



Diseño de un sistema electrónico utilizando módulos XBee para transmitir VOZ

*Alexis Castellanos Rodríguez Franklin Padrón Quindemil Frank Martínez Suárez
Ángel Damián Bárzaga Varela Luis Alejandro Madruga Milanés*

RESUMEN / ABSTRACT

En el presente trabajo se muestra el diseño de un sistema electrónico que utiliza módulos XBee para transmitir voz. Dichos módulos operan sobre el estándar inalámbrico IEEE 802.15.4, el cual no está concebido originalmente para transmitir voz. Se presenta una maqueta configurable como dispositivo coordinador o terminal, se muestra el circuito impreso que da soporte a esta aplicación así como su funcionamiento. Un equipo terminal usando un microcontrolador adquiere la señal de voz, la digitaliza, la comprime y la empaqueta regido por un protocolo diseñado específicamente para tal fin. Los paquetes son entregados vía serie a un módulo XBee que permite la comunicación inalámbrica con otro módulo XBee situado en el dispositivo coordinador. El coordinador realiza la función de receptor logrando reconstruir la señal de voz. Además, se muestra la estructura de los diferentes comandos que conforman el protocolo de comunicación diseñado para lograr que el coordinador controle a los dispositivos terminales. Finalmente, se exponen los resultados obtenidos al someter a dos maquetas complementarias a una serie de pruebas de funcionamiento.

Palabras claves: XBee, microcontrolador C8051F320, ADPCM.

The current paper addresses the design of an electronic system using XBee modules to transmit voice. These modules operate on the IEEE 802.15.4 wireless standard, which is not originally intended to transmit voice. A configurable model is presented as both, a master or a terminal device. The printed circuit board supporting this application and operation is discussed. A terminal equipment is programmed through the use of a protocol, this specifically designed for acquiring, digitizing, compressing and packing the voice signal using a microcontroller. Packages are delivered via serial communication to an XBee module that allows wireless communication with other XBee module located in the master device. The master device performs the function of managing receiver in order to reconstruct the voice signal. Moreover, the structure of the various commands is shown. This commands are used for implement the communication protocol and allow to monitor the terminal devices by the master device. Finally, the results are obtained using two complementary models and the distortion of the received signal is analyzed.

Key words: XBee, microcontroller C8051F320, ADPCM.

Electronic system design based upon XBee modules for transmitting voice signals.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías inalámbricas han presentado un auge importante en la actualidad, esta proliferación se debe a las ventajas que exhiben sobre las tecnologías cableadas; flexibilidad, disponibilidad y conectividad. Resaltan entre las redes PAN (*Personal Area Network*): Bluetooth y ZigBee, siendo este último estándar la mejor apuesta para la reducción del consumo energético y

el costo. Uno de los inconveniente de ZigBee es que se encuentra entre las redes de menor ancho de banda[1], cuestión por lo cual su uso es regularmente encaminado a la transmisión de señales provenientes de sensores y otras soluciones que no requieran altas tasas de envío[2].

La idea de transmitir voz sobre el estándar 802.15.4 viene dada por las ventajas que ofrecen las redes basadas en él, entre las cuales se encuentran: bajo costo y bajo consumo, fundamentalmente[1, 3], aunque es de suponer que contengan un gran número de inconvenientes dado que actualmente ningún fabricante comercializa dispositivos basados en ZigBee para estos fines[4]. Tradicionalmente, ZigBee ha quedado relegado a entornos de sensores de señales menos complejas que la voz[5].

En este trabajo se muestra el diseño de un sistema que permite transmitir voz usando módulos XBee de la serie 1, producidos por el fabricante Digi. Estos módulos se rigen por el estándar de nivel de enlace IEEE 802.15.4, que es la base del protocolo ZigBee. Este sistema está conformando por un dispositivo coordinador y varios dispositivos finales, desde el coordinador se ejercerá el control del dispositivo final que se desea escuchar.

Para darle soporte físico a este diseño experimental se construyeron varias maquetas idénticas. Cada maqueta está compuesta por un microcontrolador C8051F320 de SILAB al cual se le incluye un módulo XBee, algunos indicadores lumínicos, puentes y varios botones pulsadores. En el caso de los dispositivos transmisores se acopla un bloque de adquisición de sonido para conformar uno de los dispositivos terminales, mientras en el coordinador es acoplado un amplificador para audífonos.

El firmware de los microcontroladores es el mismo para todos. Esto permite que las maquetas sean utilizables tanto como terminales o como coordinadores. Existirá un solo dispositivo coordinador en la red que ejercerá control centralizado sobre todos los dispositivos terminales. No será posible escuchar más de un dispositivo terminal al unísono, pero todos estarán disponibles para conexión.

REDES ZIGBEE

El estándar ZigBee, de manera similar al modelo OSI (*Open System Interconnection*), está constituido por diferentes capas, las cuales son independientes una de otra[2, 6]. En la figura 1 se muestran las diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee.

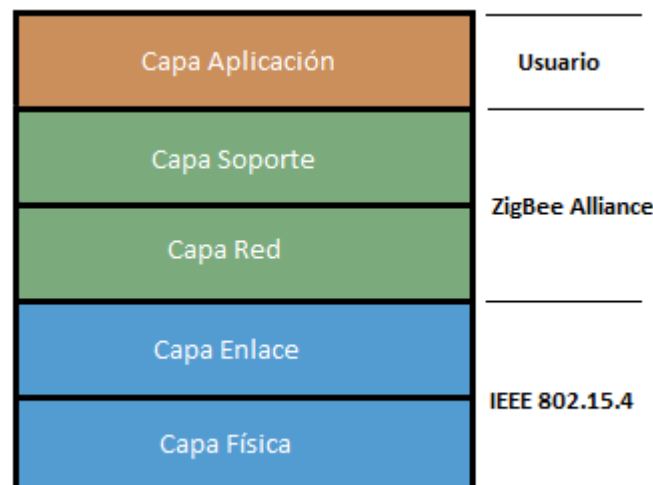


Figura 1. Diferentes capas que conforman la pila de protocolos para ZigBee.

Los módulos XBee de la serie 1 implementan solamente las dos primeras capas del modelo OSI, nivel físico y nivel de enlace. Por tal motivo, al utilizar estos módulos XBee se opera bajo el estándar IEEE 802.15.4 y no con el protocolo conocido como ZigBee[7]. Existen dos variantes de estos módulos: XBee y XBee PRO los cuales se muestran en la Figura 2.

Estos dispositivos pueden comunicarse entre sí y son compatibles en la disposición de sus terminales. La diferencia entre estos módulos radica, principalmente, en la potencia de transmisión, la sensibilidad de recepción y el consumo[8].

En la tabla 1 se muestra una comparación entre ambos modelos atendiendo al alcance y la potencia de transmisión. En cada caso la antena es un monopolo elemental.

MÓDULOS XBEE Y XBEE PRO



Figura 2. Módulos XBee y XBee PRO de la serie 1.

Tipo de XBee	XBee 802.15.4	XBee 802.15.4 PRO
Alcance interiores(m)	30	100
Alcance exteriores(m)	100	1500
Potencia de Transmisión	0 dbm	20 dbm
Sensibilidad de recepción	-90 dbm	-100 dbm

Tabla 1. Comparación entre XBee y XBee PRO.

Una de las cualidades de la tecnología Zigbee es la notable reducción del consumo energético. Esto se logra manteniendo a los módulos en estado de inactividad (modo de sueño) cuando no reciben, ni transmiten información, activándose cada cierto período de tiempo para chequear si deben recibir alguna información[9].

Atendiendo al consumo energético los módulos XBee PRO llegan hasta 250 mA en transmisión y 55 mA en recepción. El consumo de los módulos XBee puede llegar hasta 45 mA en transmisión y 50 mA en recepción. Cuando se encuentran en estado de inactividad ambos modelos consumen hasta 50 μ A[10].

LA SEÑAL DE VOZ

La señal de voz es el conjunto de ondas que se obtienen como resultado de la vibración de las cuerdas vocales con un contenido espectral muy característico[11]. El conjunto de frecuencias que es posible percibir por el oído humano está

comprendido entre los 20 Hz y 20 KHz[4], sin embargo, la mayor parte de la información que transporta la señal de voz se concentra entre los 300 Hz y 3400 Hz[12]. Esta porción es la que se transmite en las redes telefónicas convencionales y se conoce, por ello, como ancho de banda telefónico. El resto de las frecuencias se eliminan, con lo que los equipos pueden ser más simples, reduciendo así su coste, aunque se reduzca su calidad.

En este trabajo se establece un ancho de banda de 6 KHz, lo que significa una mejor calidad que en los sistemas telefónicos tradicionales. Por tanto, para eliminar el fenómeno de *aliasing*, se aplica el criterio de Nyquist, lo que implica que la frecuencia de muestreo debe ser, como mínimo, 12 KHz[12]. Se decidió utilizar como frecuencia de muestreo 12,5 KHz para alejarse de la frecuencia crítica de muestreo de 12 KHz.

La selección de la frecuencia de muestreo es un aspecto importante en este trabajo, ya que esto afecta directamente el flujo de datos en la red inalámbrica. Atendiendo a la frecuencia de muestreo y considerando un convertidor análogo-digital de 8 bits de resolución, se necesita transmitir 12500 muestras por segundo, multiplicado por 8 bits (100 Kbps).

Se debe destacar que a pesar que el estándar IEEE 802.15.4 establece 250 Kbps como velocidad de modulación, la velocidad efectiva es notablemente inferior a 250 Kbps debido a todo el proceso de entramado, de asociación, configuración y chequeo de datos. Esto provoca que el ancho de banda quede limitado como máximo a 100 Kbps[7].

En casos críticos de coexistencia con otras redes inalámbricas en el mismo espectro de frecuencias de transmisión, o envío constante de grandes volúmenes de información, como es el caso de la voz, el ancho de banda se ve disminuido incluso hasta 60 Kbps. Este valor es menor que los 100 Kbps necesarios para satisfacer los requerimientos iniciales, por tanto se hace necesario recurrir a algún método de compresión que disminuya la cantidad de datos.

COMPRESIÓN DE VOZ

Uno de los principales problemas que debe afrontar un sistema de transmisión de voz es su limitación en ancho de banda. La solución a este problema generalmente suele ser la compresión de las muestras obtenidas. Actualmente existe gran variedad de algoritmos de compresión. Algunos simples, que se basan sólo en operaciones aritméticas con baja razón de compresión y otros que emplean operaciones matemáticas complejas dando como resultado excelentes tasas de compresión a costa de necesitar mayores recursos de procesamiento. Por lo que cada solución debe comprender un análisis en función de los recursos con que cuente y requisitos que deba cumplir. Existen numerosos ejemplos de códec avalados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones).

En el caso de este trabajo el método de compresión se basa en la recomendación G.721 ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*) y en un algoritmo desarrollado por IMA (*International Media Association*), que fue modificado por Microchips[13, 14]. Solo se emplean operaciones aritméticas por lo que es posible implementarlo en un microcontrolador de gama baja.

ADPCM es un tipo de codificación diferencial con pérdidas, en la que la diferencia de la muestra codificada respecto a la muestra anterior se cuantifica con un paso de cuantificación adaptativo. Este paso de cuantificación es adaptativo porque va en incremento, o decremento, en función de la magnitud de las diferencias previamente codificadas[12].

Existen variaciones y adaptaciones de algoritmos basados en ADPCM que siguen una lógica digital basada en software. Estos bloques representan funciones, que son implementadas generalmente en microcontroladores. Por tanto se intenta concebir algoritmos que sólo utilicen operaciones aritméticas asegurando de esta forma la mayor simplicidad matemática posible.

En los casos consultados se emplea una longitud de 16 bits en la codificación que logran comprimirse en 4 bits, logrando una razón de 1:4. Aplicando este mismo criterio se desarrolló una compresión de 8 bits a 2 bits.

De esta forma para el muestreo de 12,5 KHz se tendrían 12500 muestras multiplicado por 2 bits = 25 Kbps, para lo cual el ancho de banda crítico de 60 Kbps del estándar IEEE 802.15.4 es suficiente para satisfacer los requisitos necesarios para este proyecto.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VOZ DISEÑADO

El objetivo del trabajo fue diseñar un sistema de comunicaciones de voz en tiempo real que permita a una cantidad limitada de equipos terminales integrarse dentro del área de cobertura de la red que se va a formar. Los equipos terminales podrán transmitir información hacia un nodo central (coordinador) y recibir comunicación de este nodo, pero no comunicarse entre ellos. Para lograr este objetivo la configuración de red que se seleccionó fue la de punto-multipunto, también conocida como estrella, la cual se muestra en la figura 3.

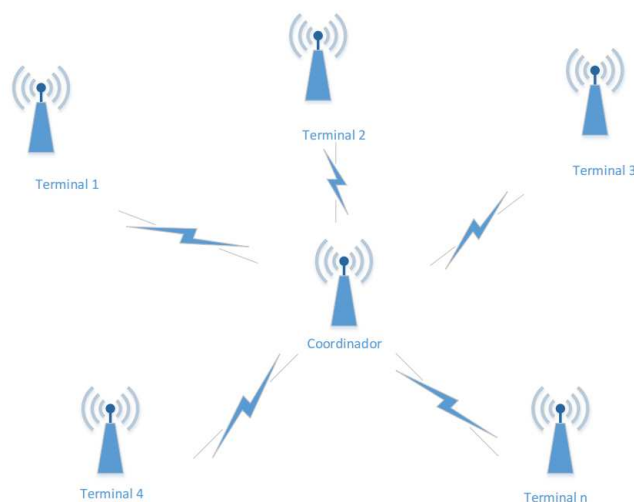


Figura 3. Topología de la red para la transmisión inalámbrica de voz (configuración tipo estrella).

A partir del diseño de la red se desarrolló un dispositivo capaz de transmitir y recibir voz por vía inalámbrica. El dispositivo diseñado cuenta con diferentes etapas o bloques los cuales interactuarán entre sí. La figura 4 muestra el diagrama en bloques del circuito diseñado en la maqueta configurable a la cual se le denominó RADIO XBee.

Como se muestra en la figura 4, se requiere la utilización de un micrófono para la conversión de una señal de voz a una señal eléctrica. La señal eléctrica obtenida por el micrófono es muy débil por lo que se introduce un circuito acondicionador de señal. El circuito acondicionador permitirá que la señal resultante pueda ser digitalizada a partir de un convertidor analógico-digital.

La señal digitalizada será procesada por un microcontrolador C8051F320 de Silabs. El microcontrolador, combinado con un módulo de comunicación inalámbrica XBee, se encargará de la transmisión y recepción inalámbrica de la señal de voz.

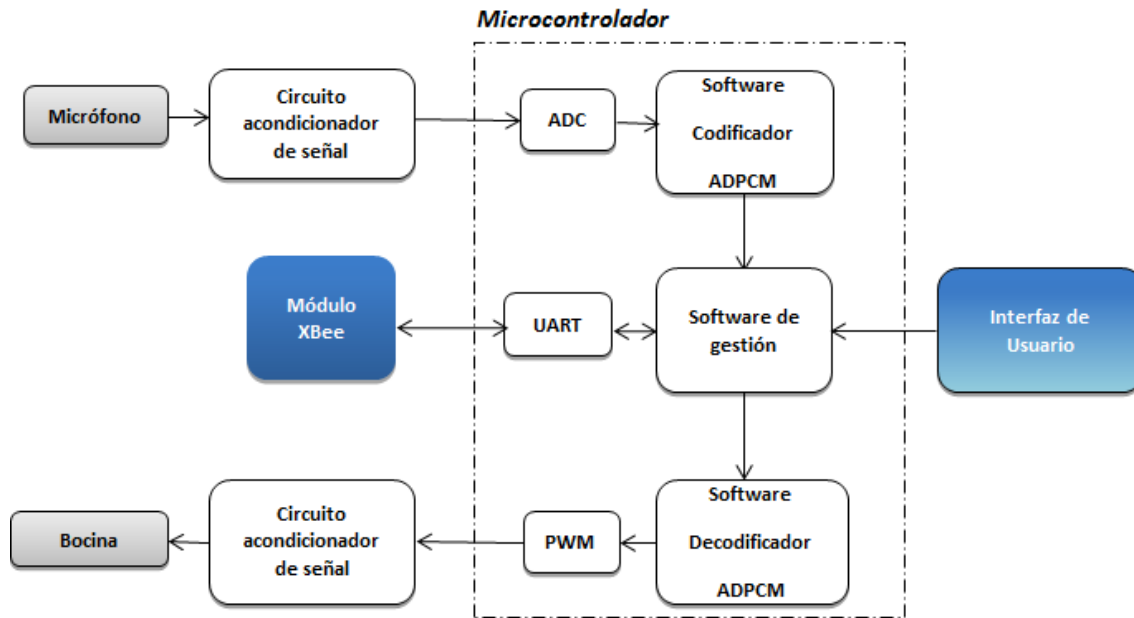


Figura 4) Diagrama en bloques de la maqueta configurable.

La señal recibida por el módulo XBee será procesada por el microcontrolador y enviada a un modulador por ancho de pulso que, unido a un circuito de acondicionamiento de señal, permitirá su reconstrucción y reproducción a través de una bocina o audífono. Además, es necesaria una interfaz de usuario atendida por el microcontrolador para la interacción directa del coordinador con el sistema. Este sistema permitirá enviar señales de voz por demanda del coordinador.

El software a utilizar para el funcionamiento del sistema se separa en tres bloques: el software de gestión, la codificación ADPCM y la decodificación ADPCM. El software de gestión se encarga de la comunicación con el módulo de transmisión inalámbrica y la interfaz de usuario. El software de codificación ADPCM procesa la información obtenida por el convertidor analógico-digital y se la envía al software de gestión. El software de decodificación ADPCM procesa la información obtenida del software de gestión y la envía al modulador por ancho de pulso.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN DISEÑADO

La necesidad de controlar los parámetros relacionados con los módulos XBee de los dispositivos terminales y los periféricos del microcontrolador exigió el desarrollo de un protocolo de comunicación. Este protocolo tiene como objetivo fundamental identificar los datos, otorgándole un tratamiento particular en cada caso. A partir de este principio se establecieron cuatro tipos de datos, tal como se muestra en la tabla 2.

Byte Enviado								Significado
bit7	bit6	bit5	bit4	bit3	bit2	bit1	bit0	
0	0	x	x	x	x	x	x	Dato de voz
0	1	x	x	x	x	x	x	Dato de un comando
1	0	x	x	x	x	x	x	Identificador comando
1	1	x	x	x	x	x	x	Confirmación de comando

Tabla 2) Protocolo para la identificación de la información enviada.

Cada byte que se recibe tiene una cabecera de 2 bits y el resto es destinado para la información o carga útil.

Al envío de la información relacionada con la codificación de la voz se le denominó “dato de voz”. El dato de voz está conformado por los dos bits de cabecera y tres muestras de 2 bits de voz codificada.

Para el control del módulo XBee y de los periféricos del microcontrolador se utilizaron tres tipos de datos: “identificador de comando”, “dato de comando” y “confirmación de comando”.

El tipo de dato “identificador de comando” tiene un tamaño máximo de 64 comandos (6 bits). Estos están divididos en dos subgrupos: uno de 48 comandos para el módulo XBee y el segundo de 16 comandos para el microcontrolador.

Los 48 comandos posibles correspondientes a XBee pueden ser enviados por el coordinador de la red para configurar, de forma remota, un módulo de transmisión inalámbrica de un dispositivo terminal.

Los 16 comandos posibles asociados al microcontrolador son enviados por el coordinador de la red para interactuar, de forma remota, con el microcontrolador de algún dispositivo terminal.

PROTOTIPO DISEÑADO

Se realizó el diseño de un prototipo compuesto por tres circuitos impresos; el acondicionador de la señal adquirida por el micrófono, el acondicionador de la señal de salida de voz para la bocina y la placa que contiene el módulo de transmisión inalámbrica, la interfaz de usuario y el microcontrolador.

El circuito impreso para la adquisición de voz se muestra en la figura 5. El circuito dispone de un conector de entrada para el micrófono y un conector para la comunicación con el microcontrolador. La sección posterior de la placa dispone de un filtro integrado de orden 5 (MAX 7404) y un amplificador operacional 3202.

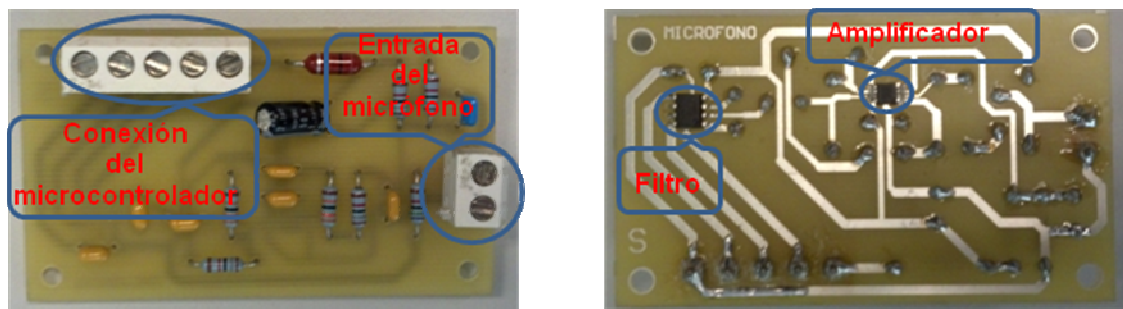


Figura 5. Ambas caras del circuito impreso para la adquisición de voz.

El circuito impreso para la reproducción de voz se muestra en la figura 6. Este presenta un conector de salida para la bocina y un conector para la comunicación con el microcontrolador. La sección posterior de la placa presenta un filtro integrado de orden 5 (MAX 7404) y un amplificador integrado 34119.

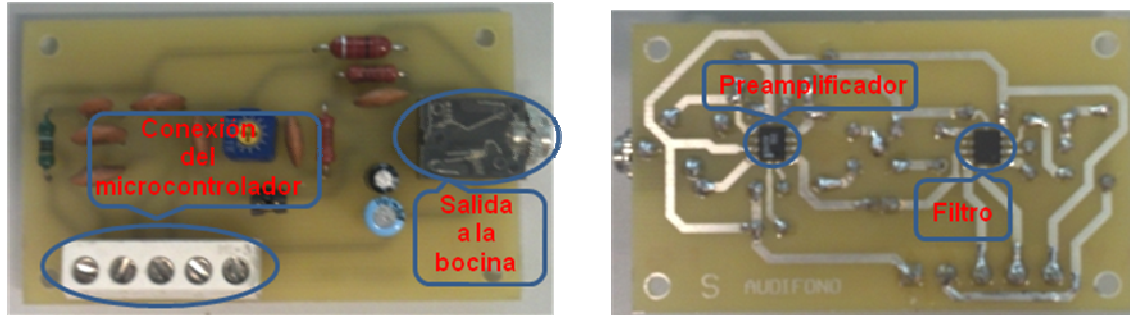


Figura 6. Ambas caras del circuito impreso para la reproducción de voz.

El circuito impreso que conforma la maqueta configurable se muestra en la figura 7. En este se encuentra el módulo de transmisión inalámbrica, la interfaz de usuario y el microcontrolador. Este presenta dos conectores para la comunicación con alguno de los dos circuitos acondicionadores, según convenga a la aplicación a desarrollar. En la parte inferior de la lámpara siete segmentos está ubicado el puente J1. Ese puente ha de cortocircuitarse en el caso de acoplar el circuito para la reproducción de voz al conector de salida, quedando configurada la maqueta como coordinador. Además, incorpora un conector situado debajo de los tres botones que permite la programación del microcontrolador.

Como se muestra en la figura 7, en el circuito impreso de la maqueta, la interfaz de usuario está compuesta por tres botones pulsadores, dos LEDs y una lámpara siete segmentos.

El módulo de transmisión inalámbrica con el que está funcionando el prototipo se colocó sobre una base. Esto brinda flexibilidad en cuanto a su sustitución, o la configuración de parámetros no contemplados en la configuración realizada por el microcontrolador.

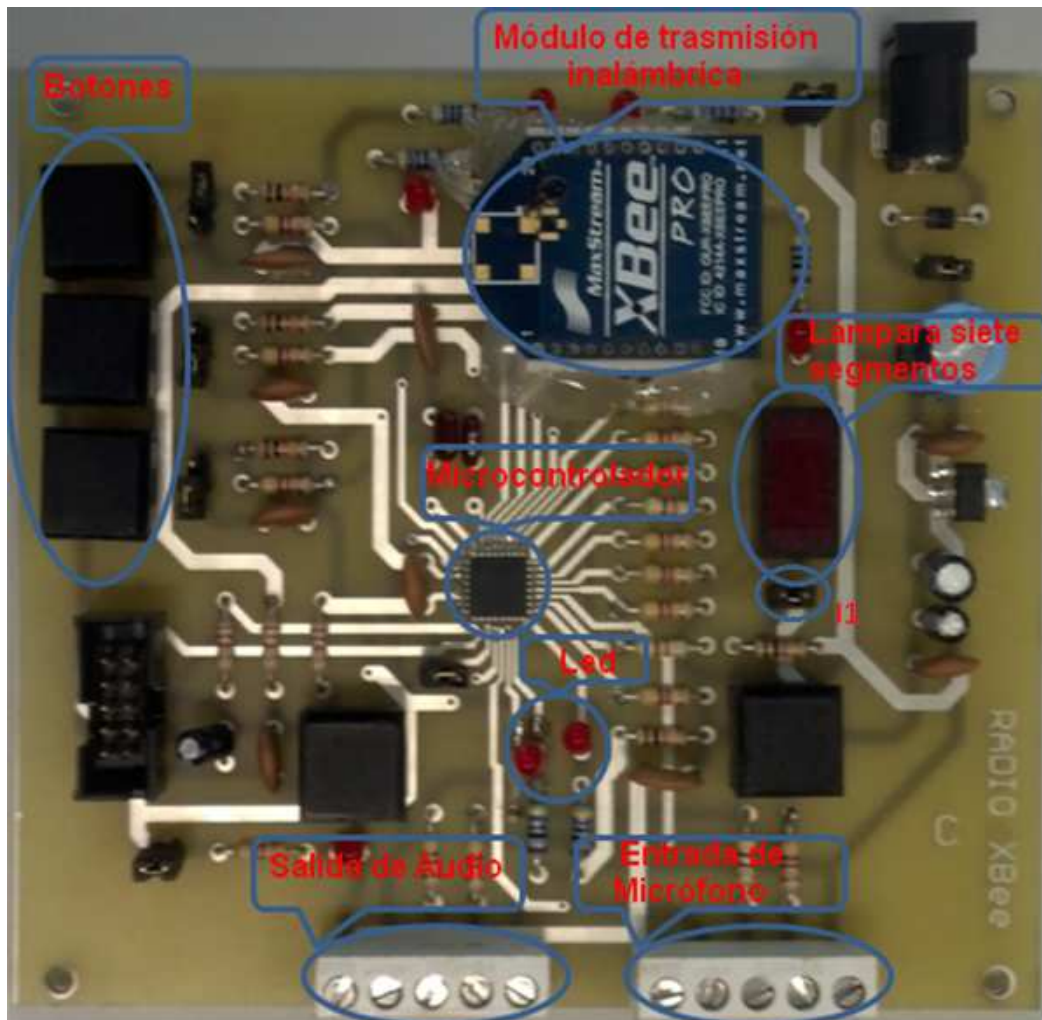


Figura 7. Maqueta configurable RADIO XBee.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE VOZ.

En el experimento para comprobar el funcionamiento del sistema de transmisión de voz se aplicó la siguiente secuencia: se envía la señal adquirida y codificada, vía inalámbrica, por un equipo hacia un segundo equipo para su decodificación y reproducción. Para realizar las mediciones se utilizó un osciloscopio digital de dos canales (marca RIGOL, modelo DS5102CA), un generador de señales (marca TEKTRONIX, modelo AFG 3022B), dos maquetas con sus módulos XBee cada una, un circuito de adquisición de voz y un circuito de reproducción de voz.

En la figura 8 se muestra el diseño instrumental de la prueba de funcionamiento del sistema.

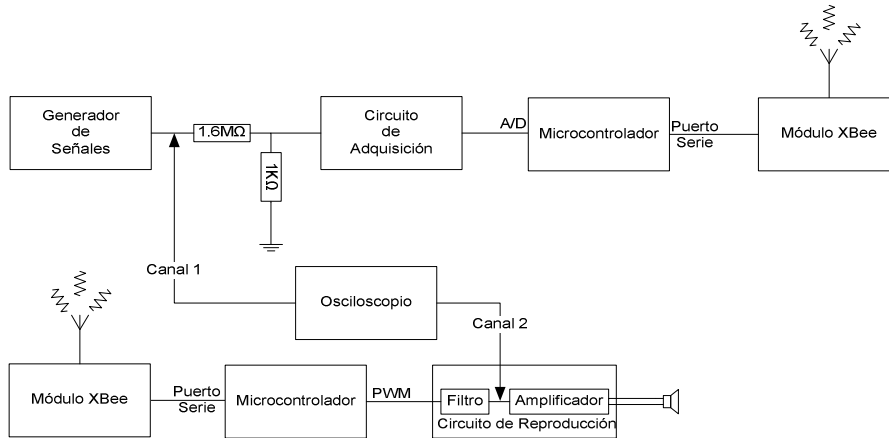
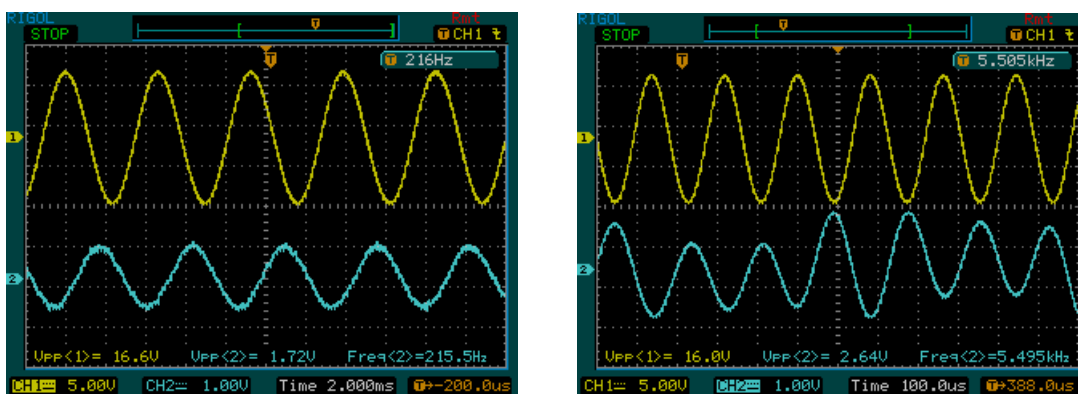


Figura 8. Diseño instrumental de la prueba de funcionamiento del sistema.

Como se observa en la figura 8 se emplearon dos maquetas para realizar esta prueba. La primera, mostrada en el extremo superior del diagrama de la Figura, es utilizada como transmisor, en la cual el generador de señales, combinado con el divisor de tensión, entrega una señal sinusoidal con amplitud fija al circuito de adquisición de voz. Esa señal atenuada se utiliza como patrón de referencia y emula la señal entregada por el micrófono. La salida del circuito de adquisición de la señal muestreada es digitalizada por el convertidor analógico-digital del microcontrolador C8051F320, perteneciente a la primera maqueta. Las muestras de 8 bits tomadas por el convertidor analógico-digital se codifican a 2 bits. Las muestras obtenidas de 2 bits se empaquetan en un dato de 8 bits conformado por tres muestras y una cabecera según el protocolo establecido. Los datos de 8 bits obtenidos se envían a través del puerto serie al módulo XBee. El módulo XBee envía los datos recibidos vía inalámbrica al módulo XBee perteneciente a la segunda maqueta.

La segunda maqueta, mostrada en el extremo inferior, se utiliza como receptor, en la cual el microcontrolador C8051F320 recibe a través del puerto serie las muestras de 2 bits del paquete enviado y las decodifica nuevamente a 8 bits. La muestra de 8 bits resultante de la decodificación es modulada por el modulador por ancho de pulso. El circuito de reproducción de voz, a partir de la señal del modulador por ancho de pulso, reconstruye la señal de referencia original.

En la Figura 9 se muestran las señales visualizadas por el Osciloscopio. La señal en amarillo muestra la señal entregada por el generador en el canal 1, mientras la señal de salida del filtro en el circuito de reproducción de voz de la segunda maqueta se muestra en azul por el canal 2 del Osciloscopio. Las frecuencias utilizadas son 216 Hz y 5.5 kHz.



(a)

(b)

Figura 9 Comportamiento del sistema ante una señal sinusoidal con frecuencia: a) 216 Hz y b) 5.5 KHz.

Como se muestra en la figura 9 a) la señal de salida tiene una frecuencia de 215 Hz y un $V_{pp} = 1.72$ V. A pesar que la señal es atenuada por el efecto provocado por los capacitores de desacople, no se observan deformaciones en cuanto a la amplitud de

la señal. La señal de salida es reconstruida sin presentar deformaciones en la amplitud hasta, aproximadamente, los 2.5 KHz de frecuencia.

Una vez que se alcanzan una frecuencia de 2.5 KHz, la señal de salida del prototipo del dispositivo maestro comienza a presentar pequeñas variaciones en la amplitud de la señal de salida pero mantiene la misma frecuencia que la señal de entrada, como se observa en la figura 9 b). Las variaciones de amplitud en la señal de salida se deben a dos factores fundamentales:

- Los errores introducidos por la compresión y descompresión de la señal muestreada.
- La falta de muestras en la reconstrucción de la señal al acercarse a la frecuencia de corte del sistema.

Cabe señalar que el teorema de muestreo garantiza la reconstrucción de la señal en el dominio de la frecuencia, pero no su amplitud. Existen dos formas de mejorar la señal obtenida: una, se muestrea a una mayor frecuencia para aumentar la cantidad de muestras disponibles y, la segunda, disminuir la razón de compresión del códec para disminuir los errores introducidos en la compresión. En ambos casos es necesario aumentar la cantidad de datos enviados, lo que no es posible debido a que el ancho de banda del canal de radio frecuencia no soporta un mayor flujo de información [12].

En la figura 10 se observa el comportamiento del sistema ante un estímulo con una señal sinusoidal a frecuencias de 6 KHz y 6.5 KHz.

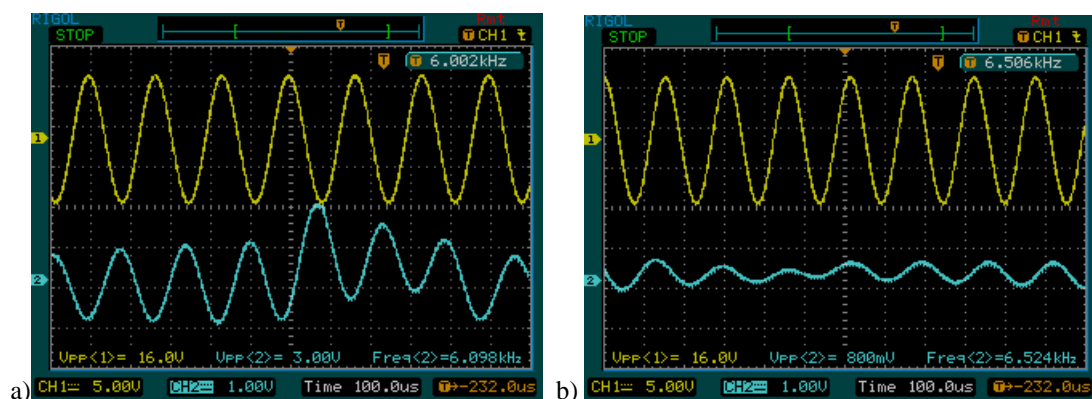


Figura 10) Comportamiento del sistema ante una señal sinusoidal con frecuencia: a) 6 KHz y b) 6.5 KHz.

En la figura 10 a) y b) se observa la respuesta del sistema con estímulo de señales sinusoidales a frecuencias de 6 KHz y 6.5 KHz respectivamente. Como se puede apreciar el sistema atenúa sin dificultad las señales superiores a los 6 KHz.

Analizando los resultados mostrados en las figuras 9 y 10 se puede afirmar:

- Es posible el envío de señales de voz codificada por vía inalámbrica con módulos XBee.
- Las señales con frecuencias superiores a los 6 KHz son atenuadas por el filtro pasa bajo.
- El sistema es capaz de muestrear, codificar, decodificar y reproducir señales de voz.

CONCLUSIONES

Se diseñó, y se implementó, un sistema de transmisión de voz con modulación digital. Como resultado de este trabajo se construyó y se puso a punto una maqueta del hardware complementada con el software para cada dispositivo de la red, de forma tal que permite enviar señales de voz por demanda del coordinador. El sistema diseñado es capaz de codificar y transmitir, de forma inalámbrica, señales de voz mediante la combinación de microcontroladores C8051F320 y módulos XBee.

En el prototipo diseñado, el microcontrolador es capaz de configurar su módulo XBee asociado. También el microcontrolador puede intercambiar datos por medio del módulo XBee con el resto de los dispositivos en la red, y en el caso del coordinador configurar al resto de los dispositivos.

Los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento demuestran que los circuitos diseñados responden satisfactoriamente a los objetivos de su diseño.

El prototipo desarrollado en este trabajo se utilizó satisfactoriamente en la configuración de una red con topología punto-multipunto. En la red diseñada se identifica un coordinador y varios dispositivos terminales que son capaces de intercambiar datos de voz, datos de comandos, identificadores de comandos y confirmación de la recepción de comandos.

El uso del estándar de Zigbee en este sistema supone un ahorro considerable de consumo energético respecto a otros estándares inalámbricos; como WiFi y Bluetooth, esto determinó su elección. Sin embargo se mostró la insuficiencia de ancho de banda para sostener un flujo continuo de voz, para lo cual fue necesario emplear un método de compresión. Se utilizó ADPCM de 8-2 bits, al ser un método de compresión con pérdidas, añade cierto nivel de ruido pero no afecta el reconocimiento de voz, que viene dado principalmente por la tasa de muestreo.

Se validó que es posible transmitir voz sobre el estándar de Zigbee, a pesar que esta tecnología no está pensada para esto, y su uso más frecuente es en las redes de sensores.

REFERENCIAS

1. I. D. L. P. González, G. L. Hernández, and L. E. Arámbula, "Estudio Comparativo entre Plataformas Bluetooth y ZigBee para Transmisión de Voz en Domótica," AN643, 2010.
2. P. Kinney, "Zigbee technology: Wireless control that simply works," in *Communications design conference*, vol 2, 2003.
3. IEEE, "802.15.4," ed, 2006.
4. J. M. H. Moya, "Tecnología VoIP y Telefonía IP," A. G. Editos, Ed., ed México, 2006.
5. I. Howitt and J. A. Gutierrez, "IEEE 802.15. 4 low rate-wireless personal area network coexistence issues," in *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. 2003 IEEE*, 2003, pp. 1481-1486.
6. O. Hyncica, P. Kacz, P. Fiedler, Z. Bradac, P. Kucera, and R. Vrba, "The Zigbee experience," in *Proceedings of the 2nd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing*, 2006.
7. S. R. Caprile, "EQUISBÍ Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4", 1 ed. Argentina, 2009.
8. R. Faludi, *Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing*: O'Reilly Media, Inc., ISBN 1449302742, 2010.
9. A. Oyarce, "Guía del Usuario XBee series 1," 2010.

10. MaxStream, "Product Manual v1.xAx - 802.15.4 Protocol," ed, 2007.
11. J. Camargo, L. García, and E. Gaona, "Reconocimiento de voz humana aplicado a la domótica," *INGENIUM*, vol. 13, pp. 97-106, 2013.
12. N. Benvenuto and G. Bertocci, "ADPCM coder-decoder including partial band energy transition detection," ed: Google Patents, 1987.
13. D. D. León, "Transmisión de audio usando redes Zigbee," *Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, vol. 31, pp. 39-44, 2010.
14. R. Richey, "Adaptive Differential Pulse Code Modulation Using PIC® Microcontrollers," Microchip, Ed, 2007.

AUTORES

Alexis Castellanos Rodríguez, Ing. Telecomunicaciones y Electrónica, CIME, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, alexis@electronica.cujae.edu.cu.

Franklin Padrón Quindemil, Ing. Telecomunicaciones y Electrónica, CITI, La Habana, Cuba, fpadron@citi.cu.

Frank Martínez Suárez, Ing. Automática, Frioclima, La Habana, Cuba, frankms209@gmail.com.

Ángel Damián Bárzaga Varela, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, CIME, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, abarzaga@electronica.cujae.edu.cu.

Luis Alejandro Madruga Milanés, Ing. Telecomunicaciones y Electrónica, CIME, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, lmadruga@electronica.cujae.edu.cu.