

## **Análisis y diseño de un prototipo de sistema domótico de bajo costo**

### **Analysis and design of a low cost home automation prototype system**

*Melisa Barrera Durango<sup>1\*</sup>, Nelson Londoño Ospina<sup>1</sup>, Jorge Carvajal<sup>1</sup>, Alejandro Fonseca<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup>Grupo de Manejo Eficiente de la Energía GIMEL. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Calle 67 N° 53-108. Medellín, Colombia.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Electrónica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Calle 67 N° 53-108. Medellín, Colombia.

(Recibido el 10 de enero de 2011. Aceptado el 29 de mayo de 2012)

#### **Resumen**

El artículo presenta la evaluación y selección de alternativas encaminadas a diseñar un sistema domótico de bajo costo para aplicaciones didácticas, en el marco de un proyecto de la Universidad de Antioquia. Apoyado en un estado del arte, se presentan los criterios de selección y los diferentes elementos que conforman el sistema diseñado. Inicialmente se muestran algunas características del protocolo de comunicación seleccionado, ZigBee; posteriormente, se explica el diseño de las tarjetas electrónicas necesarias y la interfaz de control. Se registra, por último, los resultados obtenidos en el desarrollo de pruebas para la comprobación del correcto funcionamiento del sistema.

----- *Palabras clave:* Domótica, sistema domótico, inteligencia ambiental, protocolo, ZigBee, sensores, actuadores, confort, iluminación, gestión energética, sistema embebido, interfaz, URE

#### **Abstract**

This paper shows the evaluation and alternatives selection aimed to design a low cost domotic prototype system for didactic applications, under the framework of an investigation project carried out at Universidad de Antioquia. Supported in the state of the art we show the selection criteria and the different elements of the designed system. At the beginning some characteristic of the selected communication protocol are showed; then the boards and interface

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 +4 + 219 85 58, fax: + 57 +4 + 263 82 82, correo electrónico: mbarrera@udea.edu.co (M. Barrera)

design are explained. Finally, the obtained results are pointed in order to demonstrate the correct operation of the prototype.

----- **Keywords:** Home automation, home automation system, ambient intelligence, protocol, ZigBee, sensors, actuators, comfort, lighting, embedded system.

## Introducción

Las tendencias actuales en el tema del confort, seguridad, telecomunicaciones y ahorro energético aplicadas a las viviendas, edificios, oficinas y centros comerciales, han propiciado el desarrollo de nuevas áreas del conocimiento y concepción de sistemas como son la Domótica, Inmótica [1] y las ciudades inteligentes y, más recientemente, la inteligencia ambiental. Estos conceptos han sido asociados tradicionalmente a un conjunto de dispositivos costosos que hacen, a un hogar “inteligente”, pero siguen siendo vistos como un lujo innecesario [1].

Aunque el concepto de la domótica está cobrando importancia en la región, la visión que se tiene, sumado al desconocimiento respecto a sus aplicaciones y bondades, más la poca inversión de fondos para investigación y generación de tecnología propia, que permita dar proyección a un área como esta, han provocado una lenta penetración de la Domótica en el país.

Analizando todas estas razones se ha vislumbrado la necesidad de diseñar sistemas propios que puedan aportar a la solución de esta problemática, aprovechando la tecnología que se consigue localmente y de algunos estándares que ya existen.

Por lo anterior, se propuso un proyecto de investigación para evaluar, diseñar e implementar un sistema domótico que permitiera ser estudiado y aplicado a nuestro entorno, mediante la utilización de arquitecturas abiertas y tecnologías de fácil consecución en nuestro medio.

La propuesta tuvo como premisa inicial, estudiar las ofertas comerciales, evaluar las dificultades y limitaciones de cada una, identificar los protocolos más utilizados y versátiles y proponer

una arquitectura, un protocolo y un ambiente de programación acorde con las necesidades de nuestro medio, facilitando, en consecuencia, abrir un tema de investigación y desarrollo en áreas como: sensores, comunicaciones y aprovechamiento de la energía eléctrica. Sumado a ello, se pretende evaluar la posibilidad de proponer un sistema domótico de bajo costo y buena confiabilidad.

Por último, como consecuencia de los resultados obtenidos, se utilizó la plataforma implementada, para validar y apoyar un proyecto de grado en el cual se desarrolló y probó un sistema de reconocimiento de voz.

## Estado del arte

El concepto que se tiene sobre la automatización residencial puede ser ambiguo, pues muchos asocian el significado de domótica a “un conjunto de dispositivos costosos que hacen a un hogar *inteligente* pero que no son necesarios” [1]. En la literatura encontramos muchas definiciones sobre la domótica. En [3] se define como la introducción de la tecnología al hogar, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus ocupantes, mediante la oferta de diferentes servicios, tales como tele-salud, entretenimiento multimedia y conservación de la energía.

Actualmente existe una gran variedad de redes domóticas, que ofrecen y administran un conjunto de aplicaciones y servicios, redes que no necesariamente son compatibles entre sí, respecto a medios de comunicación y protocolos [4]. Por ejemplo, el estándar industrial X10, desarrollado en 1975 con el fin de posibilitar la comunicación entre dispositivos electrónicos, es el más antiguo en la domótica y se caracteriza por permitir un control limitado de los electrodomésticos y las

luces de la casa a través de la red de energía eléctrica [5]. Otras soluciones fueron y siguen siendo desarrolladas, pero no hay consenso para adoptar un estándar de arquitectura de red, así: algunas redes fueron diseñadas para aumentar las funcionalidades en el hogar, tal como KNX, o para reducir el consumo eléctrico como ZigBee y Z-Wave; algunas son abiertas, lo que le permite a los fabricantes desarrollar su propio hardware; mientras que otras son cerradas, lo que supone para éstos el uso mandatorio de un componente especial para poder utilizar la arquitectura de red [4].

Recientemente la investigación académica en el área de la domótica ha ganado mucha importancia [5]. En [6] se describe un sistema domótico basado en Java, en el cual, una tarjeta embebida es conectada a todos los dispositivos del hogar; el sistema permite el acceso remoto mediante un computador personal, funcionando como un servidor web. El uso de la tecnología Java incorpora características de seguridad de red; sin embargo el sistema requiere una instalación cableada molesta y costosa, y además requiere el uso de un computador con buenas prestaciones.

En [7] se describe un sistema domótico basado en Bluetooth, conformado por un controlador principal y varios subcontroladores. Cada dispositivo del hogar está físicamente conectado a su subcontrolador Bluetooth respectivo por medio de cables. Los subcontrolador envían la información al dispositivo principal mediante comunicación no guiada (inalámbrica). El diseño ideal de este sistema implicaría que cada dispositivo tuviera un controlador Bluetooth dedicado; sin embargo, esto no es posible debido al costo de la tecnología, por lo que se opta por compartir un módulo entre varios dispositivos. La arquitectura seleccionada reduce la cantidad de cable requerida y por la tanto permite que la red sea menos visible, usando la transmisión no guiada. Sin embargo, aun se tiene algunos cables y el hecho de compartir un solo módulo Bluetooth entre varios dispositivos tiene la desventaja de incurrir en un retardo de acceso.

En [8] se introduce un controlador para la automatización del hogar y la oficina, el cual difiere de los mencionados anteriormente en que toda la comunicación ocurre a través de la red telefónica. Se puede tener acceso al sistema mediante cualquier teléfono que soporte el sistema de marcación por tonos, pero tiene el inconveniente para el usuario de no poseer una interfaz gráfica, por lo cual debe recordar el código de acceso y los botones asociados a cada dispositivo para controlarlos.

En [9] se muestra el desarrollo de una red de control que utiliza el lenguaje de manos. El controlador utiliza un guante para transmitir los gestos de la mano al sistema. El problema de éste sistema radica en la inexactitud de los gestos de la mano, sumado a la posibilidad de que algunos movimientos normales de los brazos sean mal interpretados como comandos. Además, existe el riesgo de fatiga del usuario si se requieren gestos repetitivos de las manos.

De la revisión anterior hecha por los autores en [5], se puede concluir que: Las publicaciones en el área de la domótica se concentran en el ámbito académico, contrastando con la poca publicación e información técnica de parte de las empresas. Además, la interoperabilidad entre redes es prácticamente nula, por lo que se puede afirmar que la domótica hoy en día es un conjunto de redes diferentes, con diversos protocolos que no pueden comunicarse entre sí [4].

Con bases en ello, algunos proyectos se han centrado en la introducción de sistemas de alto nivel, cuya finalidad es la de resolver el problema de la incompatibilidad. Así, es posible el acceso a un dispositivo que usa un protocolo, a través de otros protocolos [5]. Un ejemplo de esto es [10] donde los autores ilustran el desarrollarlo de un software que permite la interoperabilidad de dispositivos ZigBee con redes UPnP (Universal Plug and Play), de arquitectura abierta y distribuida que permite la conectividad de redes omnipresentes punto a punto, independiente del fabricante, del sistema operativo y del lenguaje de programación, posibilitando la comunicación

entre los dispositivos acoplados a la red, mediante su detección automática. La propuesta de [10] emplea dispositivos UnPN virtuales, los cuales operan como UPnP genéricos que abstraen a los dispositivos físicos ZigBee como interfaces de servicio. Estos sistemas de alto nivel tienen un buen desempeño, pero no son suficientes para alcanzar los objetivos de la domótica. Desde la perspectiva de usuario, el sistema domótico debe reaccionar a su ambiente; estas reacciones se construyen a partir del comportamiento de cada dispositivo y las reglas expresadas por el usuario, y constituyen el comportamiento de la red domótica [4].

Es así como en la actualidad estamos ante el concepto de inteligencia ambiental, definida en [11] como una visión donde la gente vive rodeada de microcomponentes inteligentes, embebidos y discretos, capaces de detectar y reconocer perfiles y comportamientos, así como de auto adaptarse a ciertas condiciones. Bajo este enfoque los dispositivos deben comunicarse e interactuar de manera autónoma e incluso deben estar en capacidad de tomar decisiones con base en factores que incluyen la presencia de usuarios y sus preferencias. Estos dispositivos deben estar coordinados por sistemas inteligentes que actúen como supervisores.

Los sistemas y estándares tecnológicos actuales están alejados de esta visión y no garantizan tal autonomía y flexibilidad deseada. Aun requieren una interacción explícita con el usuario y están

ligados a escenarios de operación estáticos, definidos durante la implementación. La solución a esta limitación se ha planteado con el uso de la computación móvil y ubicua, la teoría de la inteligencia artificial y el diseño de software basado en agentes, entre otras aproximaciones [11].

Un ejemplo de este enfoque se presenta en [4] donde los autores propone modelos y metodologías para crear automáticamente comportamiento de redes domóticas usando modelos IOSTS, basados en Input/Output Automatas [12, 13], sistemas que se especifican como una composición de autómatas que interactúan entre sí, cada uno puede tomar decisiones acerca de los mensajes que envía a su entorno y reacciona cada vez que recibe del entorno un mensaje para el cual está programado. Los autores utilizan modelos IOSTS para caracterizar el comportamiento de los dispositivos que se comunican y el comportamiento de la red domótica global [4].

### Protocolos de comunicación

El proyecto se inició con el análisis y evaluación de los diferentes protocolos y estándares existentes. Este fue uno de los puntos de mayor importancia, debido a que el protocolo constituye el idioma o formato de los mensajes que los elementos del sistema utilizan para intercambiar la información de una manera inteligible. En [14] se hace una descripción detallada de estos protocolos, los cuales se resumen a continuación:

**Tabla 1** Comparación de protocolos

	<b>X10</b>	<b>KNX</b>	<b>CEBus</b>	<b>LonWorks</b>
Medios de transmisión.	Red eléctrica.	Red eléctrica, radio frecuencia y par trenzado.	Red eléctrica, par trenzado, cable coaxial, infrarrojo, radiofrecuencia y fibra óptica.	Par trenzado, fibra óptica, red eléctrica, radiofrecuencia y el cable coaxial.
Licencia requerida para su uso.	Propietario. La compañía no otorga licencias.	Gratuito para miembros de la asociación KNX.	No requiere licencia, pero si certificación para usar el logo CEBus.	Se requiere licencia y certificación para usar el logo LonWorks.

	<b>X10</b>	<b>KNX</b>	<b>CEBus</b>	<b>LonWorks</b>
Aplicaciones.	Principalmente iluminación.	Iluminación, ventilación, sistemas de energía, entre muchos otros.	Control remoto de electrodomésticos.	Industrias, edificios, viviendas y automóviles.
Arquitectura de red.	Distribuida.	Distribuida.	Distribuida.	Distribuida.
Velocidad de transmisión.	60 bps.	En par trenzado 9.6 Kbps.	Hasta 10 kbps.	32Kbps-1.25Mbps.
Número de dispositivos.	256.	58.000 como máximo.	Tienen una dirección física única, 4.000.000 posibles.	32.000 como máximo.
	<b>UPB</b>	<b>Z-Wave</b>	<b>ZigBee</b>	
Medios de transmisión.	Red eléctrica	Radiofrecuencia.	Radiofrecuencia.	
Licencia requerida para su uso.	Si.	Si. Los fabricantes deben asociarse a la Alianza Z-Wave.	No. Es un estándar abierto.	
Aplicaciones.	Iluminación.	Iluminación, control de acceso, entre otros.	Control industrial, control de acceso, control de calefacción y aire acondicionado, entre otras.	
Arquitectura de red.	Distribuido.	Centralizado o distribuido.	Centralizado o distribuido.	
Velocidad de transmisión.	240 bps.	9.6 Kbps.	20 kB/s y 250 kB/s.	
Número de dispositivos.	250.	232 y más si se requiere.	2550.	

### Evaluación de alternativas y diseño

A continuación se detallan las alternativas evaluadas en cada etapa del proyecto.

**Protocolo.** Se planteó como requisito, al inicio del desarrollo del proyecto, que el protocolo a utilizar fuera un estándar abierto, por tanto, luego de una exploración, se decidió utilizar el protocolo ZigBee, que resulta idóneo para las aplicaciones domóticas seleccionadas debido principalmente a dos razones: primero, es inalámbrico, lo cual permite instalar un sistema domótico sin necesidad de un cableado específico en el hogar que implique

grandes modificaciones y gastos, y segundo, tanto los actuadores como los sensores no requieren gran ancho de banda, pero si un mínimo de consumo de energía y retardo bajo, requerimientos que cumple a cabalidad ZigBee [16].

**Módulos ZigBee.** Durante la etapa de selección de los módulos a usar se analizaron varios ejemplares, tomando en cuenta las siguientes características:

*Cobertura:* Los fabricantes ofrecen *tranceptores* cuya cobertura puede ir desde unos cuantos metros hasta cientos; los mayores alcances requieren

antenas externas y línea de vista. Es necesario señalar que para las aplicaciones en interiores con obstáculos, las distancias se reducen en un 20% [18]. Tomando en cuenta que en los hogares promedio, a los que se orienta el sistema domótico, las aplicaciones involucran alcances menores de 100 metros, se prefieren módulos con antenas fractales o de microcinta, que brindan la cobertura requerida y además permiten el desarrollo de dispositivos de menor tamaño.

*Interoperabilidad:* La mayoría de los *transceptores* permiten la interoperabilidad con módulos de otros fabricantes, lo cual representa una gran ventaja tecnológica debido a que no es necesario limitarse sólo a un fabricante. De igual forma los *transceptores* son fácilmente integrables con microcontroladores o microprocesadores por medio de los buses SPI (serial peripheral interface) e I<sup>2</sup>C (*Inter-Integrated Circuit*), lo que facilita la realización de redes cuya “inteligencia” esté distribuida o centralizada, brindándole a la red modularidad.

*Costo:* Otro aspecto muy relevante es el costo de los módulos, debido a que se busca diseñar un sistema domótico económico, tomando como referencia los niveles de ingreso de la mayoría de los habitantes del país. Por esta razón el precio de los módulos debe ser el más favorable posible, de tal forma que impacte el costo total del sistema de manera positiva. En este aspecto, es importante señalar que ZigBee presenta fortalezas frente a otras tecnologías inalámbricas de comunicación como Wi-Fi o Bluetooth para aplicaciones en el área de la domótica, debido a que se considera la solución inalámbrica para la domótica de más bajo costo y bajo consumo de energía [19].

Luego de analizar las posibles opciones que ofrece el mercado, teniendo en cuenta los numerosos fabricantes y la gran cantidad de transceptores ZigBee, se seleccionó el chip transceptor XBEE de la empresa DIGI internacional Inc. [20] pues se ajusta a las necesidades y características previstas en el proyecto.

**Topología de red.** Existen tres tipos de dispositivos ZigBee clasificados según su operación en una red:

*ZigBee Coordinator (ZC)*, encargado de establecer y controlar la red y de definir los canales de comunicación para que los dispositivos puedan conectarse entre ellos [16].

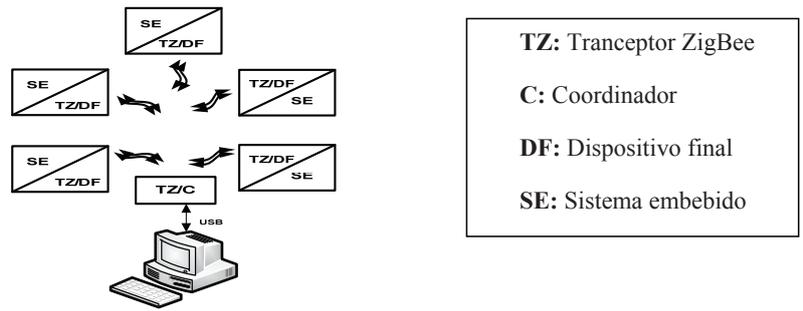
*ZigBee Router (ZR)*, cuya función es la de interconectar dispositivos que se encuentran muy separados entre sí en la topología de la red. En redes muy simples y con poca cobertura se pueden prescindir de ellos [16].

*ZigBee End Device (ZED)*, es el nodo final de la red, el cual tiene requerimientos mínimos de memoria y poca capacidad de procesamiento, por tanto es el dispositivo significativamente más barato de la red [16].

En el desarrollo del prototipo de sistema domótico se tomó como base una vivienda de clase media, compuesta por tres alcobas, y se estableció una red con una topología en estrella. El nodo central está conformado por un transceptor XBEE que opera como coordinador, el cual se conecta al puerto USB del computador del usuario, y una interfaz de usuario que permite la activación remota de las cargas y el monitoreo de los sensores. Los nodos terminales se componen de un transceptor XBEE [20] que opera como dispositivo final. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloque de la red.

**Aplicaciones domóticas.** Las aplicaciones que se tuvieron en cuenta son detección de personas, detección de apertura de puertas y/o ventanas, manejo de cargas ON/OFF y dimerización, activación de alarma de pánico y visualización y configuración del sistema mediante una interfaz de usuario amigable.

**Sensores.** La oferta de sensores en el mercado es muy amplia; localmente se ofrecen productos que suplen todo tipo de necesidades, que incluyen desde sensores infrarrojos alimentados en forma cableada, hasta redes de sensores inalámbricos. Para el diseño del sistema se utilizaron sensores de presencia de infrarrojo pasiva PIR, y magnéticos, cuyo uso está muy extendido debido a su simpleza y a la seguridad que ofrece.

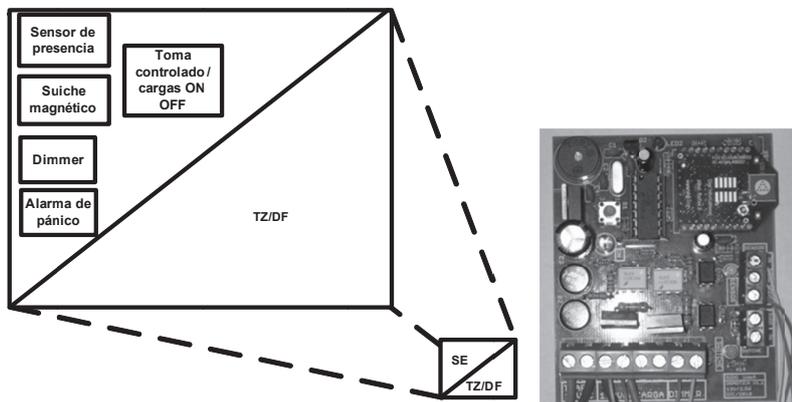


**Figura 1** Diagrama de bloques del sistema

**Actuadores.** La activación de las cargas ON/OFF y toma corrientes controlados se pueden realizar con salidas electromecánicas, tales como los relés, o por medio de sistemas de semiconductores de potencia como los *triacs*. Éstos últimos son dispositivos que permiten la implementación una interfaz de potencia simple y poco ruidosa a diferencia de los relés; además facilitan la dimerización, por lo cual fueron los elementos seleccionados para emplear en el sistema. La interfaz de potencia está pensada para cargas comunes en una vivienda: resistivas e inductivas. Las resistivas comprenden los secadores de pelo, estufas, lámpara incandescentes o halógenas, mientras que las inductivas involucran motores [22].

el acondicionamiento de los sensores magnéticos y de presencia, así como los dispositivos para el manejo de las cargas ON/OFF y la dimerización, conformados por *triacs*. Por ello, se decidió diseñar una tarjeta electrónica genérica, que incluyera todos los circuitos necesarios para los diferentes sensores y actuadores, pudiendo así adaptarla a las necesidades del sistema, sin incurrir en gastos excesivos. De esta forma, en una misma tarjeta se tiene el *tranceptor* Xbee, interfaz de potencia para el manejo de cargas ON/OFF, entradas para los sensores, transformador, y el circuito de detección de cruce por cero. Esta tarjeta se acondicionará de acuerdo a las necesidades de cada elemento sensor o actuador. A continuación se muestra el diagrama de bloques la tarjeta diseñada en la figura 2.

**Tarjetas.** Las aplicaciones domóticas requieren el diseño de circuitos electrónicos que permitan



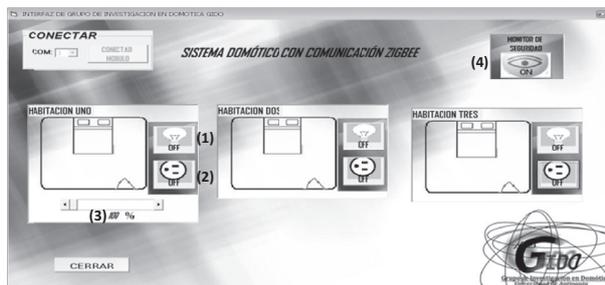
**Figura 2** Diagrama del sistema embebido y tarjeta

**Sistema embebido.** En el mercado existe una amplia gama de microcontroladores fabricados

por compañías que le han apostado a la comunicación ZigBee. Para los propósitos del proyecto,

buscando tanto flexibilidad como economía en el desarrollo, se eligió el microcontrolador Microchip 16F688, de bajo consumo eléctrico y se adapta a las necesidades del sistema embebido; la comunicación con el trancceptor se realiza serialmente. Este microcontrolador tiene la ventaja de contar con pines de comparación que facilitan la aplicación del hardware del detector de cruce por cero, evitando la necesidad de circuitos integrados adicionales.

**Interfaz de usuario.** En un sistema domótico es fundamental que el usuario cuente con una interfaz amigable para su configuración y uso, de tal forma que la interacción con dicho sistema sea agradable e intuitiva, buscando que los usuarios adopten la tecnología cómodamente. Tomando esto en cuenta se desarrolló la interfaz mostrada en la figura 3, que permite controlar el sistema mediante un computador; esta interfaz se caracteriza por su sencillez y en ella se representa una vivienda común, en particular con tres habitaciones, en cada una de las cuales se tiene como entradas al sistema un sensor de presencia o uno magnético, y como salidas, un bombillo y un toma controlado. La interfaz está conformada por un botón de activación de lámpara, botón de toma corriente, barra de dimerizado y el botón de monitor de seguridad, (1), (2), (3) y (4) en la figura 3 respectivamente. Los botones de activación de lámpara y toma corriente permiten encender y controlar la presencia de voltaje respectivamente haciendo clic encima de la imagen.



**Figura 3** Interfaz del sistema domótico

La barra dimerizado de posibilita el control de la intensidad con la que brilla el bombillo y final-

mente, el botón de monitor de seguridad permite activar la seguridad domiciliaria con solo un clic. Esta aplicación permite la activación de una alarma sonora si se detectan personas o se abre alguna puerta, momento en el cual aparecerá en la pantalla del computador una imagen para enfatizar la intrusión, como se aprecia en la figura 4.



**Figura 4** Alarma activa

La interfaz establece una comunicación serial con el *trancceptor* coordinador, el cual se comunica con los sensores o actuadores que cuentan con una dirección única por lo cual están plenamente identificados en la red. Al hacer *click* sobre un icono o darse la activación de un sensor de presencia se genera una trama constituida por cinco bytes de información distribuidos de acuerdo a la figura 5.

Cabecera	Código de módulo	Código de comando	Acción a realizar	Terminación
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte

**Figura 5** Trama generada

La cabecera y la terminación se usan para corrección de errores. El código de módulo, permite identificar el nodo y el código de comando permite establecer la instrucción a realizar, como el encendido de una luminaria, el dimerizado o la activación de una alarma sonora. El código de acción establece la instrucción a realizar, representadas mediante números hexadecimales: encender 0x01, apagar 0x00 y dimerizar entre en el rango 0x00 a 0xFF.

Estos bytes son enviados desde el computador al transceptor XBEE; luego éste realiza con

la información un *broadcast* con el cual todos los nodos terminales reciben la trama de información y comparan el “código de modulo” con su identificador, almacenado en la memoria EEPROM del microcontrolador, para decidir si atiende el mando o no.

Todos los eventos que monitorean los módulos terminarles son enviados al coordinador; dichos eventos se representan con una codificación de 5 bytes similar a la que le envía el coordinador pero con la información de los eventos ocurridos y la identificación de cada módulo.

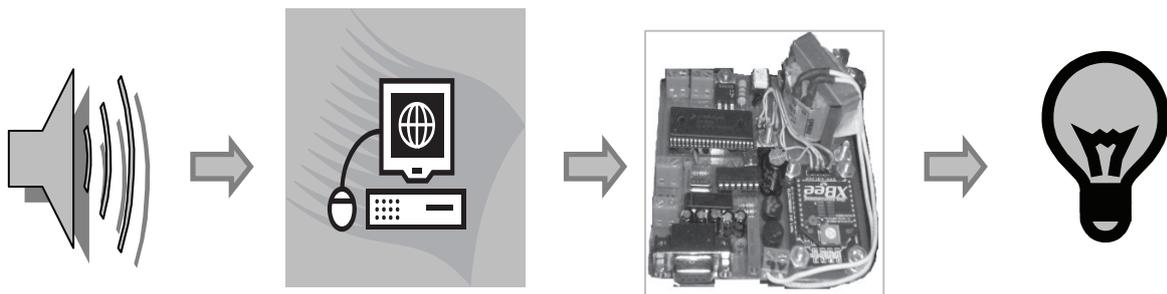
### **Dimerización por reconocimiento de voz**

La arquitectura abierta, y versatilidad del sistema diseñado, propició el desarrollo de una tesis de grado Ingeniería Electrónica de la Universidad de Antioquia [24], cuyo objetivo fue diseñar un sistema capaz de reconocer comandos de voz provenientes de personas de cualquier sexo o edad y una vez identificado el comando deseado, se debe llevar a una lámpara donde se refleje claramente la acción pedida por el usuario. Para esto se escogieron cuatro comandos básicos que el usuario podrá dictar y el sistema debe estar en capacidad de reconocer. Dichos comandos son: Encender, Apagar, Subir, Bajar. Los dos primeros implican que la lámpara se encienda a la máxima intensidad posible o se apague, respectivamente y los dos últimos permiten cambiar entre cuatro posibles intensidades de luz equivalentes al 20%, 40%, 60% y 80% respecto a la intensidad máxima.

El control por reconocimiento de la voz hace que el sistema sea más accesible para personas que, por enfermedad, accidente o envejecimiento tengan limitaciones funcionales o discapacidad y requieran ayuda para realizar las actividades diarias. El sistema domótico puede favorecer la autonomía personal facilitando en este caso el control de una lámpara, control que puede ser extendido a otro tipo de cargas ON-OFF.

El sistema desarrollado consta de dos etapas: La primera se encarga de recibir una señal de audio que contenga la acción que el usuario desea efectuar; dicha señal se obtiene mediante un micrófono conectado a un computador, en el cual se hace el tratamiento de la señal de audio, necesario para extraer de la grabación las componentes más importantes que permitan diferenciar entre los distintos comandos permitidos. Una vez extraídas, dichas características serán usadas como las entradas de una red neuronal encargada de decidir cuál es el comando pronunciado por el usuario. Esta etapa se realiza por completo en el computador con la ayuda del programa MatLab.

La segunda etapa tiene como objetivo transformar la salida de la red neuronal en una acción concreta en el bombillo. Para esto se requiere establecer comunicación entre el computador, que identifica el comando dictado, y un hardware externo que se encargue de manipular la energía entregada a la lámpara. El esquema completo se muestra en la figura 6.

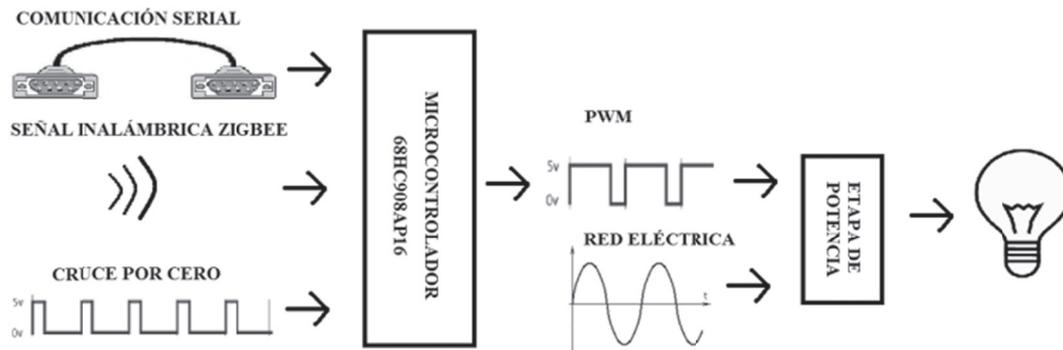


**Figura 6** Ilustración del funcionamiento del sistema tomada de [24]

Para el tratamiento de la señal de audio se utiliza la tarjeta de sonido de un computador, la cual permite capturar las señales de audio.

La comunicación entre el computador y el hardware externo requerido para el control de

la lámpara se realiza con base en el protocolo ZigBee, implementado mediante los módulos ya explicados, manteniendo la misma configuración en estrella. En la figura 7 mostrada a continuación se enseña el hardware requerido.



**Figura 7** Diagrama de bloques del hardware externo [25]

### Conclusiones

Es posible, con base en los resultados obtenidos, desarrollar sistemas domóticos con tecnología propia, minimizando costos y optimizando recursos.

Luego de realizar la comparación entre diversos protocolos de comunicación, se determinó que ZigBee es un protocolo apropiado para la implementación de un sistema domótico con las aplicaciones especificadas en este proyecto (cargas ON/OFF, dimerización, activación de una alarma, detección de apertura de puertas o ventanas y detección de presencia de personas), debido a que éstas requieren la transmisión de unos cuantos bytes esporádicamente. De igual forma, su flexibilidad, bajo costo, fácil implementación, interoperabilidad entre fabricantes y bajo consumo de potencia lo convierten en un protocolo eficaz para este tipo de aplicaciones.

Por factores económicos, se decidió diseñar una sola tarjeta donde se pudieran ajustar tanto los elementos de entrada (sensores de presencia y apertura de puertas/ventanas) así como las salidas (cargas ON/OFF, tomas controlados y dimer). De esta manera se llegó a un tamaño adecuado para la implementación en el laboratorio de

Automatización y Control de la Universidad de Antioquia.

El prototipo de sistema diseñado se empleará en el Laboratorio de “Automatización y Control” de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, ubicado en el primer piso del bloque 20, destinado al desarrollo de prácticas con el fin de socializar el conocimiento y las experiencias adquiridas con la comunidad interesada, con fines académicos, en el área de domótica.

### Trabajo futuro

El número de servicios y la variedad de clientes hace que las soluciones comerciales sean un reto para los fabricantes de sistemas domóticos. Estas soluciones ofrecidas deben tomar en cuenta las necesidades de sus posibles usuarios. Tomando en cuenta esto, nuestro sistema puede ser mejorado en varios aspectos a mencionar:

La interfaz de usuario puede ser mejorada de manera que sea más atractiva para el usuario.

Las tarjetas pueden desarrollarse más pequeñas, de tal forma que el sistema pueda ser implementado en una vivienda real sin modificar el entorno del hogar.

Actualmente el acceso y configuración del sistema puede hacerse solo a través del computador que tenga la aplicación instalada; sin embargo resulta muy atractiva la posibilidad de controlar el sistema a través de un computador externo conectado a Internet. Esta funcionalidad requiere la implementación de claves de acceso con el fin de brindar seguridad a los usuarios y se explorará en una segunda etapa del proyecto.

Se contempla el envío de mensajes de alarma a celular. Esta aplicación también resulta muy interesante cuando de seguridad de bienes y personas se trata; utilizando un modem GSM se podría realizar la comunicación entre el sistema domótico y el celular de un usuario, de tal forma que al presentarse la alarma en la casa inmediatamente le llegaría al usuario un mensaje de texto indicando la intromisión, permitiéndole tomar acciones de una manera eficaz en caso de no encontrarse en casa. Esta aplicación ya se está estudiando.

En el mercado se tienen disponibles una gran variedad de sensores, capaces de detectar humo, gas, fugas de agua, entre otros, que brindaría seguridad al usuario en otros aspectos diferentes al ingreso de intrusos, que como se aprecia, también se revisten de mucha importancia para el bienestar e integridad tanto del usuario como de sus bienes en su hogar.

El uso racional de la energía es una iniciativa de conducta de los ciudadanos en el manejo de la energía. Requiere compromiso personal para con su entorno y sociedad, encaminado a suprimir el despilfarro de la energía sin afectar el grado de confort de los usuarios [25]. Se contempla la posibilidad de utilizar el sistema domótico en estratos bajos, con el fin de impulsar la iniciativa denominada URE social, para lo cual es fundamental poder ofrecer al mercado un sistema domótico confiable y a la vez a un costo asequible.

## Referencias

1. M. Zamora, J. Santa, A. Gómez. "An Integral and networked home automation solution for indoor ambient intelligence." *Pervasive Computing IEEE*. Vol. 9. 2010. pp. 66-77.
2. J. Huidobro, R. Millán. *Domótica: edificios inteligentes*. Ed. Creaciones Copyright, S.L. Madrid. 2004. pp. 2-6.
3. K. Bromley, M. Perry, G. Webb. "Trends in Smart Home Systems, Connectivity and Services". On line: www.nextwave.org.uk. 2003.
4. P. Moreaux, F. Sartor, F. Vernier. "An Effective Approach for Home Services Management". 20<sup>th</sup> Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing. 2012. pp. 44-51.
5. G. Khusvinder, Y. Shuang-Hua, Y. Fang, L. Xin. "A ZigBee based home automation System". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. Vol. 55. 2009. pp. 422-430.
6. A. R. Al-Ali, M. Al-Rousan. "Java-based home automation system". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. Vol. 50. 2004. pp. 498- 504.
7. N. Sriskanthan, F. Tan, A. Karande, "Bluetooth based home automation system". *Microprocessors and Microsystems*. Vol. 26. 2002. pp. 281-289.
8. H. Ardam, I. Coskun. "A remote controller for home and office appliances by telephone". *IEEE Transactions on Consumer Electronics*. Vol. 44. 1998. pp. 1291-1297.
9. T. Baudel, M. Beaudouin-Lafon. "Charade: remote control of objects using free-hand gestures". *Communications of the ACM*. Vol. 36. 1993. pp. 28-35.
10. S. Kim, J. Kang, K. Lee, H. Park, S. Baeg, J. Park. *A UPnP-ZigBee software bridge*. In *ICCSA*. 2007. pp. 346-359.
11. M. Ruta, F. Scioscia, E. Di Sciascio, Giuseppe Loseto. "Semantic-Based Enhancement of ISO/IEC 14543-3 EIB/KNX Standard for Building Automation". *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. Vol. 7. 2011. pp. 731-739.
12. M. Bastarrica, D. Gómez, C. Wilckens. "Input/output autómatas como lenguaje de definición de arquitecturas". *Revista Facultad de Ingeniería - Universidad de Tarapacá*. Vol. 13. 2005. pp. 77-87.
13. D. Chen, X. Li, S. Zhao. *Auto-generation and redundancy reduction of test cases for reactive systems*. 2<sup>nd</sup> International Conference on Software Technology and Engineering (ICSTE). 2010. pp. 125-130.
14. M. Barrera. "Domótica e inmótica: visión general y actualidad". *Revista AIE UdeA*. 2011. pp. 13-19.

15. J. Augusto, C. Nugent. *Designing Smart homes: The role of artificial intelligence*. 1<sup>st</sup> ed. Ed. Springer. Berlin (Germany). 2006. pp. 1-8.
16. J. Valverde. *El estándar Inalámbrico ZigBee*. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú. 2001. Disponible en: <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>. Consultado marzo 2012.
17. ALCATEL. *Tecnologías y actividades de estandarización para la interconexión de Home Networks*. Para fundación Auna. Disponible en: <http://fundacionorange.es/areas/historico/pdf/2.pdf>. Consultado marzo 2012.
18. J. Hendrix, J. Kohl. *ZigBee Overview*. ZigBee Overview. 2009. Disponible en: <https://docs.zigbee.org/zigbee-docs/dcn/09-4825.pdf>. Consultado marzo 2012.
19. J. Tomé. *Diseño de módulos ZigBee de bajo coste*. Universidad Politécnica de Cataluña. España. 2006. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3581/1/53948-1.pdf>. Consultado febrero 2012.
20. Digi International Inc. *XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules*. 2010. On line: [ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976\\_G.pdf](ftp://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_G.pdf). Consultado febrero 2012.
21. R. Bayon. *Gestión Técnica de las instalaciones en Edificios y Viviendas. Domótica*. Universidad de Oviedo. España. 2010. Disponible en: <http://156.35.98.1/ficheros/apuntes/domotica/PLC%20-%20Simatica%2005-06.pdf>. Consultado febrero de 2012.
22. Green Energy Efficient Homes. *What is it and does it really help cut your electricity bill?* 2010. Disponible en: <http://www.green-energy-efficient-homes.com/>. Consultado enero 2012.
23. E. Oviedo, S. Velásquez, C. Isaza. *Sistema de control de luz a partir de comandos de voz usando RNA*. II Congreso De Microelectrónica Aplicada. Argentina. 2011. p. 39-44.
24. E. Oviedo, S. Velásquez. *Sistema de reconocimiento de voz aplicado a la domótica*. Tesis de pregrado. Departamento de Ingeniería Electrónica. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2011. pp. 57.
25. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. *ABC de Uso Racional y Eficiente de Energía en Edificaciones*. Disponible en: <http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/OLGA%20BAQUERO/ABC%20de%20URE%20en%20edificaciones.pdf>. Consultado enero 2012.