

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA UNA RED DE DOMÓTICA Y SEGURIDAD PARA UN HOGAR UTILIZANDO EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4 “ZIGBEE”

Esteban Santiago Reinoso Pérez, Ing.
María Soledad Jiménez Jiménez, MSc.

Escuela Politécnica Nacional

1. RESUMEN

El presente artículo contribuye al estudio del estándar ZigBee y la búsqueda de nuevas aplicaciones para el mismo. Pese a que la Domótica se ha desarrollado a pasos agigantados en los últimos años y a que existen muchas tecnologías aplicables a este campo desde hace ya algún tiempo, ZigBee puede contribuir con notables avances por el hecho de ser una tecnología inalámbrica, lo cual ahorraría tiempo y dinero con respecto a soluciones cableadas. Primero se aborda el concepto de Domótica, se describe con profundidad el estándar ZigBee: sus principios básicos, topologías de red, velocidades de transmisión, y la diferencia con otros estándares inalámbricos (tales como Bluetooth).

A continuación se aborda el Diseño de la Red de Domótica y Seguridad para un hogar, su estructura, así como de los elementos susceptibles de control; y la forma cómo se puede controlar cada uno de los elementos (lámparas, electrodomésticos, persianas, válvulas de gas, temperatura), así como la parte de la seguridad.

La parte central del artículo corresponde al diseño del prototipo en sí, aquí se describen los elementos que participan en el diseño: los módulos ZigBee y el elemento de control implementado, se indica de manera eficaz cómo fue conformado el prototipo de prueba. Se efectuaron las pruebas de comunicación y distancias necesarias para comprobar el alcance y correcto funcionamiento del prototipo diseñado; y se analizan los resultados obtenidos.

2. INTRODUCCIÓN

Gracias a la incesante evolución de la tecnología, se puede contar hoy en día con espacios de uso cotidiano que puedan ofrecer mejores condiciones de vida, tanto para edificios nuevos como para construcciones existentes. Este desarrollo se debe esencialmente al progreso de la electrónica, las redes internas y externas de comunicación, así como la integración de servicios inalámbricos en beneficio de la automatización.

La automatización comenzó a darse hace veinte años en industrias innovadoras, tales como la aeronáutica y la automotriz. Después siguieron los edificios comerciales y administrativos para finalmente ser las construcciones

educacionales y viviendas los sitios en donde se han utilizado criterios de integración técnico-espacial.

Una vez que iniciaron los primeros ensayos con aparatos electrodomésticos y dispositivos automáticos para los hogares; los franceses definieron como domótica a esta nueva corriente arquitectónica, la cual define una vivienda capaz de integrar todos los sistemas automáticos de gestión de la energía, protección patrimonial, confort, comunicaciones y demás.

La domótica abre nuevas posibilidades en cuanto a la integración del hogar, pues se convierte en una herramienta mediante la cual, los habitantes de un hogar pueden controlar y administrar de manera eficiente su espacio común.

Por ejemplo, en un día normal una persona que vive en un hogar inteligente no deberá preocuparse por determinar el estado del clima pues su despertador le avisará cómo se encuentra todo afuera el momento en que lo despierte. Además, el sistema se encargará automáticamente de abrir las persianas, regular la temperatura, encender los electrodomésticos necesarios para preparar el desayuno, apagar el sistema de riego nocturno del jardín, desactivar las luces que pudiesen encontrarse encendidas, entre otras actividades.

Debido al impacto de la Domótica dentro de la integración y automatización de construcciones, se crearon tecnologías de comunicación tanto cableadas como inalámbricas con el fin de facilitar la interacción de dispositivos dentro de una vivienda. Para relacionarse remotamente con todos estos dispositivos, necesitamos trabajar con un solo estándar que permita tenerlos a todos bajo una misma red.

Uno de los protocolos inalámbricos más prometedores y de mayor desarrollo en los últimos años es el estándar “Zigbee”, el cual ha evolucionado precisamente como una aplicación para la automatización de hogares.

ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Esta tecnología fue creada para cubrir la necesidad del mercado de un sistema de bajo costo a través de un estándar para redes Wireless de

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

Un grupo de trabajo formado por varias industrias ha venido desarrollando este sistema. Esta alianza de empresas está trabajando conjuntamente con el IEEE para asegurar una integración, completa y operativa. La alianza ZigBee también sirve para probar los dispositivos que se crean con esta tecnología.

3. SISTEMA DOMÓTICO

Un Sistema Domótico es un Sistema Inteligente (S.I.) que consta de: una red de comunicación configurada de tal manera que admita la interconexión de una serie de equipos que permitan obtener información acerca del entorno arquitectónico (es decir el edificio) con el fin de, compilando y procesando dicha información, realizar tareas sobre dicho entorno. Simplificando este concepto, podemos decir que un Sistema Domótico se encarga de interconectar todos los sistemas automáticos y tomar las decisiones respectivas.

Un Sistema Domótico no es lo mismo que un Sistema de Automatización, ya que en muchos casos resulta ser un conjunto de éstos y otros servicios que se conectan entre sí a través de un cerebro o central inteligente. Estos Sistemas Domóticos deben ser concebidos de forma que sean fáciles de mantener, permitan una sencilla actualización y sean manejados o controlados por el usuario con relativa simplicidad.

Este tipo de sistemas buscan la integración completa de aquellos servicios del hogar que forman parte del mismo en un solo conjunto; permitiendo de esta manera el acceso desde diversos dispositivos, tales como: una PC, un teclado alfanumérico, una pantalla Touch Screen, un teléfono celular o Internet.

4. 'ZigBee' Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico similar al Bluetooth, y basado en el estándar para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs, *Wireless Personal Area Networks*) IEEE 802.15.4. Este estándar inalámbrico surge del fruto de una alianza, sin ánimo de lucro, de más de 200 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con el objetivo de conseguir el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica de bajo coste.

Destacan empresas como Invensys, Mitsubishi, Honeywell, Philips y Motorola que trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional. Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo de Bluetooth.

Este estándar fue diseñado pensando en la sencillez de la implementación y el bajo consumo, sin perder potencia ni posibilidades. ZigBee amplía el estándar IEEE 802.15.4 aportando una capa de red (NWK, *Network Layer*) que gestiona las tareas de enrutado y de mantenimiento de los nodos de la red; y un entorno de aplicación que proporciona una subcapa de aplicación (APS, *Application Sublayer*) que establece una interfaz para la capa de red, y los objetos de los dispositivos tanto de ZigBee como del diseñador.

Así pues, los estándares IEEE 802.15.4 y ZigBee se complementan proporcionando una pila completa de protocolos que permiten la comunicaciones entre multitud de dispositivos de una forma eficiente y sencilla.

En general, ZigBee resulta ideal para redes estáticas, escalables, con muchos dispositivos, pocos requisitos de ancho de banda, aquellas que son utilizadas con frecuencia relativamente baja, y donde se requiera una duración muy prolongada de la batería.

En ciertas condiciones y para determinadas aplicaciones puede ser una buena alternativa a otras tecnologías inalámbricas ya consolidadas en el mercado, como Wi-Fi y Bluetooth, aunque la falta del soporte de TCP/IP no lo hace adecuado, por sí solo, para la interconexión de redes de comunicaciones IP.

Por tanto, la introducción de ZigBee no termina con la funcionalidad de otras tecnologías ya establecidas, pues este estándar trata de convivir con ellas buscando sus propios nichos de aplicación. De hecho, según Wireless Data Research Group, el mercado de redes de baja potencia y baja velocidad superó los 6.000 millones de euros en el año 2008; y comenzó a ser utilizado en áreas industriales como la automatización industrial y la domótica, antes que llegue a integrarse plenamente en las empresas.

5. CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR

Como se explicó anteriormente, la tecnología ZigBee está referenciada en el estándar IEEE 802.15.4, el cual fue terminado en mayo de 2003 y ratificado además por la ZigBee Alliance a finales de 2004.

El estándar IEEE 802.15.4 solo contempla las capas física (PHY, *Physical Layer*) y de acceso al medio (MAC, *Medium Access Control*), en las modalidades CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) y DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*), mientras que las capas superiores de red y seguridad han sido establecidas por la Alianza ZigBee (ver figura #1); finalmente la capa aplicación corre a cargo de cada fabricante. La norma, basada en un protocolo de gran sencillez, provee un alto rendimiento en la transmisión de paquetes por radio y una alta inmunidad en ambientes con una baja relación señal/ruido (S/N), por lo que los dispositivos ZigBee son más robustos frente a interferencias que los que siguen los

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

estándares Bluetooth o Wi-Fi. Así, en entornos de RF (Radio Frecuencia) agresivos, como es la muy saturada banda de 2,4 GHz, ZigBee se comporta mucho mejor.



Figura 1: Capas de ZigBee

Con velocidades de 20, 40 y 250 Kbps y un alcance en el rango de 10 a 75 m, ZigBee puede funcionar en las bandas ISM de 2,405-2,480 GHz (16 canales), 902-928 MHz (10 canales) y 868 MHz (1 canal), aunque la mayoría de fabricantes optan por la primera, ya que puede ser usada en todo el mundo, mientras que las dos últimas sólo se aplican en Estados Unidos y Europa,

Una red ZigBee, con topología en estrella, árbol o malla, puede escalar hasta 65.536 nodos, agrupados en subredes de hasta 255, lo que la hace más que suficiente para cubrir cualquier necesidad. En cualquiera de las subredes siempre existe un único nodo coordinador central encargado de la adquisición de datos y gestión de rutas entre dispositivos. Éstos pueden tener funcionalidad completa o reducida.

Durante la mayor parte del tiempo, el transceiver ZigBee permanece inactivo o 'dormido' con la finalidad de reducir el consumo de potencia al mínimo, pudiendo pasar al estado activo en menos de 15 milisegundos.

El objetivo es que un sensor equipado con esta tecnología pueda ser alimentado con dos pilas AA un periodo de entre seis meses y dos años, aunque en la práctica se ha verificado que se puede conseguir casi cinco años de duración en las aplicaciones de domótica y seguridad.

6. DIFERENCIAS CON EL ESTÁNDAR BLUETOOTH

Pese a que ZigBee y Bluetooth son estándares inalámbricos cuyas características son parecidas, cabe resaltar aquellos aspectos que los diferencian entre sí y los vuelven ideales para aplicaciones completamente distintos.

Dentro de las principales diferencias que es posible anotar, se mencionan las siguientes:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65.536 nodos, frente a los 8 máximos de una red Bluetooth.
- Menor consumo eléctrico que el ya de por sí bajo del Bluetooth. En términos exactos, ZigBee tiene un consumo de 30 mA transmitiendo y de 3 mA en reposo, frente a los 40 mA transmitiendo y 0.2 mA en reposo que tiene Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, pues los dispositivos siempre se encontrarán transmitiendo y/o recibiendo.
- ZigBee posee una velocidad de transmisión de RF de hasta 250 Kbps, mientras que la velocidad de Bluetooth es máximo de 1 Mbps.
- Debido al ancho de banda de cada tecnología, una es más apropiada que la otra para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, mientras que Bluetooth se usa para aplicaciones como Wireless USB, teléfonos móviles e informática casera; el ancho de banda de ZigBee se hace insuficiente para estas tareas, desviándolo a usos tales como la Domótica, los productos dependientes de la batería, los sensores médicos, y en artículos de juguetería, en los cuales la transferencia de datos es menor.

7. DISEÑO DE LA RED DE DOMÓTICA Y SEGURIDAD PARA UN HOGAR

Topología de la Red

Cuando se habla de topología de red, ésta se refiere a la forma tanto física como lógica en la que se encuentran interconectados los elementos que pertenecen a la misma. Al diseñar una red inalámbrica de comunicaciones, no es posible conectar de forma física los elementos en todo el sentido de la palabra, pues el medio natural de transmisión es el aire; sin embargo se designa la manera lógica como se conectarán los dispositivos.

De acuerdo a las especificaciones técnicas de los módulos ZigBee que se utilizarán en el diseño, estos elementos soportan ciertas topologías, las cuales son: punto a punto, punto a multipunto, igual a igual y malla.

Velocidad de Transmisión

Los dispositivos ZigBee fueron diseñados para ser usados en aplicaciones específicas, entre las cuales se encontraba la Domótica y Seguridad en hogares. La razón principal para el

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

uso de estos elementos en este tipo de redes, es que las mismas no tienen un flujo grande de información y la mayor parte del tiempo se encuentran en reposo o *stand by*, razón por la cual no es necesario velocidades de transmisión relativamente altas.

En el caso de los módulos de RF ZigBee utilizados en el diseño de la red y el dispositivo, éstos posibilitan la máxima velocidad permitida para el estándar, la cual es de 250 Kbps.

8. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS QUE FORMAN PARTE DE ÉSTA RED

Sistema Central (Computador)

Al hablar de un sistema inteligente, éste debe ser capaz de interactuar de forma fácil y permanente con el usuario y procesar las órdenes dadas por éste hacia los actuadores o los sensores. La aplicación que opere la persona que controla el hogar domótico debe ser amigable y de fácil entendimiento, por lo cual estará configurada de tal manera que ofrezca soluciones puntuales a los diferentes problemas que pudiesen presentarse.

El computador que sirva de centralizador debe cumplir condiciones básicas para mantener una rápida comunicación con el usuario. Entre las condiciones que debe presentar están las siguientes:

- Tener un procesador Pentium IV o Intel Core Duo.
- Una memoria caché de 2 o 4 Mb.
- Una memoria RAM de 512 Mb o 1Gb de capacidad.
- Utilizar el sistema operativo WINDOWS XP PROFESIONAL con *service pack 2*.
- Poseer el software y actualizaciones necesarios para programar una aplicación que permita manejar el Sistema Domótico desde esta máquina.

Una característica esencial para el uso de tecnología ZigBee es que el computador que actúe como centralizador tenga instalado o esté conectado a un dispositivo que permita la comunicación con un elemento ZigBee, pues éste será el que se encargue de enviar y recolectar información hacia y desde cada uno de los elementos que formen parte de la red. Sin este dispositivo será imposible un enlace con el resto del grupo.

Lámparas Incandescentes

Para controlar las lámparas incandescentes se empleará un dispositivo denominado SSR (*Solid State Relay*), el cual es un relé de estado sólido que puede ser activado con voltajes de corriente continua de +5V y que soporta hasta 220V de voltaje alterno en sus extremos, por lo cual puede ser conectado a un foco normal.

Tomas Eléctricas

En el caso de las tomas eléctricas, éstas pueden ser controladas por el mismo elemento que se conecta a las lámparas incandescentes: un relé de estado sólido o SSR, el cual deberá ser conectado a una de las líneas de alimentación de la corriente y que será activado en forma automática y remota desde el centralizador, el cual recibirá la orden por parte del usuario, que determinará qué toma eléctrica desea habilitar o conectar a través de un diagrama detallado donde se muestre la ubicación exacta de cada una de éstas en la casa.

Persianas

Es posible también controlar las persianas de manera automática, según una programación horaria o un escenario por el tema del confort y el ahorro energético, para minimizar el uso de la iluminación artificial, todo esto utilizando al centralizador para estas tareas que podrían ser determinadas con anterioridad, como por ejemplo al inicio del día: las persianas suben de forma automática por la mañana y bajan por la noche para confort o seguridad.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos, pues la característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°.

Electroválvulas

Para el control de las tuberías de gas, como en el caso del calefón de gas y de tuberías de agua, éstas pueden ser controladas a través de electroválvulas, las cuales pueden ser accionadas a través de voltajes continuo o alterno desde la posición misma del usuario. A través de una decisión de la persona que manipula el centralizador, éste puede cerrar o abrir las tuberías de gas o agua para el caso de emergencia o simplemente en el momento de salir del hogar. Además se puede implementar un presostato, el cual detecte la presión del agua o gas y si existiese alguna fuga, activar una alarma que corte el voltaje que se suministre a la electroválvula y de esta forma cerrarla por seguridad.

9. DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD

Un sistema básico de seguridad consiste de al menos 3 componentes: una unidad de control; uno o más sensores; y uno o más anunciadores. La unidad de control, también llamada caja de control, panel de control o teclado, es el cerebro del sistema, y es donde se programa, arma y desarma el sistema, en el presente caso éste se encontrará en el centralizador, en la aplicación de manejo del usuario.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Para este proyecto, los sensores de movimiento deberán ser seleccionados según el área que se desee supervisar, el tipo de movimiento que se desee sensor y el tipo de carga que se desee comandar. Muchos sensores de movimiento tienen integrados dispositivos como por ejemplo sensores de luminosidad, receptores de IR, temporizadores y controladores horarios, lo cual facilita e incrementa las prestaciones de los mismos.

Los detectores de infrarrojo pasivo, o detectores PIR, son los sensores para protección espacial más comunes. Los sensores PIR detectan los cambios de temperatura dentro del área protegida monitoreando la radiación infrarroja, una forma de energía térmica que irradian todos los seres vivos.

Para la vivienda específica a controlar, existen tres sitios donde es necesario colocar los detectores: el primero es en la entrada de la cocina, el cual alertará si un intruso ingresado por el patio; el segundo será colocado en la sala, justo después de la entrada principal, este dispositivo comprobará que no ingresen personas no gratas por esta puerta; finalmente el tercer sensor de movimiento será colocado en la parte de la puerta de la terraza, justo antes de salir hacia ésta, ya que así se previene el hecho de que los intrusos penetren por la terraza.

10. DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS USADOS EN EL DISEÑO DEL PROTOTIPO

La idea esencial del prototipo a diseñar, es el controlar luces, tomas eléctricas y medir la temperatura de una determinada habitación desde cualquier ubicación dentro del Hogar, a través de una sencilla aplicación instalada en un computador personal (puede ser de escritorio o *laptop*), la misma que enviará y recibirá señales utilizando un módulo base, conectado inalámbricamente a un módulo remoto que a su vez se comunica con una tarjeta de control que será la que encienda o apague las luces y la toma eléctrica y recoja la señal del sensor de temperatura.

Los módulos de RF XBEE usados en el diseño proporcionarán el enlace inalámbrico entre la aplicación de control del host o PC y el elemento que controlará las variables físicas a ser vigiladas (luces, tomacorrientes y temperatura).

Estos módulos son diseñados por la compañía estadounidense Maxstream, la cual los configura para que trabajen con el estándar IEEE 802.15.4 y además soporten las condiciones básicas de bajo costo y bajo consumo de energía necesarias en sensores de redes inalámbricas, pues requieren de mínima energía para trabajar y proveen, asimismo, una entrega de datos segura entre dispositivos. Además, los módulos trabajan en la banda ISM de 2.4 GHz y son compatibles pin a pin entre ellos.

La tabla #1 presenta las características principales de estos módulos:

Descripción	Rango de Valores
Alcance en ambientes cerrados	Sobre los 30 mts.
Alcance en espacios abiertos (con línea de vista)	Sobre los 100 mts.
Potencia de Transmisión	1mW o 0dBm
Sensibilidad del Receptor	Desde -92 dBm
Velocidad de Tx. de RF	250.000 bps
Consumo de energía en Tx.	45 mA con 3.3V
Consumo de corriente en Rx	50 mA con 3.3V
Velocidad de Interfaz Serial	1.200 a 115.200 bps
Voltaje de polarización	De 2,8 a 3,4 VDC
Dimensiones	2,438 x 2,761 cms.
Temperatura de Operación	Desde -40 a 85 °C
Topologías de Red soportadas	Punto a punto, punto a multipunto y malla
Número de Canales	16 canales en Secuencia Directa
Opciones de Direccionamiento	PAN ID, canales y direcciones
Potencia en modo de "sueño"	Menos a 10 uA
Frecuencia de operación	Banda ISM (2.4 GHz)
Agencias que lo aprueban	FCC (Estados Unidos) IC (Canadá) ETSI (Europa)

Tabla 1: Especificaciones del Módulo XBEE

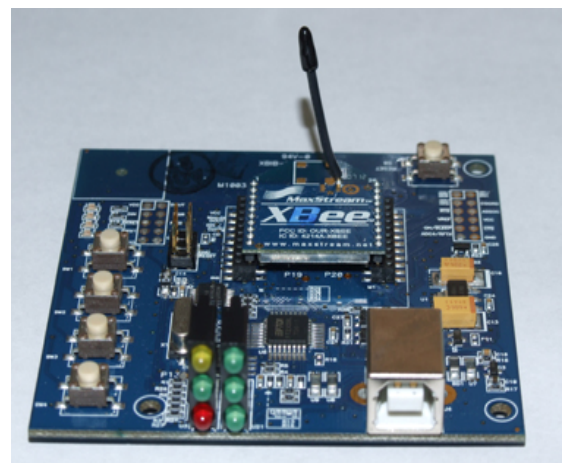


Figura 2: Módulo XBEE

Otro componente relevante del prototipo es el microcontrolador encargado de controlar los cambios en el estado de las luces, línea AC y temperatura; el microprocesador utilizado pertenece a la familia PIC de la compañía Microchip (cuyas características básicas se

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

describen en la tabla #2), el cual proveerá versatilidad y funcionalidad al diseño.

Descripción de las Características principales del PIC16F876
Utiliza solo 35 palabras de programación para su desarrollo
Utiliza únicamente un ciclo de máquina por cada instrucción, a excepción de aquellas en las cuales se especifique el uso de dos ciclos.
Velocidad de operación de 200ns por cada ciclo de máquina (conectando un cristal de 20MHz.)
Más de 8K x 14 palabras de Memoria de Programación FLASH
Más de 368 x 8 bytes de Memoria de Datos (RAM)
Más de 256 x 8 bytes de Memoria de Datos EEPROM
Salida de pines compatible con los PIC16C73B/74B/76/77
Modos de direccionamiento relativos directos e indirectos
Power – On Reset (POR)
Timer Power Up (PWRT) y Timer para Inicio de Oscilación (OST)
Protección del código de programación
Modo de ahorro de energía SLEEP
Diferentes opciones de oscilación
Diseño completamente estático
Programación serial In Circuit a través de dos pines
Amplio rango de voltajes de polarización (2 – 5.5 V)
Rangos de temperatura de operación Comercial – Industrial y Extendido
Timer0: Timer o contador de 8 bits con pre escala de 8 bits
Timer1: Timer o contador de 16 bits con pre escala
Timer2: Timer o contador de 8 bits con registro, pre escala y pos escala de 8 bits.
Dos módulos de captura, comparación o PWM
Cinco conversores Análogo Digital con multi-canal de 10 bits
Puerto Serial Asíncrono (SSP) con Modo Máster o Master/Slave
Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART) con detección de direcciones de 9 bits
Veintidos pines I/O
Bajo consumo de energía: menor a 0.6 mA a 3V y 4MHz

Tabla 2: Especificaciones del PIC16F876

11. DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS

El prototipo para el control de los elementos eléctricos citados anteriormente consta básicamente de dos partes fundamentales:

- La primera parte que se encuentra conformada por: el host (en este caso el computador personal), el cual contiene la aplicación que sirve de interfaz entre el usuario y el dispositivo de control, y por el módulo

base, el mismo que se encuentra montado sobre un circuito convertidor de voltajes que se conecta vía USB hacia el host. Esta tarjeta electrónica se encarga de transformar los niveles de voltaje RS232 que arroja el computador, en niveles CMOS (3.3 V), que es el voltaje con el que trabaja el dispositivo ZigBee. Es importante anotar que como se mencionó anteriormente, la comunicación entre el host y el módulo base es serial, por lo cual se debe instalar con anterioridad los respectivos controladores que incluye el convertidor de voltajes. Estos drivers convierten o simulan la comunicación USB en un simple puerto serial.

- La segunda parte consta del módulo remoto, el cual se encuentra montado sobre un convertidor de voltajes serial, el que convierte los voltajes CMOS recibidos desde el módulo remoto en voltajes RS232 (es decir ± 12 VDC). Conectado serialmente al módulo remoto, tenemos la parte final del segundo componente del circuito: la tarjeta de control de elementos eléctricos, la cual se conecta a su vez con los elementos a controlar (luces, línea AC y temperatura).

Tomando en cuenta el hecho de que los módulos XBEE deben ser direccionados punto a punto antes de trabajar para evitar pérdidas de datos, se configuraron las direcciones de destino y origen de cada módulo según como se presenta en la siguiente tabla:

Parámetro	Módulo RF Base	Módulo RF Remoto
MY (Dirección de Origen)	0x5678	0x1234
DH (Dirección de Destino Alta)	0	0
DL (Dirección de Destino Baja)	0x1234	0x5678

Tabla 3: Configuración de direcciones para comunicación punto a punto entre la base y el remoto del prototipo

Se ha determinado que la velocidad de transmisión sea la más baja debido a que previamente se realizaron las respectivas pruebas a diferentes velocidades y como resultado se obtuvo la pérdida de datos e incluso la recepción de datos 'basura' por parte del PIC (datos incorrectos o símbolos diferentes a los enviados), y esto producía que no se cumplan las diferentes subrutinas y procedimientos programados en el microcontrolador.

De tal forma que el diagrama de bloques de la comunicación sería el siguiente:

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

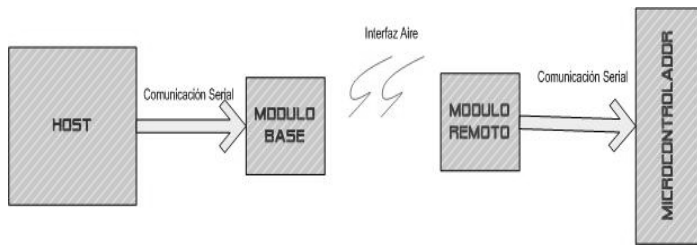


Figura 3: Esquema de comunicaciones completo del prototipo

El host es el PC que contiene la aplicación de interfaz del usuario.

Esta aplicación (ver figura #4), se encargará de abrir el puerto serial del host, establecer los parámetros con los cuáles se realizará la comunicación (velocidad de transmisión, paridad, parada, número de bits de datos), enviar la información necesaria para que el PIC entienda las necesidades del usuario y de acuerdo a ellas, ubicarse en las diferentes subrutinas programadas, confirmar al usuario que el prototipo ha cumplido con sus requerimientos, resetear las variables a cero (si fuese el caso), salir del sistema de control cerrando el puerto de comunicaciones y regresando a su estado inicial a cada variable.



Figura 4: Pantalla de inicio de la aplicación del Host

En cuanto a la tarjeta de control, ésta contendrá todos los elementos necesarios para la comunicación, control y manejo de las variables descritas anteriormente. Para la comunicación serial, las señales de transmisión y recepción llegarán desde la tarjeta de conversión de niveles de MAXSTREAM, la que se conecta con el CI MAX232 a través del puerto serial.

Los voltajes de entrada y salida en este punto serán de 12 VDC, los mismos que ingresan o salen del MAX; cuya

función es la de convertir niveles RS232 en niveles TTL que usa el PIC. Como se indicó con anterioridad, este CI se conecta al PIC16F876 por medio de comunicación serial usando dos pines. El PIC recibe los datos en código ASCII, de acuerdo a la letra enviada por el Host y realiza las subrutinas necesarias para el control.

Desde el PIC se tienen señales de salida digitales tanto para encender como para apagar la luz fija, abrir o cerrar la línea AC y enviar los pulsos PWM para la intensidad lumínica de la otra lámpara incandescente presente en el prototipo; además como entrada se encuentra el sensor LM35DZ, el mismo que envía voltajes pequeños que son interpretados por el PIC para su conversión digital.

Estas señales digitales de encendido/apagado y abierto/cerrado, serán interpretadas por un SSR (Solid State Relay) que activará o desactivará los triacs conectados a la entrada AC para la luz o la toma AC.

En cuanto a los pulsos PWM, éstos se conectan a un transistor NPN 3904 a través de la base del mismo, el cual amplificará el voltaje de entrada a 12VDC (si se tiene activa una intensidad de 100%) a través del colector (configuración emisor común); entre el colector y la fuente de 12 VDC se conecta la carga (en este caso un foco de 0.2W de potencia), la cual se encenderá de acuerdo al voltaje amplificado por el transistor.

Se deben incluir los subcircuitos propios de la configuración del PIC, tales como el circuito para el reset y para la oscilación del mismo. La placa terminada se presenta en la figura #5.

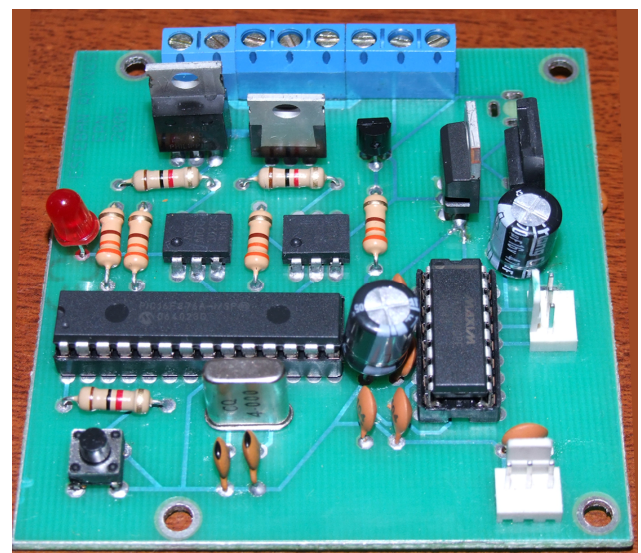


Figura 5: Tarjeta de control terminada

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

12. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DISTANCIAS Y CONECTIVIDAD DEL PROTOTIPO

Una vez comprobada la comunicación adecuada entre los diferentes elementos del Sistema de Control, además de programar correctamente el prototipo, así como de diseñar la aplicación de Control en Visual Basic, se procedió a probar la correcta conectividad del Sistema así como el funcionamiento adecuado de las tareas que debía cumplir el microcontrolador.

En cuanto a conectividad y cumplimiento de las tareas por parte del PIC, no se presentaron problemas (una vez programado el microprocesador y depurada la aplicación de Control en Visual Basic). Una vez asegurado el funcionamiento adecuado de todo el circuito se procedió a montar el módulo remoto y la tarjeta de control sobre la maqueta, adaptando los mismos dentro de una caja que sirve de protección en caso de cualquier inconveniente y a la vez proporciona cierto grado de estética al diseño.

Una vez que se empezó a trabajar con la maqueta, se observó el comportamiento del circuito a diferentes distancias de conexión, con el fin de determinar si el diseño y la comunicación ZigBee son válidos dentro de las distancias requeridas en el Hogar Domótico, y por ende, determinar el grado de factibilidad en la implementación del prototipo en mayor escala.

Finalizadas las pruebas de conectividad y distancia, y pese a que en condiciones extremas en cuanto a distancia (30 metros como máximo, de acuerdo a las especificaciones del fabricante) el Sistema no funcionó de manera satisfactoria, es posible indicar la validez del diseño y de la comunicación ZigBee, pues trabaja de forma adecuada en condiciones estables (manteniendo tanto el módulo base como el módulo remoto en un mismo piso o sin tantas paredes de por medio) y comunes (temperatura ambiente, clima dentro de los límites de tolerancia, etc.), por lo cual se concluye que el Prototipo es válido.

13. CONCLUSIONES

Poco a poco y con el transcurso del tiempo, las tecnologías inalámbricas como ZigBee o Bluetooth aportarán con mayores aplicaciones para la entrega y recepción de datos, no solo en el campo de la Domótica, pues son estándares que pueden ser usados en un sinnúmero de entornos y proyectos que ayuden al desarrollo de nuevos avances tecnológicos.

Los Módulos ZigBee son muy versátiles, pues pueden ser utilizados en muchas aplicaciones en las cuales el uso de cables sea un impedimento para montar una red, además trabajan de manera excelente en aquellas situaciones en las que no se tengan flujos de información grandes, sino más

bien se envíen o reciban datos muy puntuales cada cierto tiempo (como por ejemplo la medición de temperatura, información sobre si se tiene aún luz del día, etc.).

Es importante resaltar el hecho de que el microprocesador PIC16F876 brindó mayor factibilidad y flexibilidad al Sistema, debido a que en un mismo punto remoto se consigue un mayor control de varias variables a la vez, así como la posibilidad de que el propio dispositivo inalámbrico sea capaz de 'tomar decisiones', si el caso lo amerita. Uno de los beneficios tangibles que se puede obtener de este Proyecto, es el hecho de que ZigBee mejora la comunicación entre dispositivos tomando en cuenta las distancias entre ellos (hasta 30 metros en *indoor*), pues si comparamos estas longitudes con respecto a Bluetooth, está claro que se pueden cubrir más habitaciones con menos dispositivos.

Gracias a que no existen cables entre los dispositivos que se conectan entre sí, resultaría más fácil el montaje de la red dentro del hogar, pues no se deberían colocar materiales como canaletas y otros elementos que demoran el proceso de implementación y contribuyen a desmejorar el aspecto propio de la vivienda, pues saltan claramente a la vista; este es un factor que con la comunicación inalámbrica se puede evitar.

Realizando las correspondientes pruebas al prototipo, se pudo comprobar que cuando se tuvo la distancia crítica dentro de la vivienda, el Sistema no respondió al 100%, pues no siempre el módulo remoto recibió las ordenes de la Base, por tanto no cumplió todas las órdenes; por momentos no se obtuvo ningún valor de temperatura en el monitor de la aplicación, además tampoco se encendieron y apagaron tanto la luz fija como la línea AC en todas las veces que se ordenó hacerlo, esto se produjo debido a que mientras mayor sea la distancia que la señal deba recorrer, también se incrementarán las barreras que la misma deberá atravesar (como paredes o muros de concreto), lo que dificulta la recepción de datos por parte del módulo base ya que estos no rebotan de manera adecuada y se pierden en el medio (aire). Por este motivo se determina el hecho de que si se presentan muchos obstáculos entre los dos módulos, éstos no trabajarán completamente bien, aunque se cumpla la condición de no tener una distancia mayor a 30 metros entre ellos, tal como lo indica el fabricante, esto debido a que la potencia de la señal emitida por los módulos es baja y no alcanza a atravesar muchas paredes y se pierde en el camino.

Pese a que la tecnología ZigBee surge como una opción válida para una aplicación domótica, su factibilidad se complica debido al costo de los equipos, principalmente porque éstos aún no se encuentran en el país y en la mayor parte de los casos, para desarrollar conectividad inalámbrica usando ZigBee es necesario importar los elementos requeridos.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REYES, Carlos, *Aprenda Rápidamente a Programar Microcontroladores PIC 16F62x/16F81x/16F6xx con lenguaje BASIC*, Gráficas Ayerve C.S, Ecuador 2004, pp. 13 – 150

SÁNCHEZ, Iván Ricardo, *Diseño e Implementación de un controlador de eventos utilizando el servicio de mensajería corta (SMS) disponible en teléfonos celulares*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Año 2006, pp. 40 – 100.

ROLDÁN Martínez, David, *Comunicaciones Inalámbricas. Un enfoque Aplicado*, Editorial Ra-Ma, año 2004, pp. 20 – 78.

GORDON, Meyer, *Domótica: Los mejores trucos*, Editorial ANAYA Multimedia O'Reilly, año 2005, pp. 5 – 247.

CALLAWAY, Edgar Jr., *Wireless Sensor Networks: Architectures and Protocols*, Motorola Labs. Plantation, Florida, USA. Auerbach Publications, año 2003, pp. 289 – 307.

<http://www.domodesk.com/content.aspx?co=51&t=21&c=43>

<http://www.nova.es/~mromero/domotica/caracter.htm>

<http://www.nova.es/~mromero/domotica/esquema.htm>

<http://www.nova.es/~mromero/domotica/ejemplo1.htm>

<http://www.universia.com.ar/contenidos/internet/domotica.html>

<http://www.nova.es/~mromero/domotica/informa.htm>

<http://www.nova.es/~mromero/domotica/menuwin.htm>

<http://www.universia.com.ar/contenidos/pdfs/Aplicaciones.pdf>

<http://www.webdehogar.com/decoracion/domotica-hogar-casa-inteligente.htm>

<http://fotos.miarroba.com/fotos/e/0/e0626dde.jpg>

<http://www.cienciasmisticas.com.ar/electronica/montajes/cda/index.php>

<http://www.sfu.ca/phys/430/datasheets/DAC0808.pdf>

<http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/ee476/IntelStuff/DAC0808.pdf>

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>

<http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8297/NSC/DAC0830.html>

<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN1796.pdf>

<http://temp.roncero.org/informacion.php>

http://www.maxim-ic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2815/ln/en

http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/126

<http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN155.pdf>

<http://www.national.com/pf/AD/ADC0808.html>

<http://www.todopic.ar/foros/index.php?topic=20348.0;do=Bookmark>

<http://todopic.mforos.com/46840/4676675-ejemplito-16f876a-temperatura-y-luminosidad-con-un-lm35a-y-un-ldr-conv-ad/>

<http://www.todopic.ar/foros/index.php?topic=21737.0>

http://www.recursosvisualbasic.com.ar/hmt/tutoriales/control_list_box.htm

<http://foros.solocodigo.com/viewtopic.php?t=35209>

<http://todopic.mforos.com/6510/3166511-ayuda-con-usart-del-pic-16f628a/>

<http://todopic.mforos.com/8826/6669686-pic-a-rs232/>

<http://robots-argentina.com.ar/ba-232-1.hex>

http://robots-argentina.com.ar/Prueba_PIC628-RS232.htm

<http://microplans.xbot.es/dimmer.htm>

<http://www.iearobotics.com/talleres/uca-2005/sesion-3/ejemplos/download/pic16f877.h.html>

http://robots-argentina.com.ar/Cerebro_PIC628vs84.htm

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

15. BIOGRAFÍA



Esteban Santiago Reinoso Pérez, inició sus estudios en la ciudad de Quito, empezando su vida estudiantil en la escuela San José “La Salle”, sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Técnico de Aviación Civil “COTAC”. Posteriormente, continuó con sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, egresando en el año 2007 de la

carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones. Obtuvo la Suficiencia del idioma inglés en el Ex - Centro de Idiomas de la EPN (2005). Ha trabajado desarrollando ingeniería para compañías como MAQSOL (Máquinas y Soldaduras) durante los años 2006 y 2007 y en FUJIFILM DEL ECUADOR (2007 - 2009).