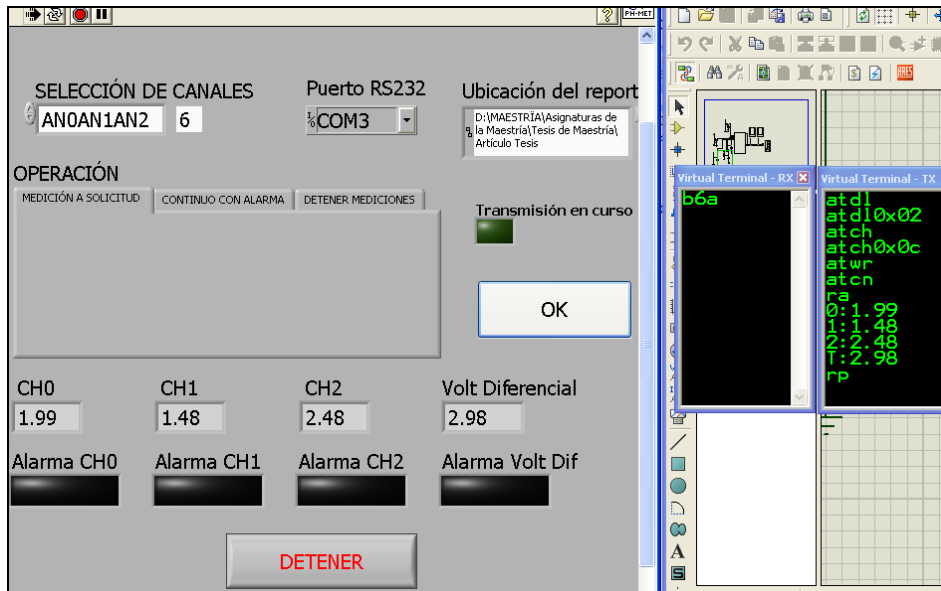


Figura 7 Vista del panel frontal del VI con los resultados de la simulación del SAD

Resultados prácticos

Se ejecutó el montaje práctico, en tiempo real, del funcionamiento del SAD. Para ello, se empleó el kit de desarrollo **PICDEM 2 Plus Demonstration Board**, de Microchip, que es una tarjeta que permite probar las capacidades de los microcontroladores PICs fabricados por ella y dos módulos ZigBee de comunicación inalámbrica **XB24-AWI-00**, uno conectado al PIC y otro a la PC. En la figura 8 puede verse el hardware montado con este objetivo.

La tarjeta cuenta, entre otras prestaciones, con un PIC 16F877A de 40 pines, un conector RS-232 y el hardware asociado para la conexión directa a una interfaz, un conector In-Circuit Debugger (ICD) para trasladarle el programa al PIC, un potenciómetro de 5 K Ω conectado a la entrada analógica RA0 del PIC y un oscilador de 4 MHz. Se conectaron las entradas analógicas del PIC RA0, RA1, RA2, RA3 y RA5 al potenciómetro, de manera que los tres primeros canales debían mostrar similar magnitud y el de voltaje diferencial el valor de 0. Se fijó manualmente en el potenciómetro el valor de 2.48 V. Se varió la distancia entre la PC y el PIC desde un mínimo de 1 metro hasta un máximo de 20 metros.

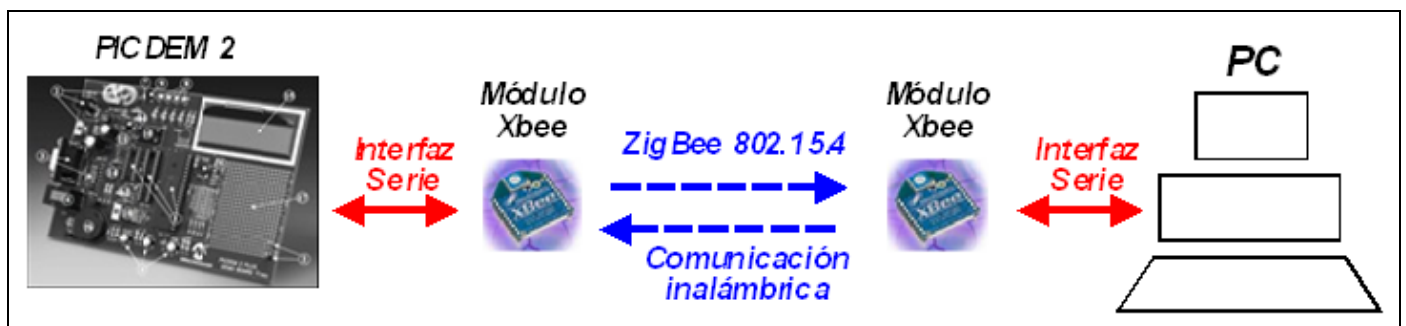


Figura 8 Vista del hardware montado para comprobar el SAD

En la tabla 3 se presentan los parámetros de programación que se introducen a cada módulo ZigBee. A uno, lo programa la PC con la herramienta XCTU; al otro, lo programa el PIC desde el inicio del programa principal que se ejecuta en él.

Módulo ZigBee	Personal Area Network ID (ID)	Interface Data Rate (BD)	Destination Address Low (DL)	Source Address (MY)	Channel (CH)
Conectado al PIC	3	3 (9600 baudios)	2	1	C
Conectado a la PC	3	3 (9600 baudios)	1	2	C

Tabla 3 Parámetros de programación de los módulos ZigBee

En la figura 9 se observa una vista del resultado del montaje práctico realizado. Se observan dos ventanas: a la izquierda, el Panel Frontal del programa elaborado en LabVIEW; a la derecha, el desempeño del PIC. A su vez, esta última está dividida en 4 ventanas: la superior, muestra lo que se recibe en el PIC desde la PC; en el centro, a la izquierda, lo que transmite el PIC al módulo ZigBee para inicializarlo; en el centro, a la derecha, lo que responde el módulo ZigBee al PIC durante la inicialización; la inferior, lo que se transmite desde el PIC a la PC.

Primero, cuando el PIC del kit de prueba **PICDEM 2 Plus Demonstration Board** es energizado, establece una comunicación con el módulo Zigbee conectado a él a través de la interfaz RS232, que se muestra en las dos ventanas del centro. El PIC pregunta por cada parámetro y le introduce el nuevo valor.

A partir de aquí, la secuencia es similar a la explicada para el caso de la simulación: el usuario selecciona en el Panel Frontal, su selección se transmite al PIC (código **b6a**), el PIC confirma que recibió la indicación (código **ra**), el PIC transmite a la PC los valores adquiridos y digitalizados para cada canal, y el PIC informa que concluyó y se "duerme" (código **rp**).

Finalmente, puede verse en el Panel Frontal el resultado esperado: los tres canales muestran el mismo valor de 2.48 V y el voltaje diferencial es cero. Esto permite confirmar el funcionamiento exitoso del SAD diseñado.



Figura 9 Vista del panel frontal del VI con los resultados de la prueba de implementación del SAD

CONCLUSIONES

Se diseñó y se implementó un Sistema de Adquisición de Datos que funciona con transmisión inalámbrica. Se verificó su correcto funcionamiento mediante la simulación de los programas que se ejecutan tanto en el PIC como en la PC. Además, se comprobó mediante el montaje práctico tanto el software diseñado como la comunicación inalámbrica entre el microcontrolador y la computadora personal. El sistema diseñado se encuentra listo para ser conectado, por ejemplo, a una estación de sensores y garantizar la adquisición, digitalización, transmisión, procesamiento, almacenamiento y muestra al usuario de la información, en dependencia de las decisiones tomadas por él. El sistema, al emplear ZigBee, tiene un costo general y un consumo de energía inferior que los de sistemas que emplean WI-FI o Bluetooth como tecnología de comunicación inalámbrica y, en adición, presenta la posibilidad de atender a un número superior de nodos, por lo que su reserva para expansión es mayor. Además, es posible manejar con flexibilidad el número de entradas analógicas directas que pueden atenderse, elevándolas hasta 8. Por otro lado, el sistema puede adaptarse con relativa facilidad para atender diversos tipos de sensores con salida de voltaje con ligeros cambios en el programa que se ejecuta en el microcontrolador y adaptando el programa en LabVIEW que corre en la PC a las características de cada sensor. Esto lo hace flexible en su aplicación, sin necesidad de cambiar el núcleo del hardware del Bloque de Adquisición. En resumen, podrían atenderse de manera remota hasta 8 sensores con salida de voltaje de diferente tipo y, en consecuencia, controlar ese número de variables de interés distintas, de forma sencilla y con un costo inferior al de otras tecnologías.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al Proyecto CYTED 510AC0408 “REDSSENS” por las posibilidades de colaboración que ha brindado para la ejecución de este trabajo. Se debe destacar la importante contribución de la coordinadora principal del Proyecto CYTED, la Dra. Cecilia Jiménez Jorquera, para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS

1. **JIMÉNEZ C., DOMÍNGUEZ C., ARIAS DE FUENTES O., LASTRES A. Y VALDÉS E.**; “Microsensores de estado sólido tipo ISFET: Estructura y fundamentos”; Sensores y Microsistemas, Vol. 2, Ed. CYTED; 2006.
2. **RUIZ-GARCIA, L. ET AL**; “A Review of Wireless Sensor Technologies and Applications in Agriculture and Food Industry: State of the Art and Current Trends”; Sensors; page 4729; June 2009.
3. **ALBADALEJO, C. ET AL**; “Wireless Sensor Networks for Oceanographic Monitoring: A Systematic Review”; Sensors; page 6949; July 2010.
4. **TOLEDANO-AYALA, M. ET AL**; “Long-Range Wireless Mesh Network for Weather Monitoring in Unfriendly Geographic Conditions”; Sensors; page 7141-7142; July 2011.
5. **ALMALKAWI, I. ET AL**; “Wireless Multimedia Sensor Networks: Current Trends and Future Directions”; Sensors; pages 6667-6668; July 2010.
6. **ZHANG, Q. ET AL**; “A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology”; Journal of Zhejiang University; page 1585; July 2007.
7. **CHEHRI, A. ET AL**; “Link-Quality Measurement and Reporting in Wireless Sensor Networks”; Sensors; page 3066-3067; March 2013.
8. **BARNEDA, I.**; “ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos”; Memoria del Proyecto de Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones; Universidad Autónoma de Barcelona; 2008.
9. **TOMÉ, J.**; “Diseño de módulos ZigBee de bajo coste”; Trabajo de fin de carrera; Universitat Politècnica de Catalunya; 2006.
10. **PIC 16F87XA DATASHEET**; Microchip Technology Inc.; 2003.

11. “IEEE 802.15.4”; disponible en <http://es.wikipedia.org>; Consultado en abril 2011.
12. **BURATTI, CH. ET AL.**; “An Overview on Wireless Sensor Networks Technology and Evolution”; Sensors; pages 6878-6884; August 2009.
13. **MAXSTREAM**; “XBee/XBee-PRO OEM RF Modules”; Product manual v1.06; page 4; UK; 2005.

AUTORES

Felipe Pérez Roque, Ing. Máquinas Computadoras, Empresa GEDEME, La Habana, Cuba.

e-mail: felipe@feecom.co.cu

Enrique Valdés Zaldívar, Ing. Electrónico, Doctor en Ciencias Técnicas, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba

e-mail: enrique.valdes@electronica.cujae.edu.cu

Olimpia Arias de Fuentes, Lic. Física, Doctora en Ciencias Químicas, Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.

e-mail: oarias@imre.oc.uh.cu