

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE 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”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

ESTEBAN SANTIAGO REINOSO PÉREZ

(esteban_santiago83@yahoo.es)

DIRECTOR: MSc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ.

(sjimenez@maifie.epn.edu.ec)

Quito, Noviembre 2008

DECLARACIÓN

Yo, Reinoso Pérez Esteban Santiago, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Esteban Santiago Reinoso Pérez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Esteban Santiago Reinoso Pérez, bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez Jiménez
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

El presente Proyecto de titulación no hubiese sido posible sin la colaboración y el apoyo de aquellas personas que se interesaron en el mismo y a quienes van dedicadas estas líneas.

En primer lugar agradezco a Dios por otorgarme el preciado don de la Vida y permitirme día a día luchar por conseguir mis objetivos, a mi esposa, hija y a mi familia, les agradezco por luchar junto a mi en todo momento con el objetivo de ver concluidas estas líneas.

Mi agradecimiento en especial a los Ingenieros Miguel Ángel Pino y Alejandro Galán, pues su apoyo resulto fundamental en el desarrollo del Proyecto, además de demostrar ser más que buenos consejeros, verdaderos amigos y compañeros de lucha. Un agradecimiento especial para el señor Gonzalo López por su aporte vital en cuánto a la parte práctica.

Importantes agradecimientos a mis amigos y compañeros de toda la vida, aquellos que en las horas de estudio en la Carrera fueron un apoyo fundamental y junto a ellos conseguimos sacar adelante nuestros sueños para verlos culminados poco a poco, gracias mis queridos amigos y hermanos. Finalmente es determinante mencionar a todos quienes de alguna u otra forma aportaron en este Proyecto, aunque algunos no lo sepan mis más sinceros agradecimientos por su ayuda.

DEDICATORIA

Este Proyecto va dedicado a todas las personas que lucharon y luchan todos los días junto a mí, gracias por su apoyo, siempre los llevo en mi corazón.

A Dios, por ser el Ser Supremo y al cuál le debo la vida entera, por apoyarme con su luz y su guía en los momentos más difíciles, aquellos cuando deseaba dejar todo de lado.

A mi esposa Cristina por ser mi compañera desde siempre y hasta siempre, gracias mi amor por pelear junto a mi en la finalización de este Proyecto. A mi hija Andreita, mi razón de vida y aquella angelita por la que sigo vivo y con ganas de levantarme día a día, gracias mi chiquita hermosa, por enseñarme a amar a una hija más que a nada en el mundo.

A mis padres, mis viejitos queridos que siempre me alentaron y me empujaron adelante para no dejarme caer en los momentos difíciles, gracias por darme la vida y por perdonar todos mis errores, para ustedes este trabajo, por ser el camino por el cuál transito todos los días. Al resto de mi familia, pues siempre han estado a mi lado en los momentos de mayor felicidad y los más tristes también y a los cuáles amo mucho, gracias hermanitas queridas, a mis preciosos sobrinos y a mi adorada sobrinita, así como a mis queridos cuñados.

Finalmente dedico este Proyecto a todos mis amigos que nunca desmayan en busca de sus sueños y que de alguna u otra forma me ayudaron a salir adelante a través de mis años de estudio, así como en la elaboración de este trabajo; gracias mis hermanos, para ustedes mi dedicación.

CONTENIDO

CAPÍTULO I	12
INTRODUCCIÓN A LA DOMÓTICA	12
1.1 INTRODUCCIÓN	12
1.2 DEFINICIÓN DE DOMÓTICA: BENEFICIOS	14
1.3 SISTEMA DOMÓTICO	16
1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN SISTEMA DOMÓTICO	17
1.3.2 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN	18
1.3.2.1 Sensores	18
1.3.2.2 Actuadores	20
1.3.3 ARQUITECTURAS DE UN SISTEMA DOMÓTICO	21
1.4 'ZigBee' Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4	24
1.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTÁNDAR	26
1.4.2 DIFERENCIAS CON EL ESTÁNDAR BLUETOOTH	28
1.4.3 REQUISITOS DE HARDWARE	29
1.4.4 ESTRUCTURA DEL ESTÁNDAR ZIGBEE	29
1.4.5 TOPOLOGÍAS DE RED EN EL ESTÁNDAR ZIGBEE	32
1.4.6 DISPOSITIVOS DEL ESTÁNDAR	33
1.4.7 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN UNA RED ZIGBEE	34
1.4.8 COMUNICACIONES	36
1.4.9 ENCAMINAMIENTO (ROUTING) EN EL ESTÁNDAR ZIGBEE	39
1.4.10 PERFILES DE ZIGBEE	40
1.5 EL ESTÁNDAR ZigBee Y LA DOMOTICA	42
CAPÍTULO II	44
DISEÑO DE LA RED DE DOMÓTICA Y SEGURIDAD PARA UN HOGAR	44
2.1 ASPECTOS PREVIOS AL DISEÑO	44
2.2 DESCRIPCIÓN DEL HOGAR DOMÓTICO	45
2.2.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL HOGAR DOMÓTICO	45
2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA BAJA	47
2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ALTA	48
2.3 ESTUDIO Y DISEÑO DE LA RED PARA EL HOGAR DOMÓTICO	52
2.3.1 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA RED	52
2.3.1.1 Topología de la Red	52
2.3.1.2 Velocidad de Transmisión	53
2.3.2 CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS QUE FORMAN PARTE DE LA RED	54

	7
2.3.2.1 Sistema Central (Computador)	54
2.3.2.2 Lámparas Incandescentes	56
2.3.2.3 Tomas Eléctricas	57
2.3.2.4 Persianas	58
2.3.2.5 Electroválvulas	61
2.3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD	64
2.4 COSTO REFERENCIAL DEL SISTEMA	70
CAPÍTULO III	71
DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE UN HOGAR UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA “ZIGBEE”	71
3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS PRESENTES EN EL DISEÑO	71
3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODULOS ZigBee DE RF XBEE	72
3.1.2 COMUNICACIÓN SERIAL DE LOS MÓDULOS XBEE	73
3.1.3 MODOS DE OPERACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE	74
3.1.3.1 Modo Transparente	74
3.1.3.2 Modo de operación API	75
3.1.4 CONTROL DE FLUJO	76
3.1.4.1 Búfer DI (<i>Data In</i>)	76
3.1.4.2 Búfer DO (<i>Data Out</i>)	77
3.1.5 SOPORTE DE LÍNEAS ADC E I/O	78
3.1.5.1 Formato de datos I/O	78
3.1.5.2 Detección de un Cambio en un pin DIO (<i>Pin Change Detect</i>)	79
3.1.5.3 Velocidad de muestreo	80
3.1.5.4 Ejemplo de Configuración	80
3.1.6 DIRECCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE	81
3.1.6.1 Modo <i>Unicast</i>	81
3.1.6.2 Modo <i>Broadcast</i>	82
3.1.7 MODOS DE TRABAJO DEL DISPOSITIVO XBEE	83
3.1.7.1 Modo de Trabajo <i>Command</i> o <i>Command Mode</i>	84
3.1.8 PRINCIPALES COMANDOS AT	86
3.1.8.1 Comandos AT especiales	87
3.1.8.2 Comandos AT para networking y seguridad	87
3.1.8.3 Comandos AT para la interfaz RF	88
3.1.8.4 Comandos AT para bajo consumo (<i>Sleep</i>)	88
3.1.8.5 Comandos AT para la interfaz serial	89
3.1.8.6 Comandos AT para el manejo de los pines I/O	90
3.1.8.7 Comandos AT para diagnóstico	92
3.1.8.8 Comandos AT opcionales	92
3.1.9 DESCRIPCIÓN DEL PIC 16F876	93
3.1.9.1 Configuración de la comunicación USART en el PIC	94
3.1.9.2 Configuración del conversor análogo – digital	99
3.1.9.3 Configuración del pin PWM	104
3.1.9.4 Configuración de las salidas digitales	106
3.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS	107
3.2.1 COMUNICACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO	108

3.2.1.1 Software X-CTU de MAXSTREAM	110
3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL HOST	114
3.2.3 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SENSOR LM35DZ	119
3.2.4 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL	121
CAPÍTULO IV	127
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE CONTROL	127
4.1 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DISTANCIAS Y CONECTIVIDAD DEL PROTOTIPO	127
4.2 PRUEBAS DE DISTANCIAS DEL PROTOTIPO	129
4.3 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO	131
CAPÍTULO V	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
5.1 CONCLUSIONES	134
5.2 RECOMENDACIONES	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	139
DIRECCIONES ELECTRÓNICAS	139
ANEXOS	143

RESUMEN

El problema que permitió desarrollar el presente Proyecto, es el hecho de que en la actualidad existe un importante desarrollo de tecnologías domóticas cableadas, pero resulta difícil encontrar trabajos que aprovechen la idea de que ZigBee fue concebido como una tecnología ideal para la automatización de hogares. El no utilizar cables dentro de una Red de Domótica facilita el hecho del montaje de la misma, además ayuda en el ahorro de tiempo y dinero, en comparación con tecnologías cableadas, en las cuáles puede resultar tedioso la tendida de alambres.

Tomando como punto de partida estos detalles importantes, se determinó que una solución práctica y sencilla de resolver el problema sería el diseñar y construir un prototipo que permita realizar las pruebas pertinentes en cuánto a conectividad y control de elementos simples y comunes dentro de un hogar: focos incandescentes y tomas eléctricas, así como la lectura de la temperatura ambiente de cualquier habitación con el fin de (si así lo requiriera el usuario) manejar dichas variables para fines más detallados (como controlar el encendido de termostatos por ejemplo).

Finalmente, los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del este Proyecto son bastante satisfactorios, pues se pudo comprobar que ZigBee es un estándar factible para ser aplicado en Dómotica, ya que cumple con las expectativas planteadas al inicio (tanto en conectividad como en envío y recepción de datos, pues cumplió a cabalidad la mayoría de las pruebas realizadas).

Se puede concluir que ZigBee cumplió con las expectativas en cuanto a conectividad, pues para una distancia de 30 mts. (alcance máximo) se tuvo nivel de señal aceptable, además la entrega y recepción de datos entre dispositivos se dio de tal forma que no se tuvieron pérdidas de datos (todos estos parámetros evaluados teniendo al módulo base y remoto en un mismo piso).

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación 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 ya muchas tecnologías aplicables a este campo desde hace ya algún tiempo; ZigBee puede contribuir notables avances por el hecho de ser una tecnología inalámbrica, lo cuál ahorraría tiempo y dinero en cuanto al cableado.

En el Primer Capítulo se aborda el concepto de la Domótica, ciertos aspectos necesarios para una mejor comprensión del resto del Proyecto, tales como arquitectura de red, hogar domótico, actuadores, sensores, etc.; ésta es una breve descripción y revisión de conceptos que se encuentran detallados con mayor profundidad en Proyectos encaminados enteramente a la Domótica. A continuación se describe con profundidad en estándar ZigBee, sus conceptos básicos, topologías de red, velocidades de transmisión, capas del estándar, perfiles, enrutado, direccionamiento, etc.; esta parte del capítulo ayuda a comprender al lector cómo trabaja el estándar y para qué sirve, además de la diferencia con otros estándares inalámbricos (tales como Bluetooth o WiFi).

En el Segundo Capítulo se aborda el Diseño de la Red de Domótica y Seguridad para un hogar. Al inicio se describe físicamente a la vivienda: su dirección y ubicación exactas, la estructura de sus dos plantas, número de focos y tomas eléctricas que existen, así como de los elementos susceptibles de control. A continuación se detalla la forma cómo se puede controlar cada uno de los elementos como es el caso de lámparas, electrodomésticos, persianas, válvulas de gas, temperatura, así como la parte de la seguridad, en donde se analizan de manera detallada aquellos dispositivos útiles para la detección de personas extrañas al hogar. Finalmente se proporcionan los costos referenciales para poder implementar

la Red dentro del Hogar escogido para el diseño, en esta parte se aclara lo que respecta al costo del prototipo, éste será detallado más adelante.

El Tercer Capítulo corresponde al diseño del prototipo en sí; en este capítulo se describen de manera precisa los elementos que participan en el diseño: tanto los módulos ZigBee como el elemento de control (en este caso un microprocesador), aquí se mencionan los modos de trabajo, formas de comunicación, direccionamiento, configuración, comandos, dimensiones, características generales, etc. de los módulos XBEE. Luego se detallan las características importantes del PIC16F876, así como la forma de configurar aquellos registros que servirán en el diseño. A continuación se detalla la manera cómo trabaja la aplicación del Host que sirve como interfaz entre el usuario y el prototipo, para después detallar el diseño de la tarjeta de control y su montaje sobre la maqueta desarrollada para el efecto.

En el Cuarto Capítulo, se efectuaron las pruebas de comunicación y distancias necesarias para comprobar el alcance y correcto funcionamiento del prototipo diseñado en el capítulo anterior. Una vez realizadas dichas pruebas, se analizan los resultados obtenidos.

En el último Capítulo, se encuentran detalladas las conclusiones que se pudieron obtener del presente Proyecto, así como recomendaciones válidas para los lectores y que se obtuvieron de las diferentes experiencias obtenidas en el desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA DOMÓTICA

1.1 INTRODUCCIÓN¹

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

Respecto a la automatización, ésta comenzó a darse hace veinte años en industrias innovadoras, tales como la aeronáutica y la automotriz, donde comenzaron a utilizar diversas automatizaciones con cierto grado de integración. 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.

Respecto a esto, 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.

¹ 'Domótica y Espacios Cotidianos', Arq. Patricia Ángel

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 IEEE 802.15.4 o también denominado "Zigbee", el cual ha evolucionado precisamente como una aplicación de 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 pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable.

Para llevar a cabo este sistema, un grupo de trabajo formado por varias industrias está desarrollando el mismo. 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.

1.2 DEFINICIÓN DE DOMÓTICA: BENEFICIOS²

Antes de realizar una definición sobre lo que es domótica, conviene resaltar el concepto de lo que es un edificio o vivienda digital: “El Hogar Digital es una vivienda que a través de equipos y sistemas, y la integración tecnológica entre ellos, ofrece a sus habitantes funciones y servicios que facilitan la gestión y el mantenimiento del hogar, aumentan la seguridad; incrementan el confort; mejoran las telecomunicaciones; ahorran energía, costes y tiempo, y ofrecen nuevas formas de entretenimiento, ocio y otros servicios dentro de la misma y su entorno .”*

Según la enciclopedia virtual Wikipedia, el término *Domótica* proviene de la unión de las palabras *domus* (que significa casa en latín) y del sufijo *-tica*, el cual se refiere a la “gestión de medios informáticos”.

Wikipedia define a la Domótica como “el conjunto de sistemas capaces de automatizar una vivienda, aportando servicios de gestión energética, seguridad, bienestar y comunicación, y que pueden estar integrados por medio de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas, y cuyo control goza de cierta ubicuidad**”, desde dentro y fuera del hogar. Se podría definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto”.

Ahora, se entiende por domótica al equipamiento de cualquier vivienda o edificio con una sencilla tecnología que permita gestionar de forma energéticamente eficiente, segura y confortable para el usuario, los distintos aparatos e instalaciones domésticas tradicionales que conforman un hogar (la luz eléctrica, las tomas de electricidad, televisores, equipos de sonido, sistemas de calefacción, sistemas de riego, etc.). La domótica busca la integración de nuevas tecnologías de comunicación, automatización y control al espacio arquitectónico, de tal forma que se

² Wikipedia, Casadomo

*(www.casadomo.com)

**Ubicuidad: que se encuentra presente en todo, omnipresencia

consiga formar un todo coherente y medible, donde cada tarea asignada al sistema, mejore calidad de vida de las personas.

Al ser un campo tecnológico tan amplio y variado, los beneficios que ofrece la domótica se incrementan a diario, por lo que resulta conveniente agruparlos según su campo de acción, para lo cual se pueden citar algunos de ellos:

- a) El control completo del consumo de energía; en este caso se refiere a un “consumo inteligente” de los recursos eléctricos, ya que el usuario puede disponer únicamente de los aparatos que necesite, sin desperdiciar corriente en aquellos dispositivos que se encuentren en reposo. Este aspecto supone un ahorro económico al momento de cancelar la planilla eléctrica.
- b) La potenciación y enriquecimiento de la propia red de comunicaciones, pues ésta puede seguir creciendo de forma permanente en todo sentido, ya que al ser una tecnología escalable, es posible instalar o incluir aparatos y dispositivos del hogar de acuerdo a las características propias de la red.
- c) Al tener control sobre los accesos hacia el hogar e implementar alarmas eficaces en cuanto a penetración no permitida de personas, es factible obtener la más completa y eficiente seguridad personal y patrimonial, en donde cada habitante y electrodoméstico del hogar se encuentre protegido por el sistema.
- d) Al hablar de implementar una red externa de comunicaciones propia, se puede transmitir y recibir información con cualquier central de ayuda que haya sido creada para asistir a los dueños del hogar inteligente.
- e) Como consecuencia de todos los anteriores apartados se consigue un nivel de confort muy superior, con lo cual la calidad de vida aumenta considerablemente.

1.3 SISTEMA DOMÓTICO³

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.

En este punto es preciso realizar una diferenciación, pues 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
- Internet

³ 'Análisis de los sistemas de comunicación utilizados para la implementación de las aplicaciones de la domótica', Jorge Navarrete

1.3.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE UN SISTEMA DOMÓTICO

Dentro del concepto de Sistema Domótico aplicado para viviendas unifamiliares, las principales características que debe presentar son las siguientes:

- **Integración.** Todo el sistema funciona bajo el control de un Ordenador Personal, de tal forma que los usuarios no deban estar pendientes de los diversos equipos, pues éstos son completamente autónomos, con su propia programación; además se incorporan indicadores situados en diferentes lugares que notifiquen dificultades de interconexión entre equipos de distintos fabricantes, fallas en la alimentación de algún equipo, pérdida de información en cualquier punto de la red, etc.
- **Interrelación.** Una de las principales características que debe ofrecer un sistema domótico es la capacidad para relacionar diferentes elementos y obtener una gran versatilidad y variedad en la toma de decisiones. Así, por ejemplo, es sencillo relacionar el funcionamiento del Aire Acondicionado con el de otros electrodomésticos, o con la apertura de ventanas, o con que la vivienda esté ocupada o vacía, etc.
- **Facilidad de uso.** Con una sola mirada a la pantalla del Ordenador Personal, el usuario estará completamente informado del estado de su vivienda. Y si desea modificar algo, solo necesitará pulsar un reducido número de teclas. La simple observación de la pantalla indicará si tenemos correo pendiente de recoger en el buzón, las temperaturas dentro y fuera de la vivienda, si está conectado el Aire Acondicionado, cuando se ha regado el jardín por última vez, si la tierra está húmeda, si hay alguien en las proximidades de la vivienda, etc.
- **Control remoto.** Las mismas posibilidades de supervisión y control disponibles localmente, (excepto sonido y música ambiental) pueden

obtenerse mediante conexión telefónica desde otro computador, en cualquier lugar del mundo. Esto puede resultar beneficioso para el caso de personas que viajan frecuentemente, o cuando se trate de residencias de fin de semana, casas de playa, etc.

- **Fiabilidad.** Los ordenadores personales actuales son muy potentes, rápidos y fiables. Además, tomando en cuenta otros aspectos como el posible uso de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida, ventilación forzada del CPU, baterías de gran capacidad que alimenten a los periféricos, el apagado automático de pantalla, etc.; se dispone de una plataforma ideal para aplicaciones domóticas, que podría funcionar muchos años sin problemas.
- **Actualización.** En estos días es muy sencillo actualizar cualquier equipo, pues al aparecer nuevas versiones y mejoras, simplemente se debe cargar dichas versiones en cualquier máquina. Toda la lógica de funcionamiento se encuentra en el software y no en los equipos instalados. De este modo, cualquier instalación existente puede beneficiarse de las nuevas versiones, sin ningún tipo de modificación.

1.3.2 ELEMENTOS DE LA INSTALACIÓN

Los elementos que componen los distintos sistemas domóticos de automatización de viviendas y edificios son muy diversos, éstos pueden ir desde una central de gestión para sistemas centralizados hasta un mando automático a distancia. Dentro de esta multiplicidad de elementos, a continuación se mencionan dos de ellos muy característicos: los sensores y los actuadores.

1.3.2.1 Sensores

Estos son dispositivos que le permiten al sistema conocer cuál es el estado de ciertos parámetros factibles de registro (la temperatura ambiente, la existencia de un

escape de agua, etc.). Entre los más comúnmente utilizados se distinguen los siguientes:

Termostato de ambiente, los cuales ayudan a obtener medidas precisas de la temperatura de una habitación, además permiten la modificación de parámetros de referencia por parte del usuario.

Sensor de temperatura interior, este elemento permite únicamente medir la temperatura dentro de una habitación.

Sensor de temperatura exterior, este tipo de sensor es muy útil, pues permite optimizar el comportamiento de la calefacción mediante una regulación precisa y eficiente tanto de la carga como del funcionamiento del mismo.

Sondas de temperatura para gestión de calefacción, este tipo de sondas optimizan la forma de controlar los distintos tipos de calefacción eléctrica; un ejemplo de esto corresponde a las sondas limitadoras para suelo radiante.

Sondas de humedad, cuya finalidad es la de prevenir mediante la detección inmediata de posibles fugas de agua en cocinas, baños, etc.

Detector de fugas de gas, cumplen una función similar a las sondas de humedad, con la variante de que éstos registran fugas de gas.

Detector de humo y/o fuego, usados para anunciar la presencia de fuego o humo, es decir, alertan sobre un posible conato de incendio

Detector de radiofrecuencia (RF), estos dispositivos funcionan de tal manera que receptan cualquier señal de alerta médica proporcionada

por un emisor portátil de radiofrecuencia. Estos detectores (tanto receptores como emisores), pueden utilizar el protocolo ZigBee.

Sensor de presencia, con el fin de detectar posibles intrusiones no deseadas en la vivienda.

1.3.2.2 Actuadores

Los actuadores son elementos que necesita un sistema domótico para modificar el estado de ciertos equipos e instalaciones. Los siguientes dispositivos actuadores se encuentran entre los más comerciales:

Contactores (o relés de actuación) de carril DIN, los cuales accionan o desconectan cualquier elemento conectado a sus interruptores.

Contactores para base de enchufe, que cumplen la misma función de los citados en el párrafo anterior, con la diferencia de que éstos son utilizados en enchufes.

Electroválvulas de corte de suministro (gas y agua), usadas para controlar el paso de agua y gas.

Sirenas o elementos zumbadores, para el aviso de alarmas en curso.

Es importante el señalar que la cantidad de sensores y actuadores que puedan ser implementados dentro del sistema varía en el tiempo, pues en la actualidad existen empresas que deciden agrupar unos u otros en un sólo aparato abaratando costos, sin embargo, los elementos básicos no varían.

1.3.3 ARQUITECTURAS DE UN SISTEMA DOMÓTICO

Dentro de un Sistema Domótico, la arquitectura del mismo define la forma cómo van a ubicarse los diferentes elementos de control del sistema. Desde el punto de vista de donde reside la inteligencia del sistema domótico, hay varias arquitecturas diferentes:

- **Arquitectura Centralizada:** Este tipo consta de un controlador central, el cual recibe información de múltiples sensores para procesarla y finalmente, generar las órdenes oportunas para los actuadores. Cuando se implementa una arquitectura centralizada el sistema de control es el 'corazón' del edificio, pues sin él nada funcionaría.
- **Arquitectura Distribuida:** Es aquella en la que el elemento de control se sitúa junto al elemento a controlar. Esto implica que se va a tener una estructura de red distribuida, constituida por varias estructuras centralizadas de menor tamaño. Es posible distribuir el control de los elementos según sus funcionalidades o de forma espacial, esto quiere decir que de acuerdo a la parte de la casa en la que éstos se encuentren (cocina, sala, jardín etc), se obtiene un control específico.

Un Sistema Domótico de arquitectura distribuida se compone de una serie de nodos que se conectan unos con otro a través del bus de comunicaciones; entre los diferentes tipos de nodos que existen, se encuentran los siguientes:

Nodos de control estándar: Son los encargados de controlar los parámetros de cada estancia. Cada uno soporta dos circuitos independientes de conmutación, así como dos entradas extra para sensores. La funcionalidad del nodo depende del programa que se cargue en el mismo.

Nodos de supervisión: Los cuales se dedican a realizar la interfaz con el usuario. Cada función que el usuario necesita para supervisar y controlar el sistema se encuentra implementada en el correspondiente nodo. De esta manera, el usuario puede elegir para su vivienda las funciones que considere necesarias.

Nodo de vigilancia de intrusión: Estos nodos se activan cuando una persona entra en la habitación.

Nodo de luces exteriores: Se produce la activación manual y/o automática de las luces utilizando un sensor de luz.

Nodo telefónico: Se encarga de la interfaz entre el Sistema Domótico y la Red Telefónica, tanto al interior de la vivienda como la exterior. A través de este nodo se pueden controlar todas las funciones de la vivienda con el propio teclado del teléfono y confirmar la ejecución de aquellas funciones realizadas mediante voz natural.

Nodo de portero: Realiza la interfaz entre el portero eléctrico y el teléfono interior de la vivienda, de tal manera que al realizar una llamada en el portero, el usuario puede atender la llamada y abrir la puerta desde el propio teléfono de la vivienda.

Nodo de televisión: Proporciona la interfaz entre el Sistema Domótico y la televisión de la vivienda. Este nodo presenta en la pantalla de televisión la situación de los elementos de supervisión, con lo cual los habitantes pueden controlar su vivienda con el mando a distancia.

Nodos exteriores: Dentro de este tipo de nodos se agrupan aquellos que siendo de uso dedicado se instalan en el exterior de la vivienda.

Dentro de ellos se destacan el nodo de sirena exterior y el nodo medidor de luz exterior.

Nodos de comunicaciones: Estos son nodos dedicados específicamente a soportar la red de comunicaciones de la vivienda. Entre ellos sobresalen estos:

Nodo repetidor: El cual se utiliza para extender en longitud la red de comunicaciones de la vivienda, cuando ésta supere los 1000 metros de longitud, o para aislar de forma galvánica sectores de la red. Cuando la red de comunicaciones se encuentra al exterior de la vivienda, es conveniente que tanto la alimentación como los datos queden aislados de la red interior.

Nodos Routers: El nodo router realiza una adaptación física y lógica de dos medios de transmisión diferentes.

Hay sistemas que son de arquitectura distribuida en cuanto a la capacidad de proceso, pero no lo son en cuanto a la ubicación física de los diferentes elementos de control y viceversa, sistemas que son de arquitectura distribuida en cuanto a su capacidad para ubicar elementos de control físicamente distribuidos, pero no en cuanto a los procesos de control, que son ejecutados en uno o varios procesadores físicamente centralizados.

Es importante mencionar que los sistemas de arquitectura distribuida que utilizan como medio de transmisión el cable, existe un concepto a tener en cuenta que es la **topología de la red de comunicaciones**.

La topología de la red se define como la distribución física de los elementos de control respecto al medio de comunicación (en este caso cable), como por ejemplo: estrella, anillo, malla, etc.

- **Arquitectura mixta:** Son sistemas descentralizados en cuanto a que disponen de varios dispositivos pequeños capaces de adquirir y procesar la información de múltiples sensores y transmitirlos al resto de dispositivos distribuidos por la vivienda, generalmente son aquellos sistemas basados en Zigbee y totalmente inalámbricos.

1.4 'ZigBee' Y EL ESTÁNDAR IEEE 802.15.4⁴

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 del 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.

⁴ www.domodesk.com

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 si solo, para la interconexión de redes de comunicaciones IP.



Figura 1.1: Capas de ZigBee⁵

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

⁵ <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

^{*} <http://www.seccperu.org/files/ZigBee.pdf>

euros en el año 2007; y comenzó va ser utilizado en áreas industriales como la automatización industrial y la domótica, antes que llegue a integrarse plenamente en las empresas.

1.4.1 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.

Tal como se aprecia en la siguiente figura, el estándar IEEE 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; 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 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.

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 ISM⁶ 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, respectivamente.

⁶ ISM (Industrial, Scientific and Medical), son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN (e.g. Wi-Fi) o WPAN (e.g. ZigBee).



Figura 1.2: Arquitectura de ZigBee⁷

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.

⁷ <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

1.4.2 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 diferentes.

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 250 Kbps, mientras que la velocidad de Bluetooth es de 1 Mbps.
- Debido al ancho de banda de cada tecnología, una es más apropiado que la otra para ciertas cosas. Por ejemplo, mientras que Bluetooth se usa para aplicaciones como Wireless USB, los teléfonos móviles y la 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.

1.4.3 REQUISITOS DE HARDWARE

Este estándar requiere un grado de implementación medio para poder ser utilizado. Esta implementación puede hacerse por software en multitud de arquitecturas. Sin embargo, independientemente de donde se implemente, necesita recursos mínimos. Ya que los dispositivos pueden efectuar diversos roles, los requisitos también varían de unos a otros.

Los recursos mínimos que debe presentar el sistema para soportar ZigBee son básicamente tres:

- Un microcontrolador de 8 bits
- Pila completa, menor de 32 Kb
- Pila sencilla, de 6 Kb aprox.

En cuanto a memoria RAM, cada implementación necesita una cantidad diferente, en función del grado de optimización de la misma*, pero es de interés notar que los coordinadores y/o routers tendrán más exigencias puesto que necesitan mantener tablas para los dispositivos de la red, enlazado, etc.

1.4.4 ESTRUCTURA DEL ESTÁNDAR ZIGBEE

La siguiente figura muestra los campos de los cuatro tipos de paquetes básicos: datos, ACK, MAC y baliza.

La trama de datos tiene una carga de información de hasta 104 bytes. La misma se encuentra numerada para asegurar que todas las tramas llegan, además debemos obtener confirmación de que la trama se ha recibido sin errores en el receptor. Esta estructura aumenta la fiabilidad en condiciones complicadas de transmisión.

* Se refiere a la rapidez con la cual debe funcionar cada implementación.

Una estructura importante es la de ACK o reconocimiento. Esta trama es una realimentación desde el receptor al emisor, para confirmar que el paquete se ha recibido sin errores. Se puede incluir un ‘tiempo de silencio’ entre tramas, para enviar un pequeño ACK después de la transmisión de cada trama.

La trama MAC, se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos y nodos. Una red centralizada utiliza este tipo de tramas para configurar la red a distancia.

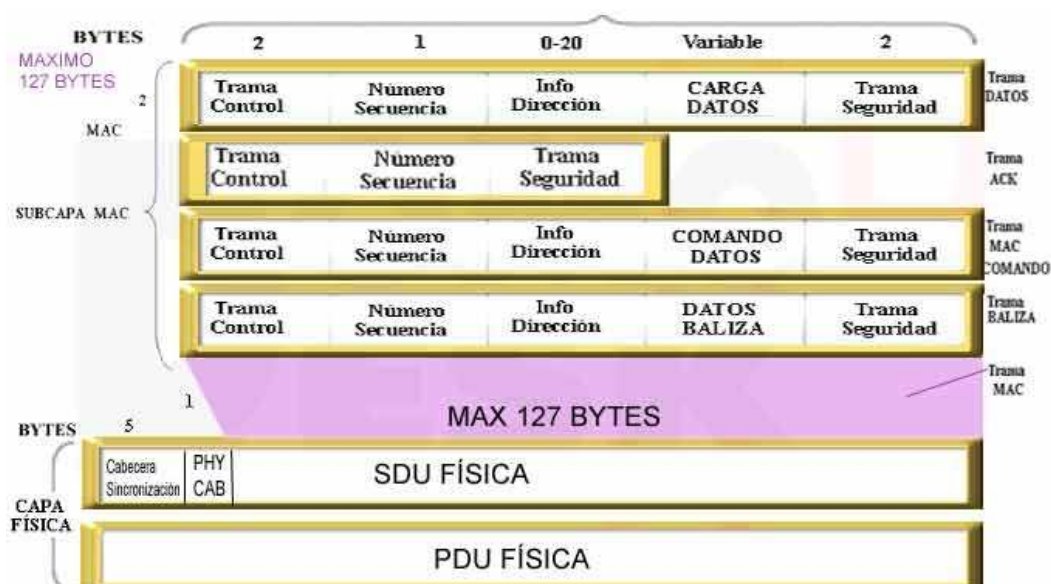


Figura 1.3: Formato de Tramas⁸

Debido a que en esta tecnología los dispositivos pasan la mayor parte del tiempo en estado pasivo, es necesario el uso de tramas que activen los módulos; este tipo de información reciben el nombre de ‘balizas’. La trama baliza literalmente despierta los dispositivos, los cuáles escuchan para luego volver a dormirse si no reciben nada más. Estas tramas son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados, sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

⁸ <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

Existe una trama denominada Trama General de Operaciones (*GOF, General Operations Frame*) la cual se encuentra entre la capa de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el subdireccionamiento (para cada nodo) y los modos de direccionamientos y la descripción de dispositivos, como el tipo de dispositivo, potencia, modos de 'dormir' y coordinadores de cada uno. Utilizando un modelo, la GOF especifica métodos, eventos, y formatos de datos que son utilizados para constituir comandos y las respuestas a los mismos.

Como muestra la siguiente figura, el típico dispositivo ZigBee incluye una parte con un circuito integrado de radio frecuencia (RF IC) con una pequeña parte de capa física (PHY) conectada al bajo consumo/pequeño voltaje del microcontrolador de 8-bits con periféricos, conectados a una aplicación de sensor o actuador. La pila de protocolos y aplicaciones está implementada en un chip de memoria flash.

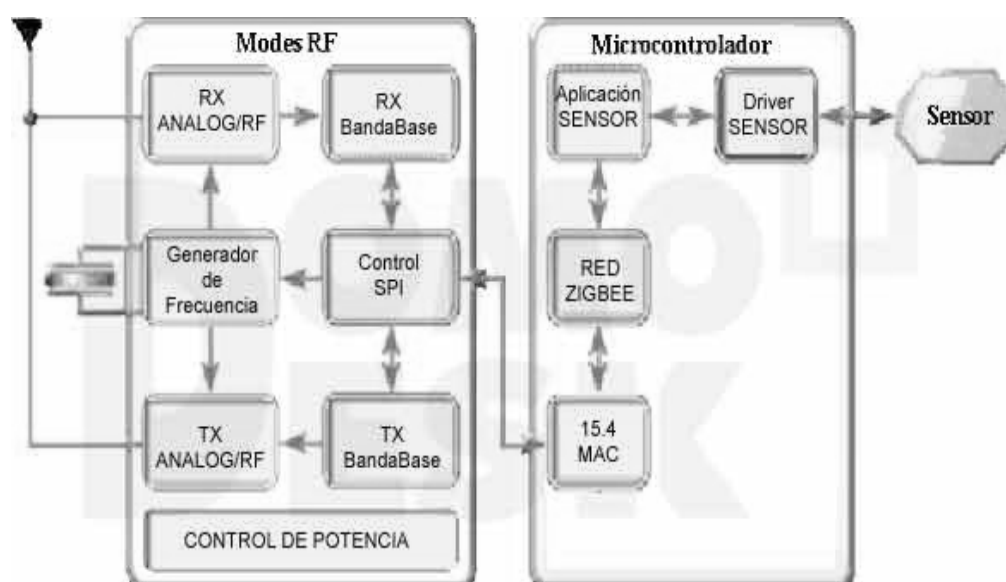


Figura 1.4: Esquema típico de un dispositivo ZigBee⁹

⁹ <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

1.4.5 TOPOLOGÍAS DE RED EN EL ESTÁNDAR ZIGBEE

La capa de red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol y rejilla, como se muestra en la figura 1.5.

En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD (*Full Function Device*) asume el rol de coordinador de red y es responsable de inicializar y mantener los dispositivos en la red. Todos los demás dispositivos ZigBee, conocidos con el nombre de dispositivos finales, 'hablan' directamente con el coordinador.

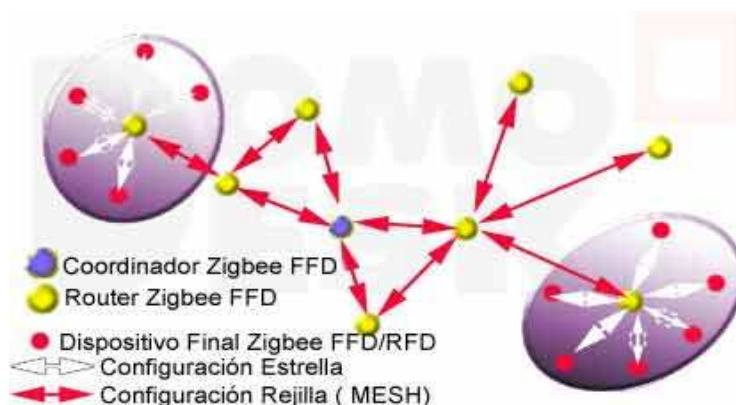


Figura 1.5: Modelos de red ZigBee¹⁰

En la topología punto a punto, dos nodos solo pueden comunicarse entre sí directamente siempre y cuando se encuentren dentro del radio de alcance mutuo. Esta topología permite a ZigBee crear otras más complejas, como redes en malla o rejilla, siempre y cuando sea posible el enrutamiento de los datos de un nodo a otro.

En la configuración de rejilla, el coordinador ZigBee es responsable de inicializar la red y de elegir los parámetros de la red, pero la red puede ser ampliada a través del uso de routers ZigBee. El algoritmo de encaminamiento utiliza un protocolo de pregunta-respuesta (*request-response*) para eliminar las rutas que no sean óptimas. La red final puede tener hasta 254 nodos (probablemente nunca sean necesarios

¹⁰ <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

tantos). Utilizando el direccionamiento local, se puede configurar una red de más de 65000 nodos.

1.4.6 DISPOSITIVOS DEL ESTÁNDAR

De forma puntual, ZigBee tiene tres tipos de dispositivos, los cuales son descritos a continuación:

El coordinador de red, que mantiene en todo momento el control del sistema. Es el más sofisticado de los tipos de dispositivos, requiere memoria y capacidad de computación.

El dispositivo de función completa (FFD), el mismo que es capaz de recibir mensajes del estándar 802.15.4. Éste puede funcionar como un coordinador de red. La memoria adicional y la capacidad de computar, lo hacen ideal para hacer las funciones de Router o para ser usado en dispositivos de red que actúen de interfaz con los usuarios.

El dispositivo de función reducida (RFD, *Reduced Function Device*), este dispositivo posee capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) para el bajo coste y simplicidad. En pocas palabras, son los sensores/actuadores de la red.

Tanto los dispositivos de función reducida (RFD), como los de función completa (FFD), están diseñados para propósitos distintos.

El RFD está pensado para aplicaciones muy sencillas, como interruptores de iluminación y sensores infrarrojos, que no necesitan enviar o recibir grandes cantidades de información. Solo puede comunicarse con dispositivos FFD. Todo esto permite que pueda ser implementado usando los mínimos recursos posibles, así como un ahorro energético visible. En cambio, los FFDs pueden actuar como

coordinadores o como dispositivos finales. Pueden comunicarse con otros FFDs y RFDs. Para ello necesitan más recursos, han de implementar la pila completa y precisan un consumo más exigente.

ZigBee aprovecha esta diferenciación. Además del coordinador de la red, es posible la existencia de routers, evidentemente han de ser FFD, que aumentan las posibles topologías de red, pudiendo crear no solo redes en estrella y punto a punto sino también rejillas (o mallas) y árboles.

Para poder tener una red, son necesarios como mínimo dos elementos. Un coordinador (FFD) que creará la red, le asignará el NWKID (*NetWork IDentifier*), y poseerá los mecanismos necesarios para la incorporación y eliminación de nodos en la red. Además es necesario, como mínimo, un nodo, que puede ser FFD o RFD, con el que comunicarse.

1.4.7 ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN UNA RED ZIGBEE

Las redes ZigBee han sido diseñadas para conservar la potencia en los nodos 'esclavos'. De esta forma se consigue el bajo consumo de potencia. La estrategia consiste en que, durante mucho tiempo, un dispositivo 'esclavo' está en modo inactivo, de tal forma que solo se despierta por una fracción de segundo para confirmar que está activo en la red de dispositivos de la que forma parte. Esta transición del modo dormido al modo despierto (modo en el que realmente transmite), dura unos 15ms, y la confirmación y conteo de cuantos 'esclavos' conforman la red dura alrededor de 30ms.

En las redes Zigbee, se pueden usar dos tipos de entornos o sistemas:

Con balizas

Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red. Permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. Las balizas que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red domótica, y describiendo la estructura de la trama. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos.

Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el "balizamiento" (envío de mensajes a todos los dispositivos o broadcast, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a dormir, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el "balizamiento", vuelve a "dormirse".

Sin balizas

Se usa el acceso múltiple al sistema Zigbee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado.

Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), duermen prácticamente todo el tiempo (el 99,999%). Para que se les tenga en

cuenta, estos elementos se despiertan de forma regular para anunciar que siguen en la red.

Cuando se produce un evento (es decir cuando el sistema detecta algo), el sensor despierta instantáneamente y transmite la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

1.4.8 COMUNICACIONES

Los datos que realmente se desean enviar empiezan en las capas superiores de la pila, y cada capa añade información propia, formando los PDU (*Protocol Data Unit*). Así pues, cuando se envía un conjunto de datos, éste contiene información de control de todas las capas de la pila. Cuando llega a su destino, cada capa extrae los datos que le concierne y, si es posible o necesario, pasa el resto a la capa superior. Así se produce una comunicación virtual entre capas de diferentes dispositivos.

Se debe analizar en primer lugar lo más básico: la comunicación a nivel físico. Los dispositivos inalámbricos envían los datos usando ondas electromagnéticas. En este caso se utiliza modulación por frecuencia FSK*, en el espectro de los 2.4 GHz. Se tienen disponibles 16 canales en los que transmitir (separados entre si 5 MHz). El acceso al canal se hace utilizando CSMA-CA que es un mecanismo empleado para evitar que dos dispositivos usen el mismo canal a la vez, produciendo una colisión. Así pues, cuando un dispositivo transmite, el resto espera. Todos los dispositivos que estén en el radio de alcance del transmisor podrán escuchar el mensaje, pero la mayoría de las veces solamente es necesario comunicarse con un solo dispositivo.

*FSK (Frequency-shift keying), es un tipo de modulación de frecuencia cuya señal modulante es un flujo de pulsos binarios que varía entre valores predeterminados. En los sistemas de modulación por salto de frecuencia, FSK, la señal moduladora hace variar la frecuencia de la portadora, de modo que la señal modulada resultante codifica la información asociándola a valores de frecuencia diferentes.

Para ello, es imprescindible alguna manera de identificar los dispositivos dentro de la red. Esto lo provee la capa superior o capa MAC. Es decir, cada dispositivo posee una dirección MAC de 64 bits, la cual debe ser única. Se puede usar esta misma en las comunicaciones dentro de la red, o se puede intercambiar con el coordinador de la PAN (*Personal Area Network*) por una más corta de 16 bits. Esta dirección es la que identifica el origen y el destino de una trama dentro de la red. Cada trama debe tener un tamaño máximo de 127 bytes, incluyendo las cabeceras MAC, que son como máximo de 25 bytes (sin utilizar seguridad).

Teniendo esto en cuenta, y considerando las dos topologías de red posibles a este nivel, a saber estrella y punto a punto, solo se pueden enviar datos a los nodos que estén dentro del radio de alcance. Es más, si el dispositivo es RFD, solo podrá enviar datos al coordinador; esto es muy limitado. Para solucionarlo, se debe confiar en la siguiente capa: la capa de red (NWK, *NetWork*).

Hasta ahora, todo lo anotado anteriormente corresponde a las especificaciones del estándar IEEE 802.15.4. La capa de red la aporta ZigBee. El principal cometido de esta capa es proveer de un nivel mayor de abstracción. Añade una nueva dirección lógica a los dispositivos (16 bits). Esto permite que se puedan enviar datos a otros nodos que no están dentro de la cobertura de transmisión. Para ello es necesario contar con unos dispositivos especiales que enrutan los datos a través de la red, llamados routers (que han de ser FFD). De esta forma es posible crear una red amplia en la que cada nodo puede comunicarse con todos los otros nodos de la misma red. Además se logra hacer redes usando topologías diferentes, como malla o árbol.

Para cumplir su cometido, la capa de red proporciona dos servicios, uno de datos (NLDE, *Network Layer Data Entity*) y otro de gestión (NLME, *Network Layer Management Entity*). El NLDE encapsula los datos de la capa superior añadiendo las cabeceras necesarias, y los pasa a la capa MAC, para ser enviados a su destino.

También se encarga de retransmitir aquellos NPDU's (*Network Protocol Data Unit*) que tienen como destino otro nodo de la red (*routing*).

El NLME coordina las tareas de mantenimiento de la red: crear una nueva red o también para asociarse/desasociarse a una existente, provee direccionamiento a los dispositivos, descubre nodos vecinos y rutas, controla la recepción de datos, etc.

Con las capas PHY-MAC-NWK es factible crear una red completa, permitiendo a todos los nodos, poder comunicarse con otros nodos, de la misma o de distinta red, resolviendo problemas como el acceso simultáneo al canal o el direccionamiento lógico de nodos. Aún así, para permitir más funcionalidad, se suma una capa a la pila que interactúe entre los objetos de la aplicación que desee usarla y la capa de red. Ésta es la subcapa de Aplicación (APS, *Application Support sub-layer*).

La capa APS es la encargada de enviar los PDUs de una aplicación entre dos o más dispositivos (llamada APSDE, *APS Data Entity*) y de descubrir y enlazar los dispositivos y mantener una base de datos de los objetos controlados, conocida como AIB (*APS Information Base*). Dos dispositivos se enlazan en la AIB en función de los servicios que ofrecen y de sus necesidades. Esto es útil para el direccionamiento indirecto; así, es posible enviar un paquete a un dispositivo en función de la dirección de origen, ya que están vinculados. Esta tabla sólo puede estar presente en el dispositivo coordinador o en uno designado a tal efecto.

Cuando la comunicación es directa, se deben especificar las direcciones de origen y destino del paquete. En cambio, en las comunicaciones indirectas, cuyo origen tenga una entrada en la tabla de enlazado, el emisor sólo necesita especificar el origen y enviar los datos al coordinador, que se encargará de hacerlos llegar al destino, que pueden ser varios dispositivos, en función de la AIB.

La capa MAC ofrece un identificador único de 64 bits para el direccionamiento, y la capa de red otro de 16 bits. Ello implica que es posible tener una gran cantidad de

nodos en una misma red. Pero, si únicamente es factible la comunicación con aquellos que se encuentran dentro del radio de alcance, la red está muy limitada.

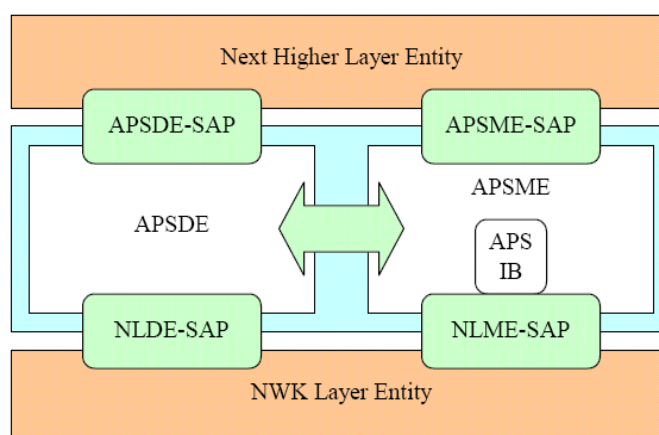


Figura 1.6: Estructura de la Subcapa de Aplicación (APS)¹¹

1.4.9 ENCAMINAMIENTO (ROUTING) EN EL ESTÁNDAR ZIGBEE

Para ello, existen las técnicas de encaminamiento o enrutado. Estas técnicas sirven para crear dispositivos que reenvían aquellos mensajes que no van dirigidos a sí mismos. Así pues, cualquier nodo de la red puede comunicarse con cualquier otro nodo.

Los routers son dispositivos de propósito específico que deben poseer toda la funcionalidad de un dispositivo FFD. No pueden entrar en modo 'ahorro de energía' como los RFD, ya que deben ser capaces de retransmitir los mensajes lo antes posible. Por la misma razón, han de escuchar el tráfico constantemente.

Estos dispositivos deben mantener tablas con las rutas descubiertas y funcionalidad para participar o iniciar el descubrimiento de nuevas o mejores rutas. También han de ser capaces de detectar y corregir errores. Las tablas contienen información sobre el coste de cada ruta. El coste determina cuál es la mejor en un momento dado. La

¹¹ ZigBee Standards Organization

función que elige el coste de una ruta se determina a la hora de crear la implementación de la pila. Se puede basar en la latencia del recorrido de los mensajes, pero es recomendable que se tenga en consideración la carga media de la batería de los dispositivos que participan en la ruta.

En las tablas de enrutado pueden aparecer direcciones de cualquier dispositivo, pero sólo los routers pueden participar en los métodos de enrutado. Si un mensaje llega a un dispositivo FFD que no es un router, comprueba la dirección de destino, y sólo lo reenvía si pertenece a alguno de sus hijos (es decir, pertenece a alguno de los RFD que están asociados a él). Si es para él, lo pasa a la capa superior, en otro caso se descarta.

1.4.10 PERFILES DE ZIGBEE

Ya que ZigBee está pensado para la comunicación entre diversos dispositivos, posiblemente de fabricantes diferentes, es necesario un mecanismo para hacer compatibles los mensajes, comandos, etc. que pueden enviarse unos a otros. Para ello existen los perfiles de ZigBee.

Los perfiles son la clave para la comunicación entre dispositivos ZigBee. Definen los métodos de comunicación, el tipo de mensajes a utilizar, los comandos disponibles y las respuestas, etc. que permiten a dispositivos separados comunicarse para crear una aplicación distribuida. Casi todo tipo de operaciones deben estar definidas en un perfil. Por ejemplo, las tareas típicas de unirse a una red o descubrir dispositivos y servicios están soportadas por el 'perfil de dispositivos' ZigBee.

Cada perfil debe tener un identificador y, obviamente, éste es único. Por ello, la *ZigBee Alliance* se reserva el derecho de asignar identificadores a los diversos perfiles. Si se requiere la creación de un nuevo perfil, es necesario realizar la petición al organismo antes mencionado.

Cada perfil contiene las descripciones de los dispositivos que incluye, los identificadores de cada cluster (y en su caso, sus atributos) y los tipos de servicio ofrecidos. Las descripciones de los dispositivos están definidas por un valor de 16 bits (es decir, hay 65536 posibles descripciones). Los identificadores de cluster son de 8 bits (existen 256 posibles clusters). A su vez, si el tipo de servicio ofrecido es orientado a pares clave-valor*, cada cluster puede contener atributos por valor de 16 bits (o 65536 atributos por cluster). Existen muchas posibilidades dentro de un mismo perfil, y es labor del diseñador del perfil adecuar las necesidades para crear descriptores sencillos y permitir un proceso eficiente de mensajes.

Ya que cada dispositivo puede soportar más de un perfil, y cada perfil puede poseer varios clusters y múltiples descripciones, es necesaria una jerarquía de direccionamiento para acceder a los elementos del dispositivo. En primer lugar, se hace referencia al dispositivo entero usando sus direcciones IEEE y NWK.

Por otro lado, se definen los *Endpoints*, que son campos de 8 bits que apuntan a cada una de las diferentes aplicaciones que están soportadas por un dispositivo. Por ejemplo, el 0x00 hace referencia al endpoint del perfil de dispositivo, y el 0xFF hace referencia a todos los *endpoints* activos (*endpoint broadcasting*). Ya que los *endpoints* 0xF1-0xFE están reservados, es posible tener un total de 240 aplicaciones en los *endpoints* 0x01-0xF0.

Una vez establecidos los *endpoints* para las aplicaciones deben definirse los descriptores. Como mínimo, el descriptor 'simple' ha de estar presente y disponible para las tareas de descubrimiento de servicio. Existen otros tipos de descriptores que contienen información acerca de la aplicación, del servicio, etc. Pueden contener información sobre el endpoint al que hacen referencia, el perfil o la versión, pero también sobre el tipo de alimentación del dispositivo, el nivel de la batería, el

* Es decir, se asigna una clave al valor de cada dispositivo del perfil.

fabricante, número de serie y hasta un icono o la dirección de éste para representar el nodo en PCs, PDAs etc.

1.5 EL ESTÁNDAR ZigBee Y LA DOMOTICA

Una vez analizado el estándar ZigBee, es evidente que la principal conclusión que se puede obtener es que el mismo fue creado para aplicaciones que no requieren de una tasa de comunicación alta sino que utilizan el ancho de banda del canal de forma limitada y en algunos casos, solo en ciertos momentos, pues los dispositivos de la red permanecen inactivos la mayor parte del tiempo.

En la tabla 1.1 se encuentran representadas de forma comparativa tres de las tecnologías inalámbricas más conocidas (incluyendo a ZigBee) y ya en proceso de expansión.

Estándar	Tasa de Bits	Consumo de potencia	Ventajas	Aplicaciones	Alcance
Wi-Fi	Hasta 54Mbps	400mA transmitiendo, 20mA en reposo	Gran tasa de bit	Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros	De 20 a 200 metros
Bluetooth	1 Mbps	40mA transmitiendo, 0.2mA en reposo	Interoperatividad, sustituto del cable	Wireless USB, móviles, informática casera	10 metros en indoor
ZigBee	250 kbps	30mA transmitiendo, 3mA en reposo	Batería de larga duración, bajo costo	Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores, juguetería	30 metros en indoor

Tabla 1.1: Comparativa de tecnologías Wireless¹²

Las cámaras Wireless (por citar un dispositivo), que se destacan por el control remoto, son un ejemplo de cómo se pueden aplicar estas tecnologías para la

¹² <http://www.domodesk.com/content.aspx?co=97&t=21&c=47>

domótica y el control de áreas. Sin embargo, aunque sean buenas opciones, las dos primeras tecnologías de la tabla no satisfacen los requerimientos de la Domótica, pues su arquitectura no pensó en ello cuando fueron creadas.

Si se toma en cuenta la clase de comunicaciones que se producen en una red de sensores o actuadores de un Sistema Domótico, se determina que muchas de estas comunicaciones se realizan con pequeños paquetes de datos: para enviar información de un sensor (por Ej., activado = detecta humo), o simplemente para controlar el estado de los sensores. Además de ser paquetes pequeños de información, la gran mayoría de los dispositivos pueden estar 'dormidos' hasta que envíen la información (porque no ocurre nada) y activarse al detectar algo.

Las principales características de estos sensores son:

- Un consumo de potencia extremadamente bajo

- La posibilidad de estar 'dormidos' durante grandes periodos de tiempo

- Su sencillez

- Su bajo costo

Tomando en cuenta las presentes circunstancias de análisis, ZigBee resulta una tecnología más que adecuada para ser utilizada en un Sistema Domótico, pues facilita la comunicación entre sensores o actuadores y cumple con las velocidades de comunicación que necesitan este tipo de dispositivos. Es importante anotar que uno de los propósitos básicos de la *ZigBee Alliance* al momento de crear esta tecnología, fue el proporcionar un estándar que sirva para la automatización y control de Sistemas Domóticos.

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA RED DE DOMÓTICA Y SEGURIDAD PARA UN HOGAR

2.1 ASPECTOS PREVIOS AL DISEÑO

Dentro del diseño de una red de comunicaciones es importante el iniciar evaluando ciertos aspectos que podrían influir en los requerimientos para la realización del mismo.

Un factor determinante es el conocer el material del cual está construida la casa que se convertirá en el Hogar Domótico; esta apreciación debe ser hecha antes de comenzar el diseño pues, al ser una red inalámbrica, es fundamental considerar si las señales emitidas llegarán a su destino o no penetrarán las paredes de la vivienda. Por este motivo es fundamental mencionar que la casa es de cemento armado, material que si puede ser penetrado por la señales de RF que emiten los módulos ZigBee.

Otro aspecto notorio es el hecho de conocer si los elementos que se van a utilizar en el control del Hogar son de fácil obtención, pues caso contrario el diseño podría estancarse en un punto en el cual resulte imposible utilizar los medios necesarios para desarrollar con éxito el Sistema Domótico y de Seguridad.

Todos estos aspectos son relevantes a la hora de comenzar este capítulo, además de aquellos que puedan presentarse más adelante, dentro de la evolución del mismo.

2.2 DESCRIPCIÓN DEL HOGAR DOMÓTICO

El término ‘Hogar Domótico’ se refiere a la vivienda unifamiliar en la cual se basará el diseño de nuestra red y hacia ésta se centran todas las consideraciones necesarias para la configuración del Sistema Domótico.

2.2.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL HOGAR DOMÓTICO

La vivienda para la cuál se diseña ésta Red se encuentra situada en el Valle de los Chillos, en la Parroquia de Alangasí. La entrada hacia la Urbanización “El Alamo” (en donde está ubicada la casa) dista 1Km. del Triángulo que existe en la Av. Manuel Córdova Galarza, sitio en el cuál se debe tomar la Av. Ilaló para luego curvar a la derecha en la Avenida De Las Alondras a 1.400 metros del triángulo. Avanzando por esta calle 200 mts. se llega a la Urbanización antes mencionada.

En la siguiente figura se detalla de forma clara la ubicación exacta del sitio.

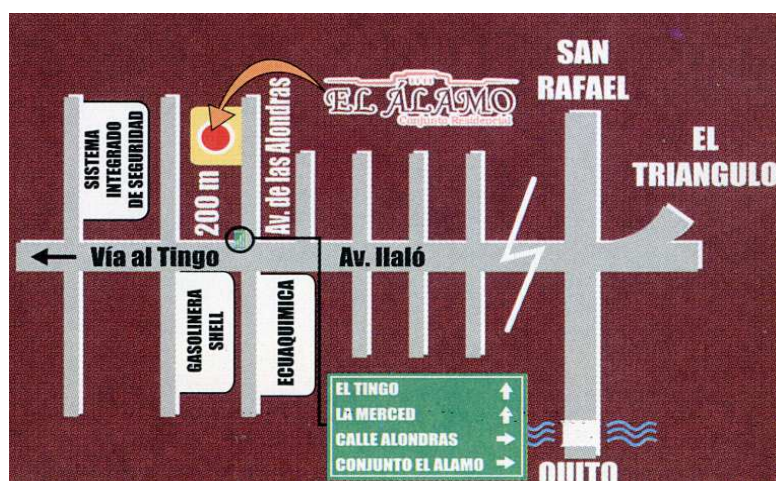


Figura 2.1: Croquis de ubicación del Hogar Domótico

La casa tiene 114 mts.² de construcción distribuidos en dos plantas: la planta baja tiene 66 mts.² útiles y la planta alta 48 mts.²; además posee un patio y una terraza

que forman parte del inmueble. En lo que respecta a los dos pisos de la vivienda, éstos constan de los siguientes sectores:

- En la *planta baja*, se encuentra la cocina, sala-comedor, una pequeña bodega, un medio baño y en la parte trasera el patio de 6 x 3 mts². Asimismo en la entrada de la vivienda se ubica la acometida principal, que proporciona un voltaje de 110V de corriente alterna.

PLANTA BAJA



Figura 2.2: Planta Baja del inmueble

- En la *planta alta*, se encuentran las habitaciones que en total son tres: un dormitorio master con un baño completo y dos dormitorios más pequeños. También se localiza un baño completo y un hall pequeño.

PLANTA ALTA

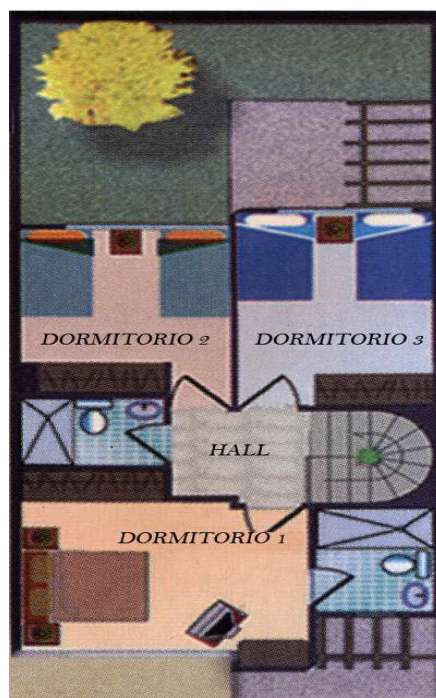


Figura 2.3: Planta Alta del Inmueble

- Finalmente en la parte superior de la vivienda está la terraza que cubre la totalidad de la superficie de construcción.

Debido a que es necesario describir en detalle cada una de las plantas, es importante estudiar detenidamente cada uno de los sectores antes mencionados, con el fin de mencionar los elementos que podrán ser susceptibles de control y por tanto incluidos en el diseño.

2.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA BAJA

La planta baja de esta propiedad tiene una extensión 6 x 11 metros incluyendo el patio. Se encuentra dividida, como se mencionó anteriormente, en una cocina, una sala-comedor, una pequeña bodega, un medio baño y el patio. Además es

importante anotar que en cada sector existen tomacorrientes y lámparas incandescentes que serán parte del diseño.

En la figura 2.4 se observa la distribución tanto física como eléctrica de este piso de acuerdo a lo descrito. Basándose en este plano se crea la tabla 2.1 en la que se incluyen: tomas eléctricas, lámparas incandescentes, persianas (de acuerdo a las ventanas) que serán controlados por la red; así como algunos aspectos importantes que podrían resultar útiles para los fines pertinentes.

ESPACIO	DIMENSIÓN	LÁMPARAS INCANDESCENTES	TOMAS ELÉCTRICAS	VENTANAS	OTROS ELEMENTOS
JARDÍN	6 x 3 mts.	1	1	-	Un calefón a gas
SALA-COMEDOR	8 x 3,5 mts.	2	2	2	1 entrada TVCable y 1 de teléfono
COCINA	4 x 2,5 mts.	1	5	1	-
MEDIO BAÑO	1,70 x 2 mts.	1	1	1 pequeña	-
BODEGA	1 x 2 mts.	1	-	-	-
ENTRADA PRINCIPAL	-	1	-	-	Acometida principal

Tabla 2.1: Descripción de la Planta Baja

Esta tabla servirá más adelante para determinar los costos de la red de acuerdo al número de dispositivos susceptibles de control en cada sector de la planta.

2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ALTA

La planta alta de la vivienda tiene una extensión un poco menor a la de la planta baja, pues en este caso no se toma en cuenta el espacio del jardín, ya que no existe construcción en este espacio en la segunda planta; por tanto la extensión total de este piso es de 8 x 6 mts.

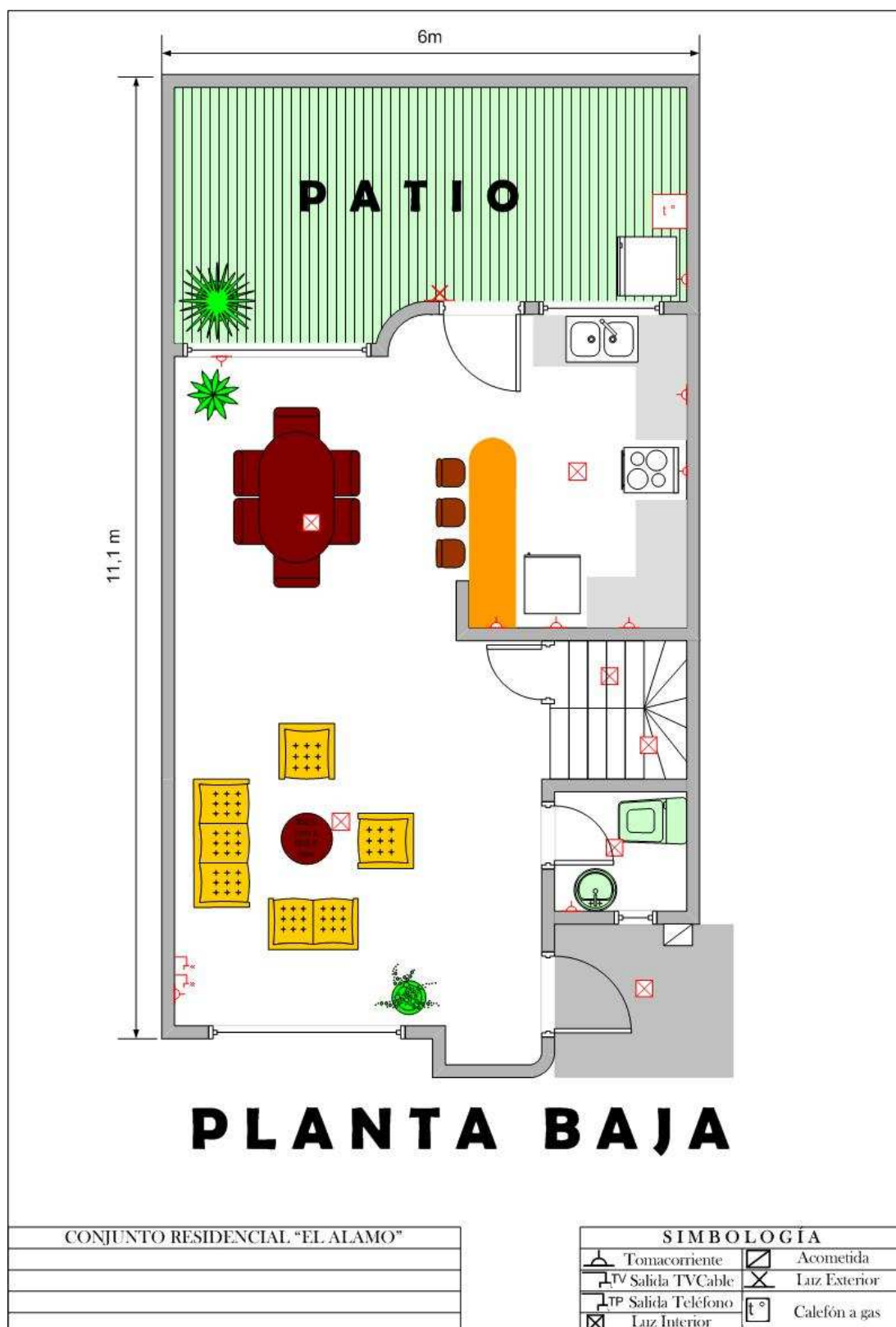


Figura 2.4: Distribución física y eléctrica de la Planta Baja

En lo que respecta a la distribución física, se encuentran las siguientes habitaciones: Un dormitorio master, dos dormitorios más pequeños, dos baños completos (uno dentro del dormitorio master y el otro compartido para las otras dos alcobas) y un hall, así como la parte de las gradas que también debe ser tomada en cuenta.

Finalmente es importante anotar que la parte de la terraza también formará parte del diseño en ciertos aspectos, por lo cual se la incluye en la tabla 2.2 de descripción de elementos que se especifica más adelante.

Para entender de forma clara cómo se encuentra distribuido el espacio en este piso, se ha incluido la figura 2.5 en donde se observa con detalle la construcción de esta planta:

Con respecto a esta figura y analizando la misma de manera similar a lo realizado en la descripción de la planta baja, se ha elaborado una tabla en la cual consten aquellos elementos útiles para el presente estudio. De donde se obtienen los siguientes datos:

ESPACIO	DIMENSIÓN	LÁMPARAS INCANDESCENTES	TOMAS ELÉCTRICAS	VENTANAS	OTROS ELEMENTOS
HALL	2 x 1,80 mts.	1	1	-	-
DORMITORIO MASTER	2,87 x 4,02 mts.	1	3	1	1 entrada TVCable y 1 de teléfono
DORMITORIO 2	3,44 x 3,05 mts.	1	2	1	1 entrada TVCable y 1 de teléfono
DORMITORIO 3	2,70 x 3,82 mts.	1	2	1	1 entrada TVCable y 1 de teléfono
BAÑO MASTER	1,70 x 1,07 mts.	1	1	-	-
BAÑO COMPARTIDO	1,26 x 2,03 mts.	1	1	1 Pequeña	-
ESCALERAS	-	1	1	-	-
TERRAZA	8 x 11 mts.	1	1	-	-

Tabla 2.2: Descripción de la Planta Alta



Figura 2.5: Distribución física y eléctrica de la Planta Alta

Esta tabla resulta útil para conocer que elementos formarán parte de nuestro estudio y la forma como controlarlos.

2.3 ESTUDIO Y DISEÑO DE LA RED PARA EL HOGAR DOMÓTICO

2.3.1 ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE LA RED

2.3.1.1 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. Ahora, 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 físico 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 van a utilizar más adelante en el diseño del dispositivo de comunicación; estos elementos soportan ciertas topologías, las cuales son:

- Punto a punto
- Punto a multipunto
- Igual a igual
- Malla

De igual manera, analizando la forma como van a ubicarse los diferentes elementos de control del sistema domótico (arquitectura) se tienen varias arquitecturas, cuyo parámetro principal es el punto en donde reside la inteligencia del sistema; sin embargo aquella de tipo *centralizada* proporciona el medio de control adecuado, pues en ella un controlador central es quién recibe información de los sensores para ser procesada y luego, generar órdenes oportunas dirigidas hacia los actuadores.

Para implementar este tipo de arquitectura es necesario un computador que cumpla con las características necesarias para cumplir la función de punto central y cerebro de la red; estas condiciones serán analizadas en lo posterior. Una vez determinada la arquitectura a implementar en nuestro Sistema, se escoge la topología de red indicada para estos fines y que sea soportada por el equipo utilizado.

Tomando en consideración estos parámetros, se tiene una topología Punto a Multipunto, pues el Ordenador Central comandará las acciones de los actuadores y procesará la información de los sensores, por lo cual deberá estar conectada a cada par de ellos (sensor - actuador).

La figura 2.6 explica mejor la manera como se conectan los equipos, pues demuestra la interacción que existe en una topología punto – multipunto:

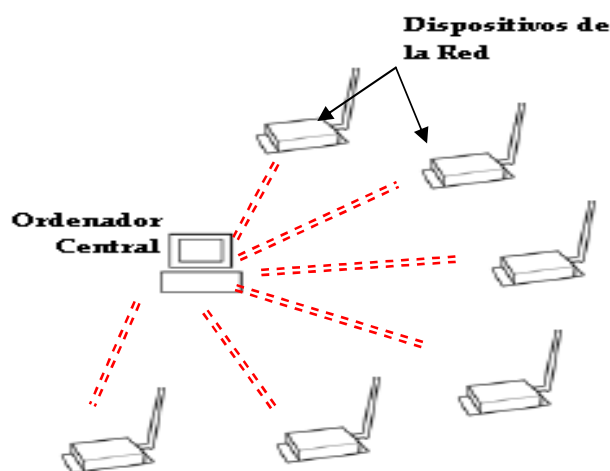


Figura 2.6: Conexión Punto – Multipunto entre diferentes módulos ZigBee y un Ordenador Central

2.3.1.2 Velocidad de Transmisión

Como se explicó en el capítulo anterior, 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 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, éste posibilita la máxima velocidad permitida para el estándar, la cual es de 250 Kbps.

2.3.2 CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS QUE FORMAN PARTE DE LA RED

2.3.2.1 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.

Este dispositivo será analizado y desarrollado en el siguiente capítulo, estudiando de manera detallada la configuración y construcción del mismo; además se debe establecer el programa adecuado en el cual se deberá crear la aplicación que sirva de interfaz y que pueda ser usada por el usuario para manejar el sistema.

La comunicación entre el dispositivo de comunicación ZigBee y el computador se realizará de manera serial a través del puerto de comunicación serial que debe poseer la tarjeta madre o *mainboard* del PC, por lo cual es importante tomar en cuenta este detalle el momento de escoger el equipo adecuado para la red.

El costo total del centralizador (incluido el dispositivo de comunicación) dependerá de las condiciones expresas que el usuario decida tener en el mismo, pues este computador puede servir para otras tareas diferentes a las de controlar al Sistema Domótico; por lo cual será la persona dueña del Sistema la que al final determine otras aplicaciones que se ajusten a sus necesidades, sin embargo, al final del presente capítulo se analiza de forma básica los posibles costos e inversión al implementar este tipo de red, esto con el fin de orientar de forma básica a las personas en cuanto a la relación costo – beneficio que implicaría el implementar una Sistema Domótico y de Seguridad en un hogar.

2.3.2.2 Lámparas Incandescentes

Para controlar las lámparas incandescentes se empleará el diseño de 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.

De esta forma el usuario será capaz de enlazarse con el módulo remoto desde el computador a través de un dispositivo que permita la comunicación utilizando el estándar ZigBee y que será diseñado de forma detallada en el siguiente capítulo.

En la siguiente figura se presenta un esquema de diseño de este elemento y la manera cómo debe ser conectado tanto a la lámpara como a la parte que envíe la señal de activación (+5V).

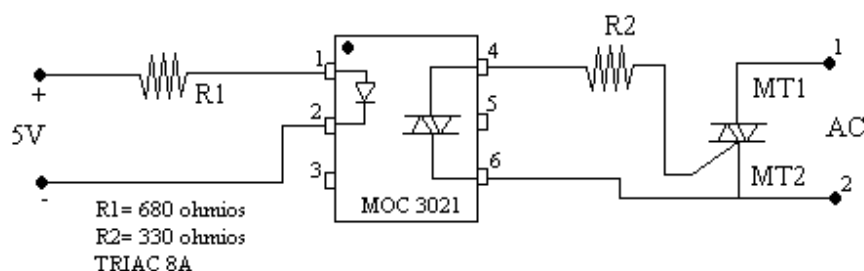


Figura 2.7: Esquema del SSR (*Solid State Relay*)

Este dispositivo se conectará de manera directa al SSR, el cual será a su vez conectados a una línea de alimentación de la lámpara; en el momento en que el usuario haga uso del Sistema y de la orden de encender una determinada lámpara, el centralizador transmitirá esa orden al dispositivo requerido y este mandará un pulso de voltaje TTL que será recibido por el optoacoplador del SSR, el cual transmite esa señal al gate de un triac de 8 Amperios (corriente suficiente para la carga que representa el foco) el cual se dispara y se cierra, permitiendo el flujo de electricidad en la línea a la cual sea conectado y que se encontrará a su vez conectada a una lámpara incandescente.

De esta forma es posible controlar cada una de las lámparas incandescentes de la red, pues éstas podrán ser identificadas de acuerdo a la dirección que se le asigne a cada uno de los elementos ZigBee que se encontrarán conectados a dichos elementos.

Cabe resaltar que en este punto se puede incluir un *dimmer* digital que permita regular la intensidad de la luz, esto con el fin de mejorar las condiciones de uso disponibles para los usuarios, pues éstos serían capaces de determinar si quieren luces tenues o fuertes, simplemente regulando la intensidad de la misma desde el centralizador, el cuál enviará todas estas peticiones hasta la lámpara indicada y establecerá la cantidad de corriente que debe alimentar al foco para que éste brille más o menos.

2.3.2.3 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.

Es importante anotar que se debe tomar en cuenta cuánta corriente consume el aparato que a va ser conectado a la toma eléctrica, pues de esto dependerá el valor de corriente del triac que se maneje, ya que éste puede quemarse si es conectado algún dispositivo que consuma corriente de manera desmesurada.

Si la demanda de energía eléctrica llegara, en un momento determinado, a ser superior a la potencia contratada, el Sistema Domótico podría desconectar una o varias líneas o circuitos eléctricos (en los que se encuentran conectados equipos de

uso no prioritario y de significativo consumo eléctrico), con la finalidad de evitar que se interrumpa el suministro a la vivienda por actuación de las protecciones, que en concreto, se darían a través de un ICPM (interruptor de control de potencia y magnetotérmico).

Aparte del beneficio descrito en el párrafo anterior, esta aplicación permitiría reducir la potencia contratada por el usuario, disminuyendo, a su vez, el término fijo de potencia y el costo mensual de la factura eléctrica; finalmente, en casos mayoritarios, el proveedor de energía tendría la posibilidad de evitar los principales picos en las redes de suministro.

Sin embargo, es aconsejable tener siempre en cuenta que el hecho de conectar y desconectar de esta forma las tomas, puede causar alguna avería en los electrodomésticos que se conecten a las mismas, ya que éstos pueden detener su marcha de forma abrupta, tales como las lavadoras, por lo cual se debería implementar el uso de *brakers* o *switches* que permitan un mejor control de estos aparatos.

2.3.2.4 Persianas

Cuando se habla de persianas, el sistema de control es más complejo que el de una toma eléctrica o una luz, debido a que en este caso es factible el uso de motores de paso de corriente continua que ayuden a abrir o cerrar de forma precisa las mismas, logrando por ejemplo, abrirlas solo la mitad, de acuerdo a las necesidades del usuario o a la presencia o no del sol.

Es posible también controlar las persiana 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 temas de 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° .

Estos motores tienen la habilidad de quedarse enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

El motor paso a paso está constituido esencialmente por dos partes: a) Una fija llamada "estator", construida a base de cavidades en las que van depositadas las bobinas que excitadas convenientemente formarán los polos norte-sur de forma que se cree un campo magnético giratorio. b) Una móvil, llamada "rotor" construida mediante un imán permanente, con el mismo número de pares de polos, que el contenido en una sección de la bobina del estator; este conjunto va montado sobre un eje soportado por dos cojinetes que le permiten girar libremente.



Figura 2.8: Rotor y Estator de 4 bobinas de un motor paso a paso¹³

¹³ <http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>

Para realizar el control de los motores paso a paso, es necesario generar una secuencia determinada de pulsos. Además es necesario que estos pulsos sean capaces de entregar la corriente necesaria para que las bobinas del motor se exciten, por lo general, el diagrama de bloques de un sistema con motores paso a paso es el que se muestra en la siguiente figura.

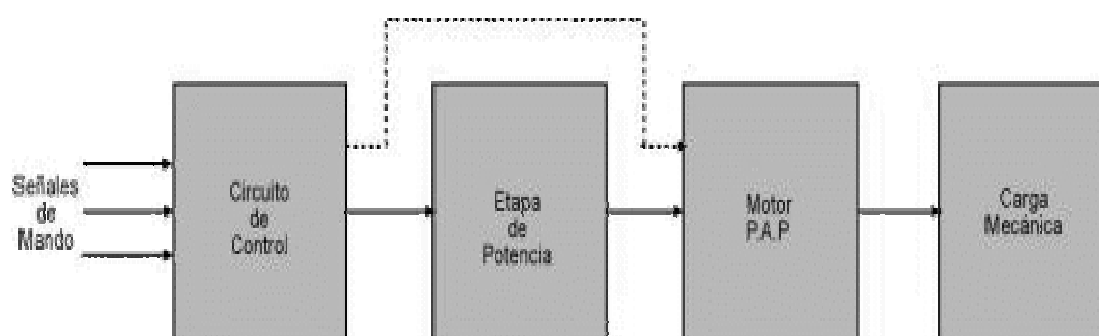


Figura 2.9: Diagrama de bloques de un sistema con motor paso a paso¹⁴

Existen dos formas básicas de hacer funcionar los motores paso a paso atendiendo al avance del rotor bajo cada impulso de excitación:

Paso completo (full step): El rotor avanza un paso completo por cada pulso de excitación y para ello su secuencia ha de ser la correspondiente a la expuesta anteriormente.

Medio paso (Half step): Con este modo de funcionamiento el rotor avanza medio paso por cada pulso de excitación, presentando como principal ventaja una mayor resolución de paso, ya que disminuye el avance angular (la mitad que en el modo de paso completo). Para conseguir tal cometido, el modo de excitación consiste en hacerlo alternativamente sobre dos bobinas y sobre una sola de ellas.

¹⁴ <http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>

La forma de conseguir estas secuencias puede ser a través de un circuito lógico secuencial, con circuitos especializados o con un microcontrolador, por lo cual es básico el uso de un elemento de este tipo en el actuador, el cual será conectado directamente al motor paso a paso que controlará previamente las persianas.

Además, como el microcontrolador no es capaz de generar la corriente suficiente para excitar las bobinas del motor paso a paso se puede utilizar un integrado capaz de amplificar la corriente entregada por el microprocesador, tal como el ULN2003 o el L293, el cual podría conectarse tal cómo indica la figura 2.10 (ejemplo con un PIC 16F84 y un L293).

2.3.2.5 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.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para activar la válvula.

Existen varios tipos de electroválvulas. En algunas electroválvulas el solenoide actúa directamente sobre la válvula proporcionando toda la energía necesaria para su movimiento. Es común que la válvula se mantenga cerrada por la acción de un muelle o resorte y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del resorte. Esto

quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo potencia mientras la válvula deba estar abierta.

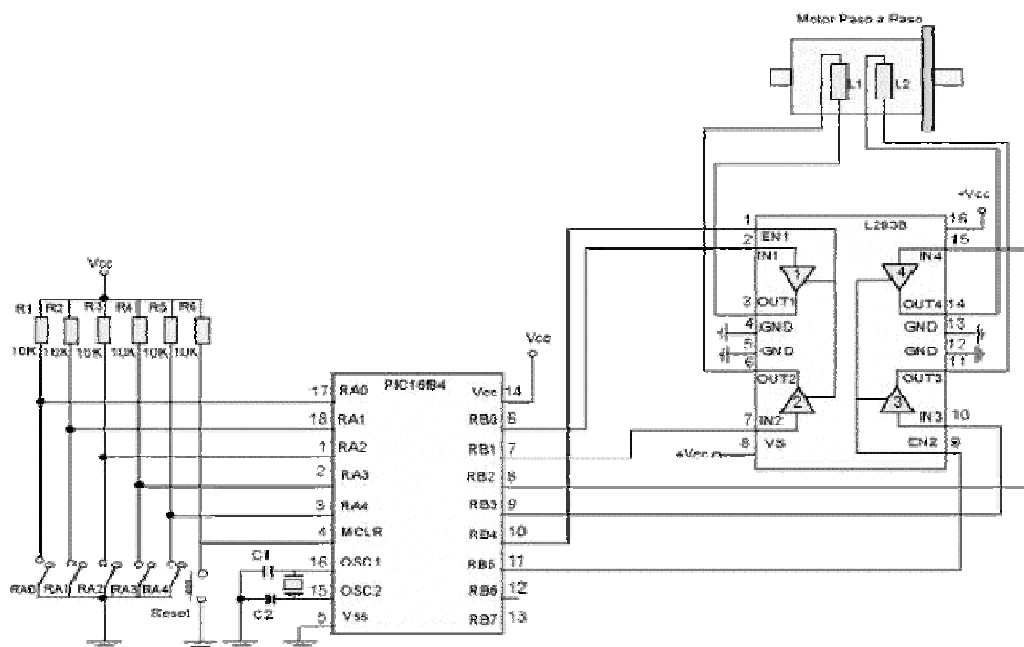


Figura 2.10: Conexión del motor paso a paso al PIC16F84 y al circuito L293¹⁵

También es posible construir electroválvulas biestables que usan un solenoide para abrir la válvula y otro para cerrar o bien un solo solenoide que abre con un impulso y cierra con el siguiente.

Las electroválvulas pueden ser cerradas en reposo o normalmente cerradas lo cual quiere decir que cuando falla la alimentación eléctrica quedan cerradas o bien pueden ser del tipo abiertas en reposo o normalmente abiertas que quedan abiertas cuando no hay alimentación.

Hay electroválvulas que en lugar de abrir y cerrar lo que hacen es conmutar la entrada entre dos salidas. Este tipo de electroválvulas a menudo se usan en los sistemas de calefacción por zonas lo que permite calentar varias zonas de forma independiente utilizando una sola bomba de circulación.

¹⁵ <http://www.monografias.com/trabajos17/motor-paso-a-paso/motor-paso-a-paso.shtml>

En otro tipo de electroválvula el solenoide no controla la válvula directamente sino que el solenoide controla una válvula piloto secundaria y la energía para la actuación de la válvula principal la suministra la presión del propio fluido.

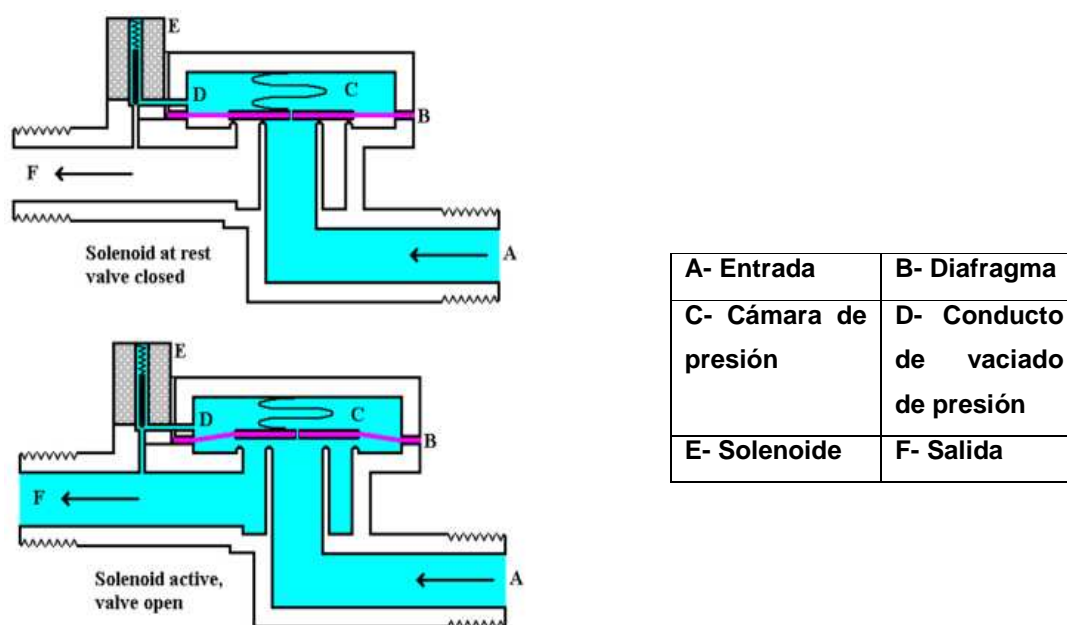


Figura 2.11: Funcionamiento de una electroválvula¹⁶

En la figura anterior observamos como la válvula permanece cerrada mientras el solenoide E permanece inactivo, pero una vez que le llega corriente a esta parte de la electroválvula, el muelle o resorte se levanta, permitiendo que el diafragma se expanda y pueda circular el agua.

Para el control del calefón de gas es factible implementar una electroválvula que permita o no el paso de gas desde el tanque hacia el calefón, esto sobre todo para ser utilizado en caso de fugas o cuando se vaya a dejar de utilizar el calefón.

Generalmente la bobina que crea el campo electromagnético para que el solenoide se active y deje la cavidad de la válvula abierta funciona con 110 VAC, por lo cual este mando podrá ser activado desde el centralizador, el cual enviará la señal que

¹⁶ <http://es.wikipedia.org/wiki/Electrov%C3%A1lvula>

será recolectada por el dispositivo acoplado a la electroválvula, el cual activará el voltaje que excite a la bobina.

2.3.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD¹⁷

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.

Los sensores (o detectores) vienen en una variedad de formas y tamaños, y están diseñados para detectar sonidos, movimiento del aire, calor corporal y otras condiciones que indican la presencia de un intruso. Un anunciador le permite saber que la alarma ha sido activada. Los anunciadores más comunes son las sirenas, las campanas y los indicadores luminosos. Cuando un sensor correctamente ubicado detecta la presencia de un intruso, envía una señal a la unidad de control y luego esta unidad de control responde según haya sido programada, lo cual normalmente significa activar los anunciadores y otros componentes que pueden formar parte del sistema.

El sistema de seguridad para este Hogar Domótico será diseñado utilizando sensores de movimiento, los cuales son dispositivos de protección espacial, este tipo de dispositivos cubren áreas abiertas como habitaciones y pasillos y pueden detectar un intruso que haya logrado burlar un dispositivo perimetral (los cuales se colocan en las afueras del sitio a proteger). Este tipo de sensores se encuentran entre los más usados tanto en edificios como en residencias, locales comerciales, etc. Ya que permiten controlar la iluminación, climatización y naturalmente el sistema de seguridad del sitio donde sean empleados.

¹⁷ <http://www.aaaremotos.com/>

Este tipo de sensores no deben activarse por sí solos con señales falsas, éstas pueden ser variaciones en la luminosidad natural, presencia de animales o incluso cambios bruscos de temperatura (de acuerdo al parámetro que detecte el sensor).

En cuanto al presente sistema, 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.

Cuando un intruso ingresa a una zona protegida, el detector PIR nota el rápido cambio de la radiación infrarroja. Si está correctamente ubicado e instalado, el sensor ignora todos los cambios normales y graduales de los niveles de energía infrarroja provocados por la luz solar y los sistemas de calefacción.

Para evitar estos inconvenientes, debemos instalar el PIR siguiendo las instrucciones y tomando las precauciones que se citan a continuación:

- Se selecciona primero una ubicación desde la cuál sea probable que un eventual ladrón pueda cruzar el campo de detección del PIR, si se llegará a producir un asalto.
- Seleccionar la altura adecuada de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipo de Lente	Altura recomendada de instalación
Standard	2.2 mts.
Long Range	2 mts.
Cortina	1 mt.

Tabla 2.3 Altura de instalación del PIR de acuerdo al tipo de lente

- Evitar ubicar al detector en contacto directo con radiadores, conductos de calefacción o refrigeración, o acondicionadores de aire.
- No ubicar al PIR frente a ventanas, expuesto a luz solar directa o corrientes de aire.
- No ubicar al PIR frente a objetos luminosos.

Típicamente los detectores de infrarrojo pasivo pueden monitorear un área de 20 pies por 30 pies, o bien un pasillo angosto de alrededor de 50 pies de longitud, dependiendo de cómo se ubique el sensor. No penetra muros ni otros objetos macizos, de manera que los sensores PIR son más fáciles de regular que un detector de microondas.

Tal vez el mayor inconveniente de los detectores de infrarrojo pasivo es que no pueden "ver" la totalidad de una habitación simultáneamente. Un PIR tiene patrones de detección específicos y limitados, que son determinados por su lente. Sin embargo, y más importante todavía, rara vez se necesita más de uno de estos sensores en una habitación. La solución al problema mencionado consiste en elegir el tipo de lente correcto que permita lograr la cobertura para la habitación o área que se desea proteger.

Ahora, el detector que se utilizará en el diseño de esta red de seguridad es el que se muestra a continuación:



Figura 2.12: Detector de movimiento para la red de seguridad¹⁸

Este detector ha sido diseñado específicamente para su uso en residencias u oficinas donde los cambios climáticos no sean extremos ni bruscos. Para su implementación se deben considerar las indicaciones que se proporcionan en párrafos anteriores, las cuales determinarán el correcto funcionamiento del mismo. Además del diseño de este detector, se ha incluido las especificaciones técnicas del mismo en la tabla 2.4:

Especificación Técnica	Descripción
Tensión de Entrada	9 – 16 Voltios DC
Consumo	En reserva a 12V – 10mA
Consumo Máximo	(Alarma) a 16V 25mA
Cobertura Máxima	15mts. x 15mts.
Duración de la Alarma	1segundo mínimo
Cómputo de Impulsos	1, 2 o 3 seleccionado por puente
Sensor Piroeléctrico	Elemento infrarrojo pasivo doble
Inmunidad ante IRF (Interferencia de RF)	40 V/m, 1GHz.
Salida de Alarma	N.C. 10W máximo
Máxima tensión de conmutación	30Vcc 10W máx.
Máxima corriente de conmutación	0.3ª 10W máx.
Llave Tamper	N.C. 30Vcc, 50mA máx.
Temperatura de funcionamiento	-10° - 60°C
Compensación de Temperatura	Thermistor
Protección contra inversión de polaridad	Diodo

¹⁸ <http://www.domaut.com/ael100.htm>

Protección contra incendios	Cubierta plástica ABS
Indicador LED	Activación seleccionable por puente
Dimensiones	110 x 60 x 45mm.

Tabla 2.4: Especificaciones Técnica del dispositivo¹⁹

Existen tres sitios donde es necesario colocar los detectores: el primero es en la entrada de la cocina, el cual alertará si un intruso a 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.

No se ubican sensores en la parte de las ventanas pues como se indicó anteriormente, no es necesario el llenar las habitaciones de estos aparatos pues los mismos cubren de forma eficaz el área en la cual fueron colocados, tal como lo muestra la figura 2.13.

Una vez que se han colocado los sensores en los sitios indicados con anterioridad, se realiza una prueba de funcionamiento de los mismos; esta prueba se lleva a cabo para determinar si el detector se halla en condiciones operativas. Para ello, es necesario moverse dentro del campo de detección seleccionado. En esta área se confirma primero, que el LED se activa y luego se desactiva en concordancia. Es importante el señalar que esta prueba debe efectuarse todas las semanas.

Dentro de la tarjeta PCB del detector, es posible activar o desactivar el LED indicativo, esto con el fin de que los intrusos no se den cuenta de que existe un sensor instalado.

¹⁹ <http://www.domaut.com/ae1100.htm>

Diagramas de Detección

El diagrama muestra la cobertura del detector con lente standard y con la tarjeta PCB en la posición 0 de ajuste.

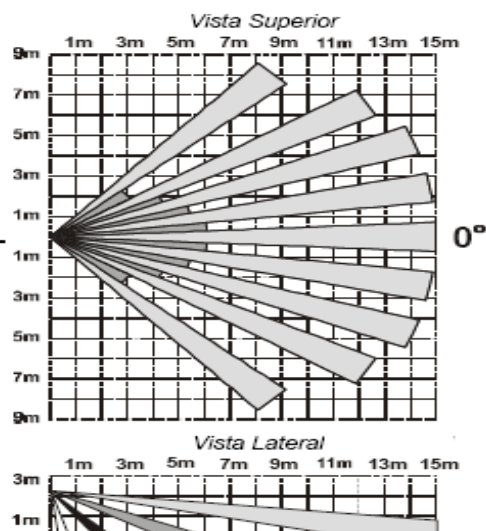


Figura 2.13: Área de detección de intrusos del sensor PIR²⁰

Finalmente, es importante aclarar que este detector permite intercambiar las lentes, para lo cual se afloja el sello de la cavidad protectora utilizando un pequeño destornillador y se coloca la nueva lente en su lugar con la cara suave mirando hacia afuera. Luego se verifica que la palabra TOP aparezca en la parte superior de la lente (ó que, alternativamente, aparezca una muesca en lo que es el borde inferior de la misma) antes de volver a colocar el sello de la cavidad.

Estos detectores pueden ser conectados a una alarma para que la alerta sea escuchada o no, a su vez se debe conectarlos a un dispositivo con un módulo ZigBee en la alimentación de los mismos con el fin de que el usuario pueda habilitarlos o deshabilitarlos desde el centralizador con una simple orden de encendido, de esta forma el sistema de seguridad estará activo cada vez que los habitantes del hogar así lo requieran.

Conjuntamente se puede programar la aplicación de control del sistema para que active el sistema de seguridad de acuerdo a los horarios deseados o únicamente en las noches, mucho dependerá de las necesidades de los usuarios.

²⁰ <http://www.domaut.com/ae1100.htm>

2.4 COSTO REFERENCIAL DEL SISTEMA

En cuanto a costos, en esta sección se provee una idea aproximada de cuanto costaría montar la red completa dentro del hogar tomando en cuenta el número total de elementos susceptibles de control. En la siguiente tabla se detallan los costos referenciales de acuerdo a los elementos presentes en el mercado.

Cabe resaltar que existen materiales necesarios que no se encuentran en el comercio de nuestro país, por lo que sería necesario el importarlos o comprarlos a través de Internet; tal es el caso de los módulos ZigBee utilizados o de los detectores PIR para la parte de seguridad.

Dispositivo	Cantidad*	Costo Unitario	Costo Total	Observaciones
Centralizador (PC)	1	\$700	\$700	
Aplicación de Control (Software)	1	\$150	\$150	Programado de acuerdo a necesidades del usuario
Prototipo de control (base) con módulo ZigBee	1	\$110	\$110	Completo
Prototipo de control (remoto) con módulo ZigBee**	3	\$460	\$1380	Diseño Completo
Módulos ZigBee	4	\$65	\$260	Para cada elemento a controlar
Relés de Estado Sólido (Lámparas Incandescentes y Tomas eléctricas)	36	\$20	\$720	Incluido el diseño del circuito
Motores paso a paso (Persianas)	6	\$150	\$900	Incluido el circuito de control del motor
Electroválvulas o solenoides (Calefón y Tubería de Agua)	2	\$165	\$330	Se activan a 110 o 220 V
Detectores PIR (Sistema de Seguridad)	3	\$60	\$180	Incluido circuito de control de los detectores
Horas de Trabajo	30	\$15	\$450	Incluido instalación y prueba de la red
TOTAL:			\$5180	(Valor Aproximado sin IVA)

Tabla 2.5 Costos referenciales de la Red de Domótica y Control

* La cantidad de dispositivos ha sido calculada de acuerdo a la información detallada en las tablas 2.1 y 2.2; es importante anotar que estos valores pueden variar de acuerdo a las necesidades finales de los usuarios.

** Este valor es aproximado y podría variar de acuerdo al diseño detallado que se estudiará en el próximo capítulo y cuyo valor se incluirá en el Capítulo IV.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA EL CONTROL DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS DE UN HOGAR UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA “ZigBee”

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ELEMENTOS BÁSICOS PRESENTES EN EL DISEÑO

La idea básica del prototipo a diseñar en el presente capítulo, es el controlar luces, tomas eléctricas y determinar 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.

En la parte inicial del presente capítulo se dispondrá una breve descripción de los elementos principales que conformarán más adelante el prototipo de control; a continuación se detallan las funciones primordiales de los mismos y aquellos parámetros y configuraciones útiles específicamente para este proyecto.

En primer lugar y como componentes sobresalientes del diseño, se analizarán los módulos de RF XBEE, los cuáles 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).

En segundo lugar y como mecanismo relevante del prototipo, se describirá de manera rápida y concisa 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. El mismo proveerá versatilidad y funcionalidad al diseño, pues dispone de funciones importantes que serán analizadas en su momento.

En cuanto al resto de elementos presentes en el prototipo, éstos serán estudiados en su momento, pues una vez que el presente capítulo avance, los mismos serán tomados en cuenta.

3.1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS MODULOS ZigBee DE RF XBEE²¹

Los módulos XBee de RF son diseñados por la compañía estadounidense Maxstream, la cual los configura para que éstos 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 dentro de la frecuencia ISM de 2.4 GHz y son compatibles pin a pin entre ellos.

Dentro de las características básicas de estos elementos, en la tabla 3.1 se enlistan las principales:

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 Interfaze 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

²¹ www.maxstream.net

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 3.1 Especificaciones del Módulo XBEE²²

En cuanto a las dimensiones mecánicas de los módulos, la figura 3.1 indica cuáles son éstas, tanto para los módulos XBEE como para los XBEE – PRO:

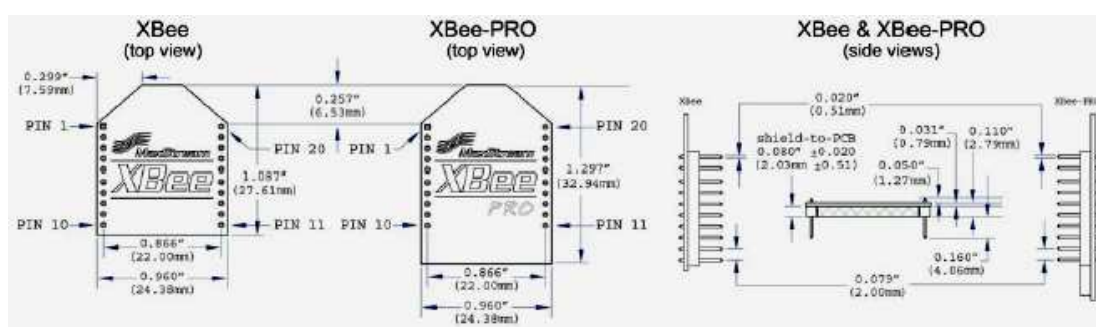


Figura 3.1 Dimensiones Físicas de los módulos XBEE y XBEE-PRO²³

Estos módulos son montados o usados comúnmente con placas de interfaz serial o USB, las cuáles se conectan directamente a la PC y cumplen dos funciones esencialmente: proveen los voltajes de polarización necesarios para el correcto uso de los dispositivos ZigBee, y convierten los voltajes RS232 que entrega el computador a niveles de voltaje de 3.3 VDC tanto para la transmisión como para la recepción.

3.1.2 COMUNICACIÓN SERIAL DE LOS MÓDULOS XBEE²⁴

Estos módulos pueden comunicarse con el PC a través de un puerto serial asíncrono con el cuál el módulo puede comunicarse con cualquier lógica y voltaje compatibles con UART (*Universal Asynchronous Receive Transmit*) o a su vez puede conectarse usando un convertidor de niveles.

²² www.maxstream.net

²³ www.maxstream.net

²⁴ www.maxstream.net

El principio de operación de los módulos es relativamente sencillo: los datos ingresan por el pin DI (*Data In*) o pin número 2 del dispositivo como una señal serial asíncrona. Cada byte de datos está formado por un bit de inicio (bit en bajo nivel o 0L), ocho bits de datos (el menos significativo va primero) y un bit de parada (bit en alto o 1L). El dispositivo realiza tareas tales como transmisión y recepción de datos. Cabe resaltar que la comunicación serial depende de que los dispositivos que van a interactuar entre sí (por ejemplo el PC con uno de los módulos) sean configurados con parámetros compatibles en aspectos fundamentales como: baud rate, paridad, número de bits de inicio, parada y datos (los cuáles pueden ser 8 o 9).

3.1.3 MODOS DE OPERACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE²⁵

Los módulos XBEE pueden trabajar en dos diferentes modos: transparente y API.

3.1.3.1 Modo Transparente

Por default, estos dispositivos trabajan en modo transparente. Cuando operan en este modo los módulos actúan como una línea serial normal esto es: todo dato UART recibido en el pin DI, es puesto a la cola para la transmisión RF. Así mismo, cuando un dato RF es recibido, el mismo es transmitido hacia fuera a través del pin DO (*Data Out*).

Paquetización Serial – RF: Cuando el dato recibido desde el host no puede ser transmitido inmediatamente (debido a que en ese momento el dispositivo está recibiendo datos RF), el mismo es almacenado en el búfer DI hasta que pueda ser enviado. Los datos son paquetizados y enviados cada vez que el tiempo RO se cumpla o cuando el módulo a recibido 100 bytes (máximo tamaño de paquetización). Si el búfer DI empieza a llenarse, se debe implementar algún tipo de control de flujo ya sea vía hardware o vía software,

²⁵ www.maxstream.net

esto con el fin de prevenir un sobre flujo (pérdidas de datos entre el host y el dispositivo).

3.1.3.2 Modo de operación API

El modo de operación API (*Application Programming Interface*) es una alternativa distinta al modo Transparente. Cuando el dispositivo trabaja en modo API, todos los datos que ingresan y abandonan el módulo están contenidos en tramas que definen las operaciones o eventos dentro del módulo.

Las tramas RF transmitidas (recibidas a través del pin DI, pin 3), incluyen:

- Los datos de la trama de transmisión RF
- Trama de Comandos (equivalente a los comandos AT)

Las tramas de datos RF recibidas (enviadas por el pin DO, pin 2) contienen:

- Los datos de la trama RF recibida
- Comandos de respuesta
- Notificaciones de eventos tales como: reset, asociación, desasociación, etc.

El modo API provee alternativas de configuración de los dispositivos y el ruteo de datos para la capa aplicación del Host. Una aplicación del Host puede ser enviada por tramas hacia el módulo; estas tramas contendrán el direccionamiento y la carga de información útil (*payload*).

El modo de operación API facilita muchas operaciones, tales como:

- Transmisión de datos hacia múltiples destinatarios sin ingresar al modo *Command*.

- Estatus de recepción exitosa o fallida para cada uno de los paquetes RF transmitidos.
- Identificación de las direcciones fuente de cada paquete recibido.

3.1.4 CONTROL DE FLUJO²⁶

La siguiente figura muestra el diagrama del flujo interno de datos:

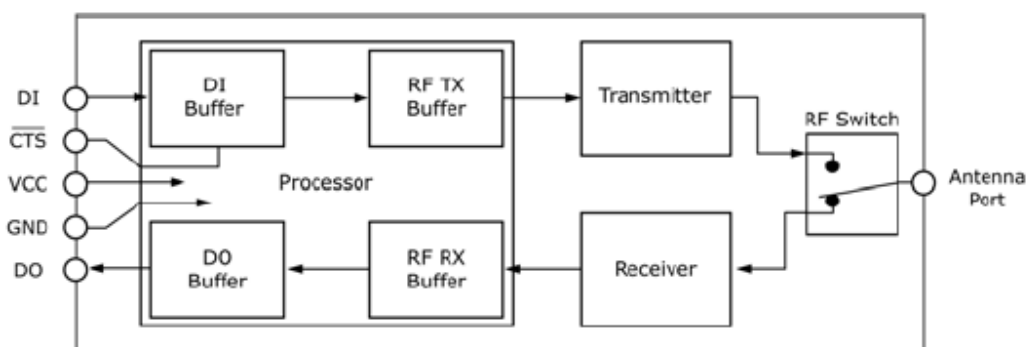


Figura 3.2 Diagrama del flujo interno de datos de los módulos²⁷

3.1.4.1 Búfer DI (*Data In*)

Cuando los datos seriales ingresan al dispositivo RF a través del pin DI (pin 3), los mismos son almacenados en el búfer DI hasta que puedan ser procesados.

Control de Flujo por hardware (*CTS, Clear To Send*): Cuando el búfer DI se encuentra a 17 bytes de quedar completamente lleno, el módulo XBEE envía una señal CTS (pone en alto la línea) para indicarle al host que suspenda la transmisión de datos; una vez que se dispone de 34 bytes de memoria libres, el dispositivo limpia la señal CTS. Existen dos maneras de evitar el control de flujo:

²⁶ www.maxstream.net

²⁷ www.maxstream.net

1. Enviando mensajes más pequeños que el tamaño del búfer DI.
2. Trabajando a una velocidad de transmisión serial más baja que la velocidad de transmisión del módulo.

Sin embargo, existe una posibilidad de que el búfer DI puede llegar a llenarse y se tengan pérdidas de datos: Si el módulo recibe continuamente datos RF, entonces todos los datos que deban ser transmitidos por RF se almacenan en el búfer para ser procesados una vez que finalice la recepción RF, mas, si ésta es continua, el búfer se llenará y los datos entrantes desde el host empezarán a perderse.

3.1.4.2 Búfer DO (*Data Out*)

Cuando se reciben datos RF, éstos ingresan al búfer DO para luego ser enviados vía serial hacia el host. Una vez que el búfer ha completado su capacidad, todos los datos Rf recibidos se perderán.

Control de flujo por hardware (*RTS, Ready To Send*): Si la opción RTS se encuentra habilitada para el control de flujo, (pin 6) los datos no serán transmitidos fuera del búfer DO hasta que RTS sea deshabilitado. Existen dos posibles causas en las cuales el búfer DO podría empezar a llenarse y causar una pérdida de datos:

1. Si la velocidad de transmisión RF es más alta que la velocidad del interfaz de datos del módulo, en este caso, el dispositivo recibirá los datos del módulo transmisor más rápido que el envío de datos hacia el host.
2. Si el host no permite al módulo que éste le transmita datos desde el búfer DO, esto porque ha comenzado el control de flujo vía software o hardware.

3.1.5 SOPORTE DE LÍNEAS ADC E I/O²⁸

Los módulos XBEE soportan el paso de líneas ADC (*Analog to Digital Conversion*) así como de líneas I/O (*Digital Input/Output*). Los pines mencionados en la siguiente tabla soportan múltiples funciones:

Función del Pin	Pin #	Comando AT
AD0/DIO0	20	D0
AD1/DIO1	19	D1
AD2/DIO2	18	D2
AD3/DIO3/(COORD_SEL)	17	D3
AD4/DIO4	11	D4
AD5/DIO5/(ASSOCIATE)	15	D5
DIO6/(RTS)	16	D6
DIO7/(CTS)	12	D7
DIO8/(SLEEP_RQ)	9	D8

Tabla 3.2 Función de cada pin (AD= línea ADC, DIO= línea digital)²⁹

Ahora, para habilitar las funciones ADC o DIO se debe utilizar los siguientes comandos AT:

- Para soporte ADC: Utilizar ATDn = 2
- Para soporte de entrada digital Utilizar ATDn = 3
- Para soporte de salida digital en bajo Utilizar ATDn = 4
- Para soporte de salida digital en alto Utilizar ATDn = 5

3.1.5.1 Formato de datos I/O

Los datos I/O (denominados también digitales) comienzan con una cabecera o *header*. El primer byte de la cabecera define el número total de muestras próximas a aparecer. Los últimos 2 bytes del encabezado (o *Channel Indicator*) definen qué entradas están activas. Cada bit representa una línea DIO o a su vez un canal ADC. La siguiente figura muestra el formato de la cabecera:

²⁸ www.maxstream.net

²⁹ www.maxstream.net

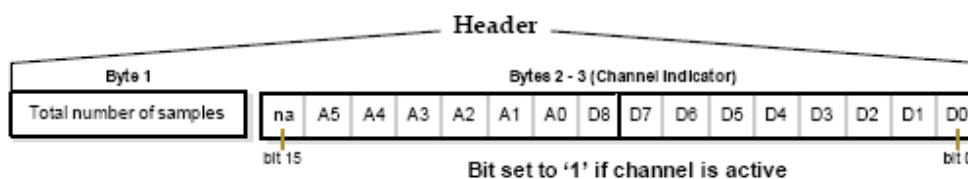


Figura 3.3 Cabecera de datos I/O³⁰

La siguiente muestra de datos que continua luego de la cabecera es usada para determinar cómo leer las muestras de datos. Si cualquiera de las líneas DIO están habilitadas, los primeros 2 bytes serán datos DIO, y los siguientes serán datos ADC. La información de un canal ADC es almacenada como un valor sin asignar de 10 bits de un límite de 16 bits. La siguiente figura muestra el formato descrito en este párrafo:

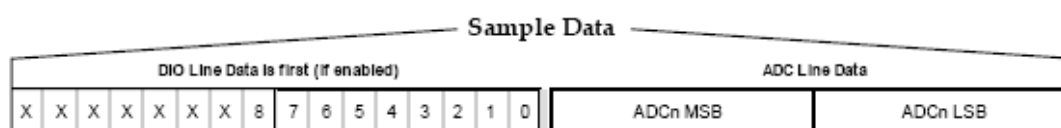


Figura 3.4 Muestra o Trama de Datos³¹

3.1.5.2 Detección de un Cambio en un pin DIO (*Pin Change Detect*)

Cuando se encuentra habilitada la opción de “Detección de un Cambio DIO” o “*DIO Change Detect*” (usando el comando IC), las líneas DIO desde la 0 hasta la 7 son monitoreadas. Cuando se detecta un cambio en las mismas, una de las siguientes opciones ocurrirá:

1. Un paquete RF es enviado con los niveles digitales registrados. Este paquete no contendrá ninguna muestra ADC.

³⁰ www.maxstream.net

³¹ www.maxstream.net

2. Cualquier muestra en cola será transmitida antes de los datos leídos con la detección del cambio.

3.1.5.3 Velocidad de muestreo

La tasa o velocidad de muestreo (Intervalo) habilita la lectura periódica de los pines ADC o DIO en los módulos en los cuales no se ha configurado el Modo de Sueño o *Sleep Mode*. Cuando uno de éstos trabaja en dicho modo y además en el mismo se ha configurado la tasa de muestreo (comando IR, *Interface Rate*), el módulo tendrá que ‘despertarse’ cada cierto tiempo (determinado por el parámetro IT o número de muestras antes de la transmisión).

La tasa máxima de muestreo que puede ser implementada mientras se utilice uno de las líneas A/D, es de 1 KHz.

3.1.5.4 Ejemplo de Configuración

Como un ejemplo de un enlace A/D sencillo, un par de módulos RF podrán ser configurados como lo muestra la siguiente tabla:

Configuración del Remoto	Configuración de la Base
DL = 0x1234	DL = 0x5678
MY = 0x5678	MY = 0x1234
D0 = 2	P0 = 2
D1 = 2	P1 = 2
IR = 0x14	IU = 1
IT = 5	IA = 0x5678 o 0xFFFF

Tabla 3.3 Ejemplo de Configuración de un enlace A/D simple³²

Estos parámetros configuran al módulo remoto para que éste tome muestras de AD0 y AD1 una vez cada 20 ms. Si se tienen 5 muestras tomadas en el búfer, éstas son enviadas hacia la base. La base podría recibir una transmisión de hasta 32 bytes (20 bytes de datos y 12 bytes de cabecera) cada 100 ms.

³² www.maxstream.net

3.1.6 DIRECCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE³³

Todo paquete de datos RF que es enviado por aire contiene un campo para la Dirección de Origen y otro para la Dirección de Destino en su cabecera. Los módulos pueden soportar direcciones cortas de 16 bits o largas de 64 bits. Una única dirección de origen de 64 bits (la cual es determinada por la IEEE) es asignada en la fábrica a cada dispositivo, esta dirección puede ser leída usando los comandos AT: SL (*Serial Low Number*, Número Serial Bajo) y SH (*Serial High Number*, Número Serial Alto). El direccionamiento corto debe ser configurado manualmente. Un dispositivo XBEE utilizará esta dirección de 64 bits propia como dirección de Origen, si el valor del parámetro MY (*Source Address*, Dirección de Origen de 16 bits) es 0xFFFF ó 0xFFFE.

Para enviar un paquete a un módulo específico usando direccionamiento de 64 bits se debe configurar los siguientes parámetros: Dirección de Destino (DL + DH). Para enviar un paquete hacia un módulo en particular utilizando direccionamiento de 16 bits, se configuran los siguientes parámetros: DL (Dirección de Destino Baja), de tal forma que ésta sea igual que el parámetro MY, además se configura el parámetro DH (Dirección de Destino Alta) con el valor de 0.

3.1.6.1 Modo *Unicast*

Por default, todo módulo RF opera en este modo. El modo Unicast es el único que soporta re-envío de datos. Esto quiere decir que el dispositivo receptor enviará un ACK (*Acknowledge* o acuse de recibo) para asegurar la recepción de cada paquete RF, esta confirmación le llegará al transmisor, mas si el mismo no recibe dicha confirmación, entonces procederá a re-enviar el paquete de datos tres veces más o hasta que reciba el acuse de recibo.

³³ www.maxstream.net

Direcciones cortas de 16 bits: Cada módulo puede ser configurado para que trabaje utilizando direcciones cortas de 16 bits como dirección de origen, esto se consigue a través de la asignación de un valor para el parámetro MY (el cuál debe ser menor a 0xFFFFE). Poniendo en cero el parámetro DH (DH = 0), se determinará la Dirección de Destino como una dirección corta de 16 bits (si DI es menor a 0xFFFFE). Para que dos módulos se comuniquen utilizando direcciones cortas, la dirección de destino del dispositivo transmisor debe ser la misma que el parámetro MY del dispositivo receptor.

La siguiente tabla muestra una configuración simple de red que podría ser utilizada para habilitar el modo Unicast usando direcciones cortas de 16 bits:

Parámetro	Módulo RF 1	Módulo RF 2
MY (Dirección de Origen)	0x01	0x02
DH (Dirección de Destino Alta)	0	0
DL (Dirección de Destino Baja)	0x02	0x01

Tabla 3.4 Configuración simple para modo Unicast entre 2 dispositivos usando direcciones cortas de 16 bits³⁴

Direcciones largas de 64 bits: El número serial de cada módulo (parámetro SL concatenado con parámetro SH), puede ser usando como una dirección de destino de 64 bits, siempre y cuando el parámetro MY se encuentre deshabilitado (MY = 0xFFFF ó = 0xFFFFE). Cuando un punto final (*End Point*) se asocia con un coordinador, su parámetro MY se coloca en 0xFFFFE, esto habilita el direccionamiento de 64 bits. Para enviar un paquete hacia un módulo específico, la dirección de destino (DH + DL) de un dispositivo debe ser igual al número serial (SH + SL) del otro dispositivo.

3.1.6.2 Modo *Broadcast*

Cualquier módulo RF que se encuentre dentro del alcance del transmisor, aceptará un paquete que contenga una dirección broadcast. Cuando han sido configurados

³⁴ www.maxstream.net

para operar en modo Broadcast, los dispositivos receptores no enviarán acuse de recibo (ACK), y los dispositivos transmisores no re-enviarán automáticamente la información, como sucede en el modo Unicast.

Para enviar un paquete broadcast hacia todos los módulos sin considerar el direccionamiento (ya sea de 16 o 64 bits), se deben configurar las direcciones de destino de todos los módulos tal como se muestra a continuación:

- DL (Dirección Baja de Destino) = 0x0000FFFF
- DH (Dirección Alta de Destino) = 0x00000000 (valor por defecto)*

3.1.7 MODOS DE TRABAJO DEL DISPOSITIVO XBEE³⁵

Los módulos XBEE pueden trabajar de cinco formas diferentes, las cuales son descritas a continuación:

1. En modo IDLE, en este modo se encuentra todo dispositivo que no se encuentra ni transmitiendo ni recibiendo información, se puede decir que es un modo de espera, en el cual el dispositivo se encuentra siempre que no esté trabajando en cualquiera de los otros módulos.
2. Modos de Transmisión o Recepción, estos son modos de trabajo para cuando el dispositivo transmite o recibe información, ya sea paquetes RF (transmisión sobre el aire) o cuando se comunica con el host (comunicación serial).
3. Modo Sleep, los dispositivos pueden ser configurados para dormirse o dejar de trabajar siempre que no tengan nada para transmitir ni tengan datos por recibir, esto ayudará a que los módulos economícen energía.

* Cuando se programen los dispositivos, los parámetros son configurados en valor hexadecimal (sin el prefijo 0x). Los ceros a la izquierda pueden ser omitidos.

³⁵ www.maxstream.net

4. Modo Command, este módulo sirve para configurar ciertos parámetros importantes del dispositivo a través de los comandos AT, este modo de trabajo será estudiado un poco más a fondo a continuación.

3.1.7.1 Modo de Trabajo Command o *Command Mode*

Este modo de trabajo sirve para modificar o leer los parámetros propios del módulo RF, cabe resaltar que el dispositivo debe ingresar primero dentro del Modo Comando, un estado en el cuál los caracteres entrantes son interpretados como comandos. Se dispone de dos opciones dentro de este modo: Modo de comandos AT y Modo de Comandos API.

Modo de Comandos AT

Para ingresar dentro de esta opción, se deben enviar un secuencia de comandos de tres signos '+' hacia el módulo, esto sería: "+++".

Por defecto, la secuencia para la transición hacia el Modo de Comandos AT sería la siguiente:

- No enviar caracteres por espacio de un segundo [si el parámetro GT (*Guard Time*) es igual a 0x3E8].
- Ingresar tres caracteres más ("+++") en el lapso de un segundo [si el parámetro CC (*Command Sequence Character*) es igual a 0x2B].
- No enviar ningún carácter por espacio de un segundo [si el parámetro GT es igual a 0x3E8].

Todos los parámetros anotados en la secuencia anterior pueden ser modificados para reflejar las preferencias del usuario*.

Se puede enviar comandos AT y parámetros usando la sintaxis mostrada en la siguiente figura:

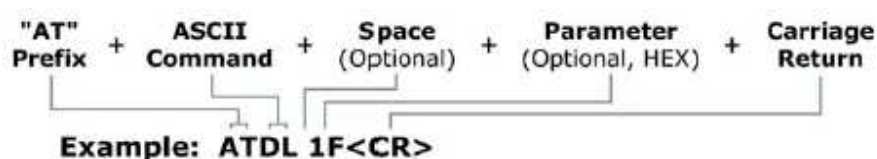


Figura 3.5: Secuencia para envío de comandos AT y parámetros de configuración³⁶

La figura explica claramente con un ejemplo la secuencia: primero se escribe el prefijo "AT", a continuación el comando AT propiamente en formato ASCII, luego un espacio más el valor del parámetro de configuración en formato Hexadecimal, y finalmente el comando AT CR o *carriage return*, el cual indica al módulo que debe devolver una respuesta de confirmación de haber recibido la secuencia mencionada anteriormente. Cabe resaltar que si lo que se desea es leer la configuración del parámetro deseado dentro del módulo, se omitirá el valor hexadecimal de la secuencia.

Para modificar los valores de los parámetros que persistan dentro del registro del módulo luego de resetear el mismo, todos los cambios deberán ser guardados en la memoria no volátil del dispositivo, esto se consigue usando el comando WR (*Write*). De otra forma, todos los parámetros volverán a la última configuración una vez que el dispositivo sea reseteado.

* El error más frecuente que impide el ingreso al Modo de Comandos AT es la velocidad de transmisión del host, el usuario debe verificar primero que la velocidad de conexión del host sea la misma que la velocidad del módulo (la cuál por defecto viene configurada a 9600 baudios).

³⁶ www.maxstream.net

Respuesta del Sistema: Cuando un comando es enviado hacia el módulo, éste interpretará y ejecutará la orden. Una vez realizada la ejecución exitosa del parámetro, el dispositivo retornará un mensaje de “OK”, caso contrario, el mensaje será de “ERROR”.

Para salir del Modo de Comandos AT, se tienen dos posibilidades:

1. Enviar el comando ATCN (*Exit Command Mode*) [seguido por un *Carriage Return*] o a su vez,
2. Si un comando AT no válido es recibido dentro del tiempo especificado por el comando CT (*Command Mode Timeout*), el módulo retornará automáticamente al Modo Idle.

3.1.8 PRINCIPALES COMANDOS AT³⁷

A continuación se enlistarán y explicarán los comandos de programación más importantes de los módulos XBEE, la lista completa de comandos AT que soportan dichos elementos se encuentra especificada al final del presente Proyecto de Titulación, en el Anexo I:

Cabe destacar que los comandos AT se encuentran divididos en varias categorías, para un mejor entendimiento de los mismos:

- Especiales
- Networking y Seguridad
- Interfaz RF
- Modo Sleep (Bajo Consumo)
- Parámetros I/O
- Diagnóstico

³⁷ www.maxstream.net

- Comandos AT opcionales

3.1.8.1 Comandos AT especiales

Se tienen los siguientes comandos, detallados en la siguiente tabla:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
WR	Write, Escribe todas los parámetros deseados en la memoria no volátil del dispositivo. Una vez que se envía este caracter, no podemos enviar otro comando AT hasta recibir respuesta de confirmación del módulo	-	-
RE	Restore Defaults, Restaura los parámetros del módulos a los valores por defecto	-	-
FR	Software Reset, Responde inmediatamente con un OK, luego realiza un reset profundo del dispositivo el cuál toma alrededor de 100ms.	-	-

Tabla 3.5 Comandos AT especiales³⁸

3.1.8.2 Comandos AT para networking y seguridad

Dentro de esta categoría de comandos, se anotarán los siguientes como los más importantes:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
CH	Channel, Define o lee el número del canal usado para transmitir y recibir datos entre módulos RF	0x0B – 0x1A	0x0C (12d)
DH	Destination Address High, Define o lee los 32 bits más altos de la dirección de destino de 64 bits. Combinado con DL, conforman la dirección completa de destino. Para transmitir usando direcciones de 16 bits, este parámetro se coloca a cero mientras el parámetro DL debe ser menor a 0xFFF	0 – 0xFFFFFFFF	0
DL	Destination Address Low, Define o lee los 32 bits más bajos de la dirección de		

³⁸ www.maxstream.net

	destino de 64 bits. Combinado con DH, conforman la dirección completa de destino. Para transmitir usando direcciones de 16 bits, este parámetro se coloca a cero mientras el parámetro DL debe ser menor a 0xFFF	0 – 0xFFFFFFFF	0
MY	16 bit Source Address, Define o lee la dirección de origen de 16 bits del módulo RF. Si este parámetro es seteado con el valor 0xFFFF se deshabilitará la recepción de paquetes con direcciones de 16 bits	0 – 0xFFFFFFFF	0
SH	Serial Number High, Lee los primeros 32 bits de la dirección única del módulo RF designada por la IEEE	0 – 0xFFFFFFFF (sólo de lectura)	Valor de fábrica
SL	Serial Number Low, Lee los últimos 32 bits de la dirección única del módulo RF designada por la IEEE.	0 – 0xFFFFFFFF (sólo de lectura)	Valor de fábrica

Tabla 3.6 Comandos AT de networking y seguridad³⁹

3.1.8.3 Comandos AT para la interfaz RF

Dentro de esta categoría, solo se tiene un comando AT importante:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
PL	Power Level, Selección o lee el nivel de potencia con el cuál el módulo trasmite los datos	0 – 4 0 = -10/10 dBm 1 = -6/12 dBm 2 = -4/14 dBm 3 = -2/16 dBm 4 = 0/18 dBm	4

Tabla 3.7 Comando AT para interfaz RF⁴⁰

3.1.8.4 Comandos AT para bajo consumo (Sleep)

Dentro de esta categoría destacan los siguientes comandos AT:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
SM	Sleep Mode, Define o lee las configuraciones del modo Sleep	0 – 5 0 = No Sleep	

³⁹ www.maxstream.net

⁴⁰ www.maxstream.net

		1= Pin Hibernate 2 = Pin Doze 3 = Reservado 4 = Cyclic Sleep Remote 5 = Cyclic Sleep Remote con un pin para wake up	0
ST	Time Befote Sleep, Define o lee el periodo en el que el módulo debe permanecer inactivo (sin enviar ni recibir nada), antes de que se habilite el modo Sleep. Este tiempo es válido únicamente si SM es igual a 4 ó 5	1 – 0xFFFF (x 1 ms)	0x1388 5000d

Tabla 3.8 Comandos AT para modo Sleep⁴¹

3.1.8.5 Comandos AT para la interfaz serial

En cuanto a la interfaz serial, se pueden configurar varios aspectos, entre los cuales se mencionan los siguientes:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
BD	Baud Rate, define o lee el dato de la velocidad de interfaz serial para las comunicaciones, entre el puerto serial del módulo y el host.	0 – 7 0 = 1200 bps 1= 2400 bps 2= 4800 bps 3= 9600 bps 4= 19200 bps 5= 38400 bps 6= 57600 bps 7 = 115200 bps 0x80 – 0x1C200 Para velocidades que no son estándar	3
RO	Packetization Timeout, Define o lee el número de caracteres o retardos entre caracteres, necesarios antes de la transmisión. Si el valor del parámetro está en cero, se transmitirán los datos apenas lleguen al búfer	0 – 0xFF	3
AP	API Enable, Habilita o deshabilita el modo API	0 – 2 0 = Deshabilitado 1 = API habilitado	

⁴¹ www.maxstream.net

		2 = API habilitado con caracteres de control	0
PR	Pull – up resistor Enable, Define o lee la configuración interna para habilitar resistencias de pull – up para las líneas I/O	0 – 0xFF	0xFF

Tabla 3.9 Comandos AT para interfaz serial⁴²

3.1.8.6 Comandos AT para el manejo de los pines I/O

Los pines I/O pueden ser configurados por separado, de acuerdo a las necesidades del usuario, entre los comandos importantes se encuentran los siguientes:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
D8	D18 Configuration, Define o lee las opciones de configuración para la línea D18 (pin 9) del módulo RF	0 – 1 0 = Deshabilitado 3 = Entrada Digital (1,2,4,5) no usados	0
D7	DIO7 Configuration, Define o lee las opciones de configuración para la línea DIO7 (pin 12) del módulo RF. También se incluye la configuración para el control de flujo CTS	0 – 1 0 = Deshabilitado 1 = CTS habilitado 2 = no usado 3 = DI (entrada) 4 = DO (salida en bajo) 5 = DO (salida en alto)	1
D6	DIO6 Configuration, Define o lee las opciones de configuración para la línea DIO6 (pin 16) del módulo RF. También se incluye la configuración para el control de flujo RTS	0 – 1 0 = Deshabilitado 1 = RTS habilitado 2 = no usado 3 = DI (entrada) 4 = DO (salida en bajo) 5 = DO (salida en alto)	0
D5	DIO5 Configuration, Define o lee las opciones de configuración para la línea DIO5 (pin 15) del módulo RF. También se incluye la configuración para el led indicador de Asociación (se enciende cuando el módulo se asocia)	0 – 1 0 = Deshabilitado 1 = Led Indicador 2 = ADC 3 = DI (entrada) 4 = DO (salida en bajo) 5 = DO (salida en	0

⁴² www.maxstream.net

		alto)	
D0 – D4	(DIO0 – DIO4) Configuration, Define o lee las configuraciones para las siguientes líneas: AD0/DIO0 (pin 20), AD1/DIO1 (pin 19), AD2/DIO2 (pin 18), AD3/DIO3 (pin 17), AD4/DIO4 (pin 11). También se incluye configuraciones para líneas ADC	0 – 1 0 = Deshabilitado 1 = no usado 2 = ADC 3 = DI (entrada) 4 = DO (salida en bajo) 5 = DO (salida en alto)	0
IU	I/O Output Enable, Deshabilita o Habilita los datos digitales recibidos para ser enviados vía UART. Los datos son enviados usando una trama API sin importar el estado del parámetro AP	0 – 1 0 = Disabled 1 = Enabled	1
IT	Samples before TX, Define o lee el número de muestra a tomar antes de transmitir los datos. El máximo número de muestras depende del número de entradas habilitadas	1 – 0xFF	1
IS	Force Simple, Obliga a leer todas las entradas habilitadas (DI o ADC). El dato se devuelve a través del UART. Si no hay entradas habilitadas (DI o ADC), este comando enviará un mensaje de error	Mapa de bits de 8 bits (cada bit representa el nivel de una línea I/O configurada como salida)	-
IO	Digital output level, Devuelve el nivel digital de las salidas para permitir cambios en aquellas líneas configuradas como salidas a través del modo de comandos	-	-
IC	DIO Change Detect, Habilita o deshabilita el monitoreo de las líneas DIO 0 – 7. Si un cambio es detectado, el dato es transmitido solo con los datos digitales. Cualquier muestra puesta en cola antes para ser enviadas, serán transmitidas primero.	0 – 0xFF	0 deshabilitado
IR	Sample Rate, Define o lee la tasa de muestreo. Cuando se configura este parámetro, el módulo muestrea todas las entradas habilitadas cada cierto intervalo específico	0 – 0xFFFF	0
AV	ADC Voltage Reference, Define o lee el voltaje de referencia ADC	0 – 1 0 = VREF pin 1 = internal	0
T0 – T7	(Do – D7) Output Timeout, Define o lee el tiempo de los valores de salida que corresponden a los pines D0 – D7. Cuando una salida es configurada con un nivel diferente al de defecto, un temporizador empieza a contar hasta terminar en cero, cuando esto ocurre, la salida regresa a su valor por	0 – 0xFF	0xFF

	defecto. Cuando un paquete digital válido es recibido, el timer se resetea.		
P0	PWM0 Configuration, Define o lee las funciones para el pin PWM0	0 – 2 0 = Deshabilitado 1 = RSSI 2 = Salida PWM	1
P1	PWM1 Configuration, Define o lee las funciones para el pin PWM1	0 – 2 0 = Deshabilitado 1 = RSSI 2 = Salida PWM	0
M0	PWM0 Output Level, Define o lee el nivel de salida del pin PWM0	0 – 0x03FF	-
M1	PWM1 Output Level, Define o lee el nivel de salida del pin PWM1	0 – 0x03FF	-

Tabla 3.10 Comandos AT para configuración de pines DIO ó ADC⁴³

3.1.8.7 Comandos AT para diagnóstico

Sirven para determinar el estado de ciertos parámetros propios del sistema, entre los principales se tienen los siguientes:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
VR	Firmware Vesion, Lee la versión del software del módulo RF	0 – 0xFFFF (sólo lectura)	Configuración de fábrica
HV	Hardware Version, Lee con detalle la versión del hardware	0 – 0xFFFF (sólo lectura)	Configuración de fábrica
EA	ACK Failures, Resetea o lee el número de fallas en los acuses de recibo	0 – 0xFFFF	-

Tabla 3.11 Comandos AT para diagnóstico⁴⁴

3.1.8.8 Comandos AT opcionales

Entre los principales se tienen los siguientes:

Comando AT	Nombre y Descripción	Rango de Valores	Valor por Defecto
CN	Exit Command Mode, Abandona definitivamente el Modo de Comandos AT	-	-
AC	Apply Changes, Específicamente	-	-

⁴³ www.maxstream.net

⁴⁴ www.maxstream.net

	aplica los cambios de los parámetros configurados y reinicia el módulo		
GT	Guard Times, Determina el período de silencio antes y después de una secuencia de comandos AT	2 – 0x0CE4 (x 1 ms)	0x3E8 (1000d)

Tabla 3.12 Comandos AT opcionales⁴⁵

3.1.9 DESCRIPCIÓN DEL PIC 16F876⁴⁶

El PIC16F876 es un microcontrolador diseñado por la compañía Microchip, el cuál ofrece una memoria de datos EEPROM de 256 bytes, programación propia, dos temporizadores adicionales, cinco canales (de 10 bits cada uno) de conversión Análogo – Digital, dos pines de captura/comparación/PWM, etc. Todas estas características lo vuelven ideal para aplicaciones A/D de nivel avanzado, ya sea para el campo industrial, automotriz, de automatización o control, de acuerdo a las necesidades del usuario.

Las características citadas en el párrafo anterior, así como otras especificaciones, se enlistan en la tabla 3.13.

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 cuáles 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

⁴⁵ www.maxstream.net

⁴⁶ www.microchip.com

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
Veintidós pines I/O
Bajo consumo de energía: menor a 0.6 mA a 3V y 4MHz

Tabla 3.13 Especificaciones del PIC16F876⁴⁷

Estas son las características básicas del microcontrolador, en ellas es posible resaltar el hecho de que el mismo posee todas las características útiles dentro del diseño de este modelo, además de ello goza de tres puertos I/O, lo que otorga mucha escalabilidad tanto al elemento como al diseño, pues es importante poseer las herramientas necesarias para incrementar las tareas que podría realizar el prototipo si así fuera el caso.

En el presente proyecto se utilizarán dos pines I/O para habilitarlos como salidas digitales (uno para el control de una luz y otro para una línea AC), un pin PWM (para regular la intensidad de una luz), los pines para comunicación serial USART y un pin para la conversión análogo – digital (en la medición de temperatura), por lo cual, a continuación se brinda un análisis rápido de cómo configurar estos parámetros en el PIC16F876.

3.1.9.1 Configuración de la comunicación USART en el PIC

El módulo USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) es uno de los dos módulos seriales I/O que posee el PIC16F876 (USART también es conocido como interfaz serial de comunicaciones o SCI, *Serial Communications Interface*, por sus siglas en inglés). El mismo puede ser configurado como un sistema

⁴⁷ www.microchip.com

asíncrono full duplex que sirva para comunicarse con dispositivos periféricos tales como terminales CRT o computadores personales, o a su vez puede ser configurado como un sistema half duplex síncrono que se comunique con periféricos como circuitos integrados A/D o D/A, EEPROM's seriales, etc.

En conclusión, el módulo USART puede ser configurado de las siguientes maneras:

- Asíncrono (full duplex)
- Síncrono – Maestro (half duplex)
- Síncrono – Esclavo (half duplex)

El bit SPEN (bit número 7 del registro RCSTA) y los bits 6 y 7 del registro TRISC deben ser configurados respectivamente como TX (RC6) y RX (RC7) del módulo USART. Dicho módulo permite comunicación con varios procesadores usando detección de direcciones de 9 bits.

Además del bit SPEN, se deben configurar el resto de bits del registro RCSTA y el registro TXSTA, para lo cual, a continuación se muestran los bits que conforman estos registros y para qué sirve cada uno de ellos.

Registro TXSTA: El registro TXSTA (*Transmit Status and Control Register*) configura ciertos parámetros útiles para la transmisión de datos. La siguiente figura ilustra la distribución de bits de este registro:

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R-1	R/W-0
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
bit 7							bit 0

Figura 3.6 Bits del registro TXSTA⁴⁸

A continuación se detalla específicamente la función de cada bit:

⁴⁸ www.microchip.com

CSCR (bit 7): bit para la selección de la fuente de oscilación. En el modo asíncrono no es tomado en cuenta. En modo síncrono si es 1 se trabaja en modo Master (reloj generado internamente desde BRG); si es 0 trabaja en modo Slave (reloj desde una fuente externa).

TX9 (bit 6): Bit para habilitar la transmisión de 9 bits; si es 0 se transmiten 8 bits, si es 1 se transmiten 9 bits.

TXEN (bit 5): Bit para habilitar la transmisión; si es cero está deshabilitada, si es 1 se habilita la transmisión.

SYNC (bit 4): Bit para seleccionar el modo USART; si es 0 se trabaja con modo Asíncrono, si es 1, con modo Síncrono.

Sin implementar (bit 3): Es leído como '0'.

BRGH (bit 2): Bit para seleccionar velocidades de transmisión altas. En modo asíncrono si es 1 se tiene velocidad alta, si es cero velocidad baja. En modo síncrono no se utiliza este bit.

TRMT (bit 1): Bit que permite indicar si el registro de transmisión TSR (*Transmit Shift Register*) este vacío o lleno. Con 1 TSR está lleno; con 0 está vacío.

TX9D (bit 0): Indica que existen 9 bits para transmitir, el último bit puede servir para paridad.

Registro RCSTA: El registro RCSTA (*Receive Status and Control Register*) configura ciertos parámetros útiles para la recepción de datos. La siguiente figura ilustra la distribución de bits de este registro:

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
bit 7							bit 0

Figura 3.6 Bits del registro TXSTA⁴⁹

A continuación se detalla específicamente la función de cada bit:

SPEN (bit 7): Este bit habilita la transmisión serial del PIC hacia un dispositivo periférico. Si es 1, se habilita el puerto serial (se configuran RC7/RX y RC6/TX como pines del puerto serial).

RX9 (bit 6): Bit para habilitar la recepción de 9 bits; si es 0 se reciben 8 bits, si es 1 pueden llegar 9 bits.

SREN (bit 5): Bit para habilitar únicamente la recepción de datos; en modo asíncrono no se toma en cuenta este bit; en modo síncrono, si es cero esta deshabilitada, si es 1 se habilita la recepción.

CREN (bit 4): Bit para habilitar la recepción continua de datos. En modo asíncrono, con 1 se habilita esta opción y con cero se la deshabilita. En modo síncrono con 1 se habilita la recepción continua de datos hasta que el bit CREN sea limpiado (depende del bit SREN), con 0 se deshabilita esta opción.

ADDEN (bit 3): Bit para detectar la detección de direcciones. En modo asíncrono, con 1 se habilita la detección, con 0 se deshabilita la detección y todos los datos son recibidos, entonces el bit 9 puede funcionar para detectar paridad.

⁴⁹ www.microchip.com

FERR (bit 2): Bit útil para detectar errores de *framing* o entramado. Si el bit se pone a uno, ha existido un error.

OERR (bit 1): Bit que permite detectar errores de pérdidas de datos (*overrun error*). El error es detectado si el bit se pone a 1.

RX9D (bit 0): Indica que existen 9 bits recibidos, el último bit puede servir para paridad.

Generador de velocidad de transmisión para el módulo USART (BRG, Baud Rate Generator): Este generador soporta ambos modos de comunicación USART: síncrono y asíncrono. El registro SPBRG (*Baud Rate Generator Register*) controla el período de un temporizador de 8 bits que trabaja libremente.

En el modo asíncrono, el bit BRGH controla también la velocidad de transmisión; en modo síncrono este bit es ignorado. La siguiente figura muestra la forma cómo calcular la velocidad de comunicación a través de una sencilla fórmula que depende tanto de la frecuencia de oscilación como del valor asignado al registro SPBRG:

SYNC	BRGH = 0 (Low Speed)	BRGH = 1 (High Speed)
0	(Asynchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(64(X+1))$	Baud Rate = $F_{osc}/(16(X+1))$
1	(Synchronous) Baud Rate = $F_{osc}/(4(X+1))$	N/A

X = value in SPBRG (0 to 255)

Figura 3.7 Fórmula para calcular la velocidad de comunicación⁵⁰

Tal como se indicó en la descripción de los módulos XBEE, éstos trabajan asíncronamente, por lo cual se deben configurar los registros RCSTA y TXSTA de manera que trabajen de igual manera y además lo hagan a la misma velocidad de comunicación que los módulos.

⁵⁰ www.microchip.com

3.1.9.2 Configuración del conversor análogo – digital

El módulo conversor Análogo – Digital posee cinco entradas para el PIC16F876. La entrada análoga simplemente carga un capacitor *sample and hold* o de muestreo. La salida de dicho capacitor es la entrada hacia el conversor, el cuál pasa a generar un resultado digital del nivel analógico a través de aproximaciones sucesivas. La conversión A/D del valor analógico de entrada da como resultado un número digital de 10 bits.

El módulo digital A/D tiene entradas para voltajes de referencia tanto en bajo como en alto; además es el único módulo que puede empezar a trabajar mientras el microcontrolador se encuentra en modo SLEEP, para esto, el reloj A/D debe derivarse del oscilador RC interno.

Este módulo posee cuatro registros propios que deben ser tomados en cuenta en su configuración, los cuales son:

- Resultado para el resultado A/D en alto (ADRESH)
- Resultado para el resultado A/D en bajo (ADRESL)
- Registro 0 de control A/D (ADCON0)
- Registro 1 de control A/D (ADCON1)

El registro ADCON0 (mostrado en la figura 3.8) controla la operación del módulo A/D; el registro ADCON1 (que se indica en la figura 3.9) configura las funciones de los pines del puerto. Estos pines pueden ser configurados como entradas analógicas (RA3 puede ser configurado además como voltaje de referencia), o como entradas o salidas digitales.

Registro ADCON0: Este registro determina todas las configuraciones necesarias para el uso del conversor. La siguiente figura muestra la distribución de pines del mencionado registro:

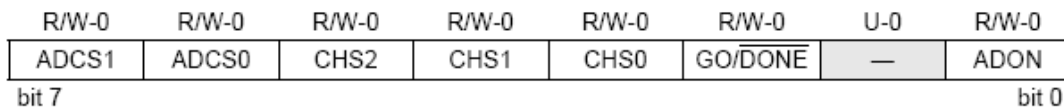


Figura 3.8 Distribución de pines del registro ADCON0⁵¹

A continuación se detallan las funciones de cada uno de los pines del registro:

ADCS1:ADCS0 (bit 7 y bit 6): Estos dos bits determinan la frecuencia del reloj de conversión de acuerdo a la siguientes especificaciones:

00 = $F_{osc}/2$

01 = $F_{osc}/8$

10 = $F_{osc}/32$

11 = F_{RC} (reloj derivado del oscilador RC interno del módulo A/D)

CHS2:CHS0 (bits 5 al 3): Bits para seleccionar el canal Analógico de acuerdo a la siguiente tabla:

Código Binario	Canal
000	Canal 0 (RA0/AN0)
001	Canal 1 (RA1/AN1)
010	Canal 2 (RA2/AN2)
011	Canal 3 (RA3/AN3)
100	Canal 4 (RA5/AN4)

Tabla 3.14 Canales analógicos de conversión⁵²

GO/DONE (bit 2): Bit que demuestra el estado de la conversión A/D. Si el bit se encuentra en 1, la conversión A/D está en progreso (el micro coloca el uno una vez que la conversión arranca). Si el bit se encuentra

⁵¹ www.microchip.com

⁵² www.microchip.com

en 0, quiere decir que la conversión ha concluido (este bit es automáticamente limpiado vía hardware una vez que la conversión termina).

Sin implementar (bit 1): Este bit es leído como '0'.

ADON (bit 0): Bit para encender la conversión A/D. Si es 1, el módulo A/D está operando; si es 0, el módulo A/D está apagado y consume corriente de no operación.

Registro ADCON1: Este registro sirve para configurar las funciones de cada pin del puerto. La figura 3.9 muestra la distribución de pines del mismo:

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Figura 3.9 Distribución de pines del registro ADCON1⁵³

De donde es posible detallar la función de cada uno de los bits del registro a continuación:

ADFM (bit 7): Bit que sirve para seccionar el formato del resultado. Si el bit es uno el resultado se justifica desde la derecha, esto quiere decir que los 6 bits mas significativos de ADRESH son leídos como '0'. Si el bit es cero, el resultado se justifica desde la izquierda, entonces los 6 bits menos significativos de ADRESL se leerán como '0'.

Sin implementar (bits 6 al 4): Son leídos como '0'.

⁵³ www.microchip.com

PCFG3:PCFG0 (bits del 3 al 0): bits para configurar el control del puerto A/D. Se configuran de acuerdo a la tabla mostrada a continuación:

Los registros ADREH:ADRESL contienen un número digital de 10 bits, el cual es el resultado de la conversión A/D. Una vez que la conversión está completa, el resultado es cargado dentro de estos registros, además el bit GO/DONE es limpiado y el bit de la bandera de interrupción ADIF se pone en 1L.

En resumen, éstos son los pasos a seguir para implementar la conversión A/D:

1. Configurar el módulo A/D:

- Configurar pines analógicos/voltaje de referencia y entradas y salidas digitales (con ADCON1).
- Seleccionar el canal de entrada (con ADCON0).
- Seleccionar el reloj de conversión (con ADCON0).
- Encender el conversor A/D (con ADCON0).

2. Configurar las interrupciones A/D (si fuese necesario):

- Limpiar el bit ADIF.
- Poner en uno el bit ADIE.
- Poner en uno el bit PEIE.

- Poner en uno el bit GIE.

PCFG3: PCFG0	AN7 ⁽¹⁾ RE2	AN6 ⁽¹⁾ RE1	AN5 ⁽¹⁾ RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs ⁽²⁾
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	VSS	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	VSS	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	VSS	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	VSS	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	VSS	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	VSS	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	VSS	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

Tabla 3.15 Configuración de bits del puerto A/D (AN7,AN6 y AN5 no se encuentran disponibles en el PIC16F876)⁵⁴

- Esperar por el tiempo de adquisición necesario.
- Comenzar la conversión:
 - Poner en uno el bit GO/DONE (en ADCON0)
- Esperar hasta que la conversión A/D esté completa, luego de esto:
- Leer el resultado digital almacenado en los registros ADRESH:ADRESL y limpiar el bit ADIF si es necesario.
- Para la siguiente conversión, se deben seguir los pasos 1 y 2.

⁵⁴ www.microchip.com

- El pin CCP1 es puesto a uno (excepto cuando la duración del ciclo o *duty cycle* es igual a cero, entonces el pin no será puesto a uno).
- El ciclo útil cambio de CCPR1L (bajo) a CCPR1H (alto).

Duración del período PWM o *Duty Cycle*: La duración del ciclo se especifica escribiendo su valor dentro del registro CCPR1L y con los bits <5:4> de CCP1CON. El primero contiene los ocho bits más significativos y los bits CCP1CON <5:4> contienen los 2 menos significativos. Este valor de 10 bits está representado por CCPR1L:CCP1CON<5:4>. La siguiente ecuación se usa para calcular la duración del período PWM en el tiempo:

$$\text{PWM duty cycle} = (\text{CCPR1L} : \text{CCP1CON} < 5 : 4 >) * T_{\text{osc}} * (\text{valor de preescala de TMR2})$$

El valor de CCPR1L y CCP1CON<5:4> puede ser escrito en cualquier momento, pero el valor de la duración del período no cambiará a CCPR1H hasta que el valor de PR2 sea igual al de TMR2. En modo PWM, el registro CCPR1H es solamente de lectura.

La máxima resolución para una frecuencia PWM, F_{PWM} , está determinada por la siguiente fórmula:

$$\text{Resolution} = \frac{\log\left(\frac{F_{\text{OSC}}}{F_{\text{PWM}}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

dónde: F_{OSC} = Frecuencia de Oscilación del PIC
 F_{PWM} = Frecuencia del período PWM

Configuraciones para la operación PWM: Los siguientes pasos pueden ser tomados cuando se configura que el módulo CCP trabaje como PWM:

1. Configurar el período PWM escribiendo el valor adecuado en el registro PR2.
2. Configurar la duración del período PWM escribiendo el valor correspondiente en el registro CCPR1L y los bits CCP1CON<5:4>.
3. Convertir al pin CCP1 en una salida poniendo a cero el bit 2 del registro TRISC.
4. Configurar el valor de pre-escala del TMR2 y habilitar el Timer2 escribiendo en el registro T2CON.
5. Configurar el módulo CCP1 para que opere en modo PWM.

3.1.9.4 Configuración de las salidas digitales

Se especifica a continuación, la configuración del puerto B, esto como referencia y debido a que éste será el puerto utilizado más adelante en el diseño.

El puerto B es un puerto bidireccional de 8 bits. Su correspondiente registro de direcciones de datos es TRISB. Si se setea (se pone un uno lógico)cualquier bit del pósito B, este corresponderá a una entrada digital del registro PORTB, en cambio, si se limpia o se pone un cero en cualquier bit de TRISB, este bit corresponderá a una salida digital del puerto PORTB. Tres pines del registro PORTB son multiplexados con la función de Voltaje de Programación Bajo: RB3/PGM, RB6/PGC y RB7/PGD.

Cada uno de los pines del pósito B tienen una resistencia interna de pull – up. Un único bit de control puede ser encendido para todas las resistencias de pull – up. Esto se consigue limpiando el bit RBPU (bit 7 del registro OPTION_REG). Las resistencias de pull – up son automáticamente apagadas cuando el pin del pósito es

configurado como salida. Las resistencias de pull – up son deshabilitadas en la función Power – on Reset.

Es importante tomar en cuenta en el momento de la programación y asignación de entradas y salidas digitales, que para configurar una entrada o salida digital, primero se debe ingresar al banco 1 de registros (*bank 1*), y aquí asignar un uno (entrada digital) o un cero (salida digital), de acuerdo a los requerimientos del usuario.

Una vez determinadas las entradas y salidas digitales, es importante regresar al banco 0 para trabajar con los pines del pórtico B, pues es el registro PORTB (ubicado en el banco 0), el que cambiar  de uno a cero o de cero a uno, ya sea como entrada o como salida digital.

3.2 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 cual 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 cuál se encuentra montado sobre un convertidor de voltajes serial, el mismo que realiza una tarea inversa a la realizada en el dispositivo fijo, pues ahora convierte los voltajes CMOS recibidos desde el módulo remoto en voltajes RS232 (es decir ± 12 VDC). A continuación, y 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).

3.2.1 COMUNICACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS DEL PROTOTIPO

Analizando lo descrito anteriormente, es importante el determinar y configurar ciertos parámetros propios de los módulos XBEE, los cuáles determinarán que éstos puedan comunicarse entre sí. Observando la tabla 3.6 es importante notar que todas las direcciones vienen configuradas a cero por defecto, con lo cual, si se conectan los dos módulos XBEE para que se comuniquen entre sí, esta comunicación tendría varios problemas, por ejemplo se perderían datos enviados de cualquiera de los dos módulos hacia el otro debido a que, como se indicó en la parte de direccionamiento de los módulos, los dos dispositivos enviarán datos a manera de un mensaje *broadcast*, por lo cual se presentará un conflicto, ya que a la vez que el uno se encuentra transmitiendo, intentará recibir su propia información, ya que la dirección de destino no se encuentra especificada, lo que puede producir pérdida continua de datos.

Tomando en cuenta este importante aspecto, así como el hecho de que la comunicación se producirá entre dos módulos (por tanto será punto a punto) y analizando el ejemplo presentado en la tabla 3.4 del presente capítulo, en el cuál se plantean ciertos parámetros para establecer un enlace unicast sencillo, se han configurado 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 3.16 Configuración de direcciones para comunicación punto a punto entre la base y el remoto del prototipo

De esta manera se asegura una comunicación punto a punto, en donde, mientras la base transmite, el módulo remoto espera los datos y viceversa; de esta forma no se pierden datos.

Otro aspecto importante a ser tomando en cuenta es la velocidad de comunicación entre el host y el módulo base, así como la velocidad entre el módulo RF remoto y el dispositivo encargado del control (que en este caso será un microcontrolador), estas velocidades deben ser siempre las mismas para evitar pérdidas de datos o sobreflujo de información.

Debido a que en el presente capítulo se mencionan ciertas recomendaciones sobre la velocidad (entre ellas que la velocidad de comunicación no sea muy alta), y para asegurar la recepción de todos los datos enviados de uno u otro lado, se configuraron las velocidades de los módulos a 1200 bps. Asegurando de esta forma, una comunicación fiable.

Existen dos maneras de comunicarse con los módulos RF para cambiar los parámetros de configuración mencionados con anterioridad, de cualquier forma, el dispositivo responderá de la misma manera:

1. Vía Hyper Terminal (programa propio del sistema operativo Windows), en el cual es posible ingresar al Modo de Operación de Comandos AT del módulo utilizando la sintaxis indicada en la figura 3.5, adicionalmente se debe hacer uso de la información sobre los comandos AT para configurar los parámetros necesarios para el enlace punto a punto descrito.

2. Utilizando el software gratuito creado por los fabricantes de los módulos y el cual sirve además para otras situaciones tales como: determinar la versión del software y hardware, ingresar en el modo de comandos AT, chequear la conexión serial entre el host y el dispositivo, entre otras funciones.

3.2.1.1 Software X-CTU de MAXSTREAM

X-CTU es un software que provee Maxstream y que se utiliza para la interfaz y la configuración de los módulos RF XBEE. Este programa se encuentra distribuido en cuatro opciones, las cuales son las siguientes:

- **Configuraciones del PC:** Sirve para configurar los puertos seriales que intervendrán en la comunicación con el módulo RF.
- **Opción de prueba de Rango:** Donde se puede realizar un test del rango del módulo RF, además presenta una pantalla con los paquetes recibidos y transmitidos.
- **Opción Terminal:** Usado con el fin de configurar o leer los parámetros del dispositivo RF utilizando para ello comandos AT.
- **Opción de Configuración del Modem:** Para configurar o leer los parámetros del módulo RF.

Debido a que este programa es de libre circulación y no requiere licencia alguna, en el presente diseño se hizo uso del mismo para configurar los parámetros descritos en la tabla 3.16, así como la velocidad de comunicación de ambos módulos. Esta configuración se muestra en las siguientes figuras:

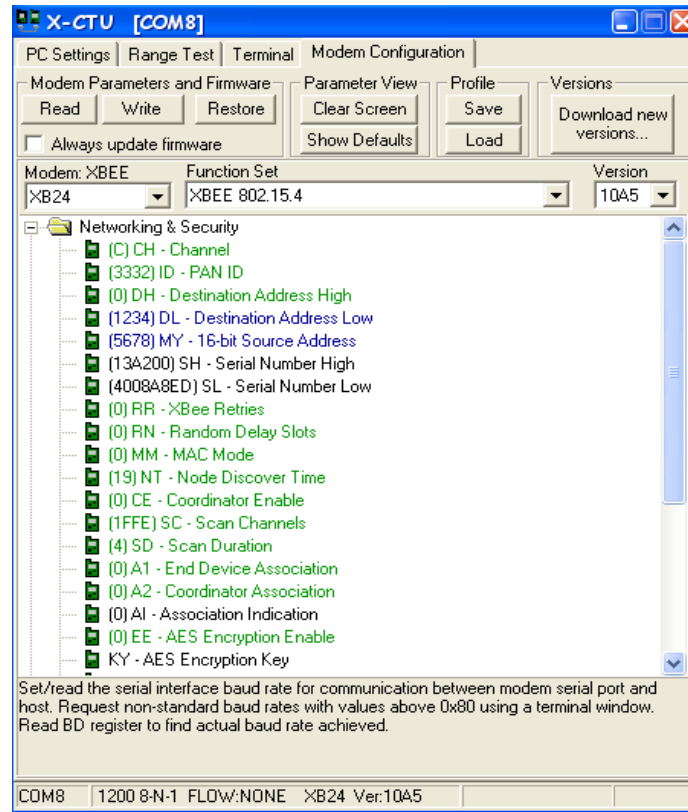


Figura 3.12 Pantalla de configuración del módulo base (DL y MY)⁵⁶

En cuanto a la configuración de la velocidad de transmisión para el mismo módulo base, la figura 3.13 muestra la configuración del parámetro, el que ha sido calibrado a 1200 bps.

Una vez realizada la disposición de los elementos inalámbricos, es importante determinar también la configuración del resto de elementos que participan en el diseño, en este caso del PIC16F628 y del MAX232.

En cuanto al microcontrolador, se deben cargar los datos en los registros respectivos a la comunicación serial siguiendo las indicaciones vertidas en párrafos anteriores, es importante anotar que la velocidad de comunicación serial de este elemento debe ser la misma que la de los módulos XBEE, pues si es diferente, existen errores en el envío y transmisión de datos.

⁵⁶ www.maxstream.net

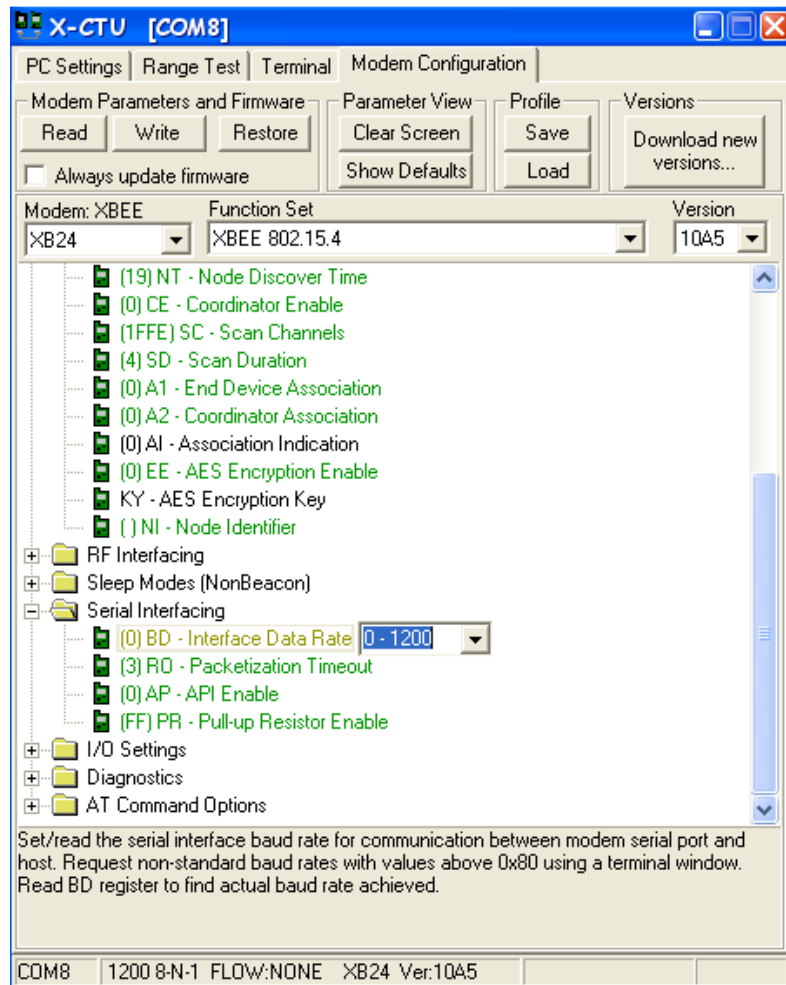


Figura 3.13 Configuración de la velocidad de transmisión serial para el módulo base⁵⁷

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.

El circuito integrado MAX232 no necesita mayor configuración, pues éste simplemente convierte los niveles de voltaje RS232 (± 12 VDC) a niveles TTL (± 5

⁵⁷ www.maxstream.net

VDC), por lo cual debe ser conectado como se indica en la hoja de datos del mismo. El único cambio realizado en este circuito es la inclusión de capacitores cerámicos de $0.1\mu\text{F}$ en vez de los capacitores electrolíticos de $1\mu\text{F}$ que se muestran en la figura 3.14, la razón para dicho cambio es que los primeros son más rápidos al cargarse y descargarse, por lo tanto se tendrá una mayor velocidad de respuesta de parte del CI.

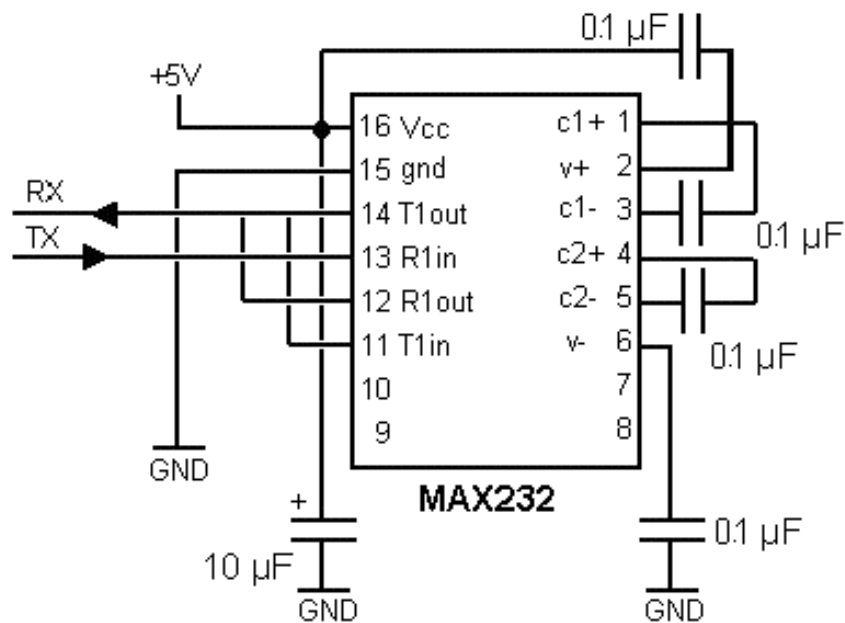


Figura 3.14 Conexión del CI MAX232

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

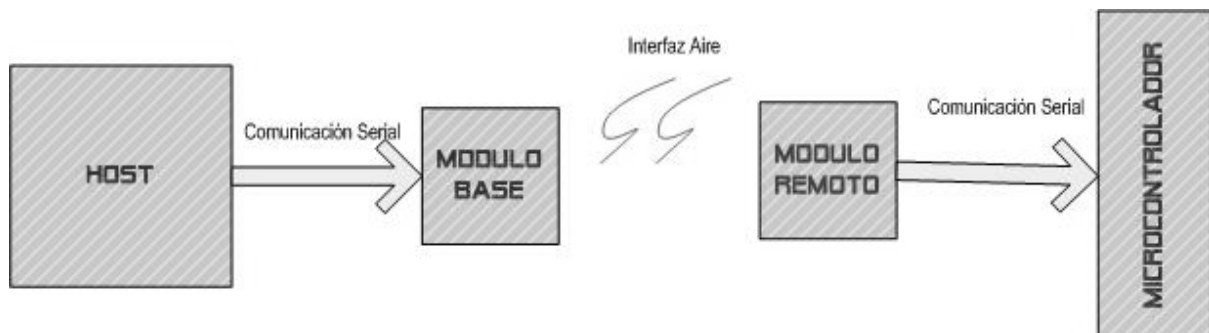


Figura 3.15 Esquema de comunicaciones completo del prototipo

3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN DEL HOST

El host es el PC que contiene la aplicación de interfaz del usuario, la cual, a través de un formato sencillo y fácilmente entendible, sirve de nexo entre la persona que controla el sistema (en este caso el prototipo) y el elemento que realiza el control de las variables determinadas anteriormente.

Esta aplicación 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 a 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.

Se escogió el programa Microsoft Visual Basic 6.0 para crear el ejecutable del programa debido a que el mismo posee una interfaz de usuario sencilla y amigable, maneja lenguaje de programación básico y brinda opciones importantes que facilitan las tareas del programador, pues con pocas líneas de código se puede establecer la comunicación serial, enviar datos, etc.

Visual Basic 6.0 es uno de los lenguajes de programación que más entusiasmo despierta entre los programadores de PCs, tanto expertos como novatos. En el caso de los programadores expertos por la facilidad con la que desarrollan aplicaciones complejas en poquísimo tiempo (comparado con lo que cuesta programar en Visual C++, por ejemplo). En el caso de los programadores novatos por el hecho de ver de lo que son capaces a los pocos minutos de empezar su aprendizaje. El precio que hay que pagar por utilizar Visual Basic 6.0 es una menor velocidad o eficiencia en las aplicaciones.

Visual Basic 6.0 es un lenguaje de programación visual, también llamado lenguaje de cuarta generación. Esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla.

La primera pantalla de la aplicación es la presentación de la misma, la cual contiene los datos básicos del presente proyecto de titulación, tal como se muestra en la figura inferior:



Figura 3.16 Pantalla de inicio de la aplicación del Host

A continuación se muestra una pantalla de alerta en la cual el programa indica que antes de utilizar el mismo se debe instalar los controladores que convierten la comunicación USB del host hacia la tarjeta del módulo base, en comunicación serial.

Una vez que el usuario instale estos drivers, se procede a presionar el botón Aceptar, con lo que se dará paso a la próxima pantalla, la misma que invita al usuario a realizar un escaneo completo de los puertos seriales disponibles para la comunicación serial.

Una vez que se presione el botón de Escaneo de Puertos la aplicación procede a evaluar los primeros 16 puertos seriales abriéndolos, si alguno de ellos no responde a esta petición, el programa devolverá un mensaje de error indicando el número del puerto que no está disponible para su uso. Una vez terminado la revisión de los COM's, se crea una lista que reseña y muestra en pantalla cada uno de los puertos útiles y listos para la comunicación. La persona que utiliza el software es entonces capaz de elegir el puerto deseado colocando el cursor sobre el mismo. Cuando se realiza esta acción, automáticamente el Programa de Control habilitará el puerto escogido y lo abrirá, teniéndolo listo tanto para la transmisión como para la recepción.



Figura 3.17 Lista de puertos hábiles para la conexión serial

Finalmente, se ha colocado un botón disponible en cualquier pantalla, que puede ser usado para cambiar a otro puerto debido a cualquiera de las siguientes razones:

- El usuario erró en la habilitación del puerto deseado,
- Quizá el puerto seleccionado presenta problemas para la comunicación serial,
- Se ha conectado físicamente a un puerto serial incorrecto el dispositivo con el cual se desea comunicarse o,
- Simplemente si el interesado desea utilizar otro puerto habilitado.

Ya determinado el puerto de comunicaciones, la siguiente pantalla en aparecer será el Menú Principal del Sistema. Es importante conocer que una vez que arranque o se cargue esta pantalla, el microprocesador enviará la temperatura de la habitación donde se encuentre ubicado el módulo remoto permanentemente (el dato se actualiza cada tres segundos, pues el PIC envía el nuevo valor de temperatura después de ese tiempo) hacia la aplicación del host, el mismo que mostrará este valor permanentemente en la parte inferior derecha de la pantalla, sin ser necesario que el usuario se ubique en el Menú Principal.

Es importante además anotar que si se presiona el botón “Control de Luces” aparecerá otra pantalla que presenta dos opciones para seleccionar: “Luz Fija” o “Luz con Control de Intensidad”, debido a que en el diseño se tienen dos lámparas incandescentes, una se prende y apaga, y la otra puede trabajar con intensidades de 0 a 100%.

Si se escoge la opción de “Control de Electrodomésticos”, enseguida se muestra una pantalla que indica el estado de la línea AC (si la misma está abierta o cerrada)

además de un botón para prender o apagar el aparato eléctrico conectado a la línea (las mismas opciones y resultados se obtendrán pulsando el botón “Luz Fija”).



Figura 3.18 Menú Principal de la Aplicación

Otro detalle importante de resaltar es el hecho de que cada pantalla posee un botón de Reset (excepto la pantalla Menú Principal), el mismo que sirve al usuario para apagar todas las luces y abrir la línea AC; el único dato que no se pierde en ningún momento es el de la temperatura ambiente. Si se utiliza el botón de Salir también regresan las variables a cero (apagadas), esto para evitar confusiones el momento de reingresar al programa.

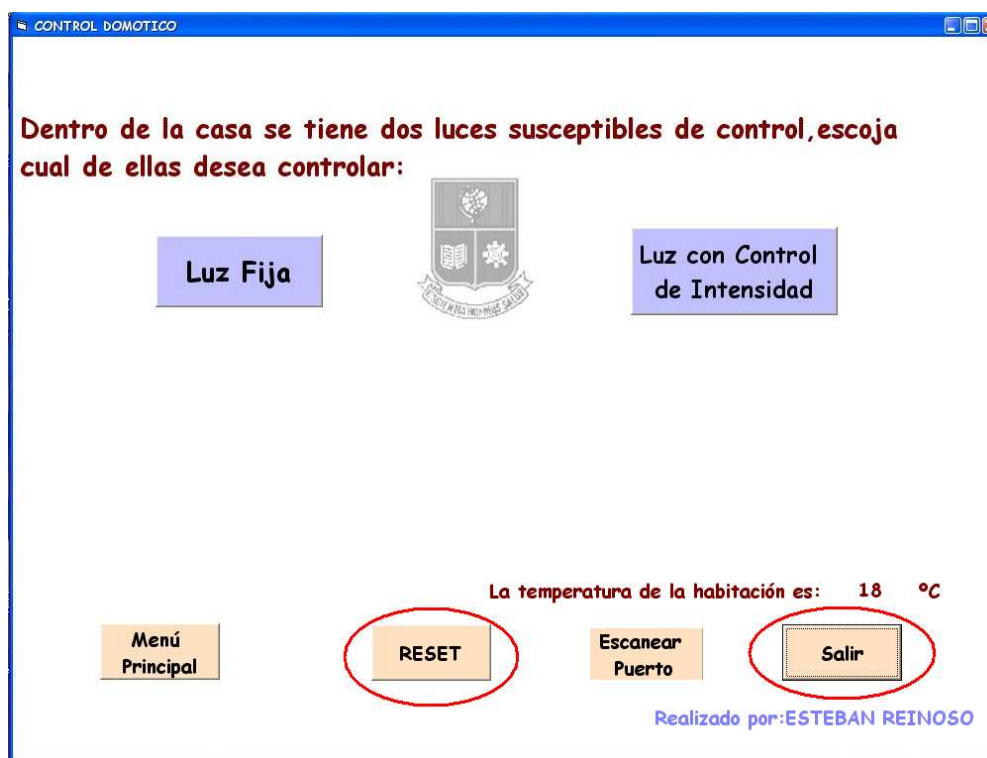


Figura 3.19 Botones de Reset y Salir de la Aplicación

3.2.3 BREVE DESCRIPCIÓN DEL SENSOR LM35DZ⁵⁸

El circuito integrado LM35 es un sensor de temperatura de precisión, cuyo voltaje de salida es linealmente proporcional a la temperatura en grados Celsius o Centígrados. El sensor LM35 tiene una ventaja sobre aquellos sensores calibrados en grados Kelvin, pues el usuario no necesita sustraer una constante de voltaje grande desde su salida para obtener una conveniente escala en grados Centígrados.

No requiere de calibración externa o regulación para proveer medidas con variaciones de ± 1.4 °C en habitación y ± 3.4 °C en exteriores sobre una escala completa de -55 a 150 °C. Características como la baja impedancia de salida, salida lineal y una calibración interna precisa facilitan la interfaz de lectura y control.

⁵⁸ www.alldatasheets.com

El LM35DZ puede ser utilizado con una sola fuente de alimentación o más fuentes, pues consume sólo 60 μA de su fuente; tiene un calentamiento interno menor a 0.1 $^{\circ}\text{C}$ en el aire. El sensor LM35 puede ser aplicado fácilmente en la misma forma que otros circuitos integrados. Puede ser pegado o fijado en una superficie y la temperatura registrada variará en 0.01 $^{\circ}\text{C}$ con respecto de la temperatura de la superficie.

Algunas características propias del sensor, se pueden detallar las mismas en la siguiente tabla:

Parámetro
Calibración Directa en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$)
Factor de escala lineal de +10.0 mV/ $^{\circ}\text{C}$
Precisión garantizada de 0.5 $^{\circ}\text{C}$ a 25 $^{\circ}\text{C}$ (ambiente)
Rango completo de -55 a + 150 $^{\circ}\text{C}$
Adecuado para aplicaciones remotas
Bajo costo
Opera desde 4 a 30 VDC
Corriente de consumo menor a 60 μA
Baja impedancia de salida, 0.1 Ω con carga de 1 mA
No linealidad típica de solo ± 1.4 $^{\circ}\text{C}$

Tabla 3.17 Características del sensor LM35DZ⁵⁹

La distribución de pines es la siguiente:

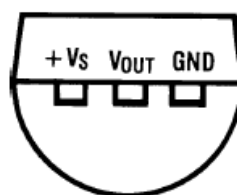


Figura 3.20 Distribución de pines LM35DZ⁶⁰

Y la configuración típica que se utiliza en el presente diseño, es la siguiente:

⁵⁹ www.alldatasheets.com

⁶⁰ www.alldatasheets.com

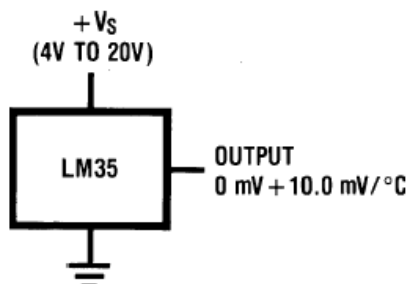


Figura 3.21 Configuración típica del LM35DZ⁶¹

3.2.4 DESCRIPCIÓN Y DISEÑO DE LA TARJETA DE CONTROL

Como se indicó anteriormente, las tarjetas de los módulos XBEE son fabricadas por Maxstream, las cuales convierten los voltajes tanto de RS232 a CMOS como de CMOS a RS232. La única diferencia entre éstas es el conector de comunicación que poseen, ya que aunque la tarjeta del módulo base posee un conector USB, ésta se comunica con el PC de manera serial. El CD adjunto al presente proyecto contiene los drivers tanto para el reconocimiento de la tarjeta como para convertir el puerto USB en serial.

En la figura 3.22 se muestran estas tarjetas junto con los módulos, la de la izquierda es la tarjeta del módulo base y la de la derecha pertenece al módulo remoto (que de paso no necesita la instalación de ningún driver, pues apenas se conecta se encuentra lista para transmitir y recibir).

En cuanto a la tarjeta de control, ésta contendrá todos los elementos necesarios tanto 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.

⁶¹ www.alldatasheets.com

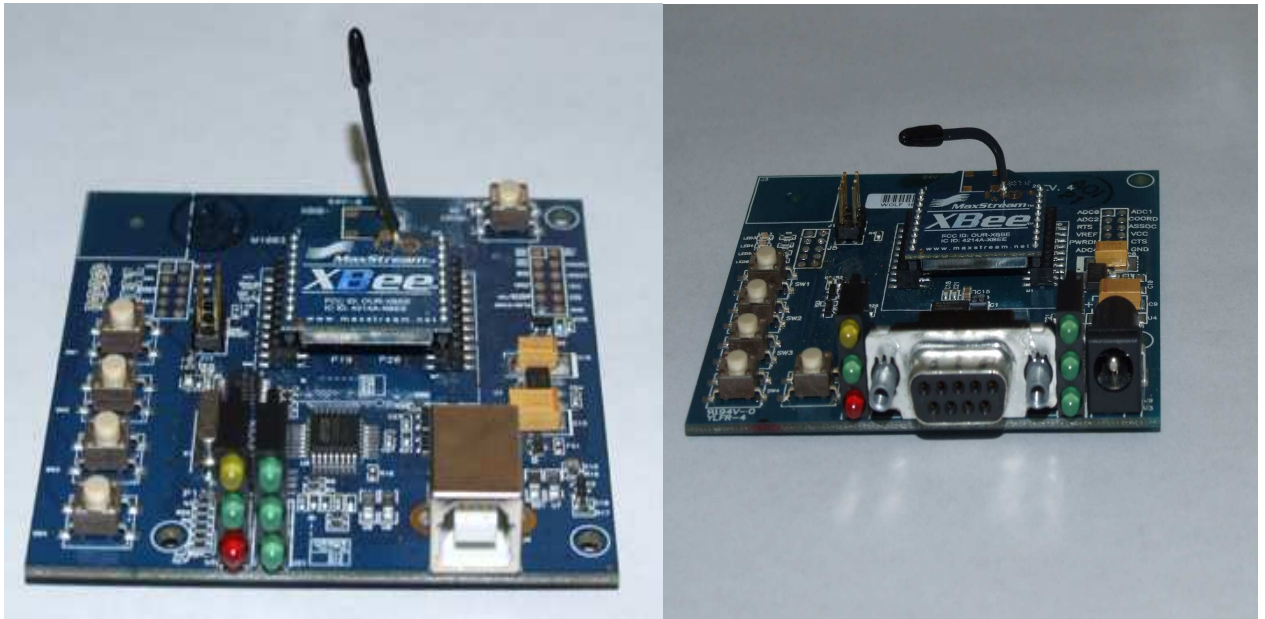


Figura 3.22 Tarjetas de los módulos XBEE

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 realizar 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 de luz de la otra luz 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*), el mismo que fue descrito en el capítulo anterior, estos elementos activarán o desactivarán 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.

Finalmente, el LM35DZ ha sido conectado tal como se describe en su hoja de datos y de acuerdo a la figura 3.19, además se deben incluir los subcircuitos propios de la configuración del PIC, tales como el circuito para el reset y para la oscilación del mismo.

Con el fin de visualizar de mejor manera el diseño descrito en estas líneas, la figura 3.23 muestra el esquemático de la tarjeta de comunicación y control.

Es importante además, indicar el diagrama del esquema ruteado, que presente la manera cómo se distribuyen las pistas y conexiones en la tarjeta en la figura 3.24.

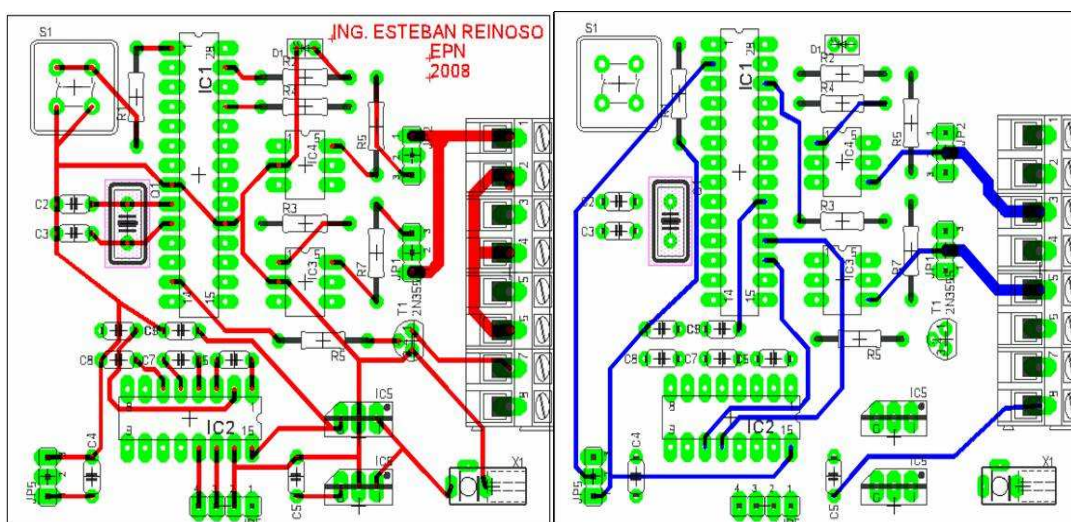


Figura 3.24 Ruteado de la tarjeta de control

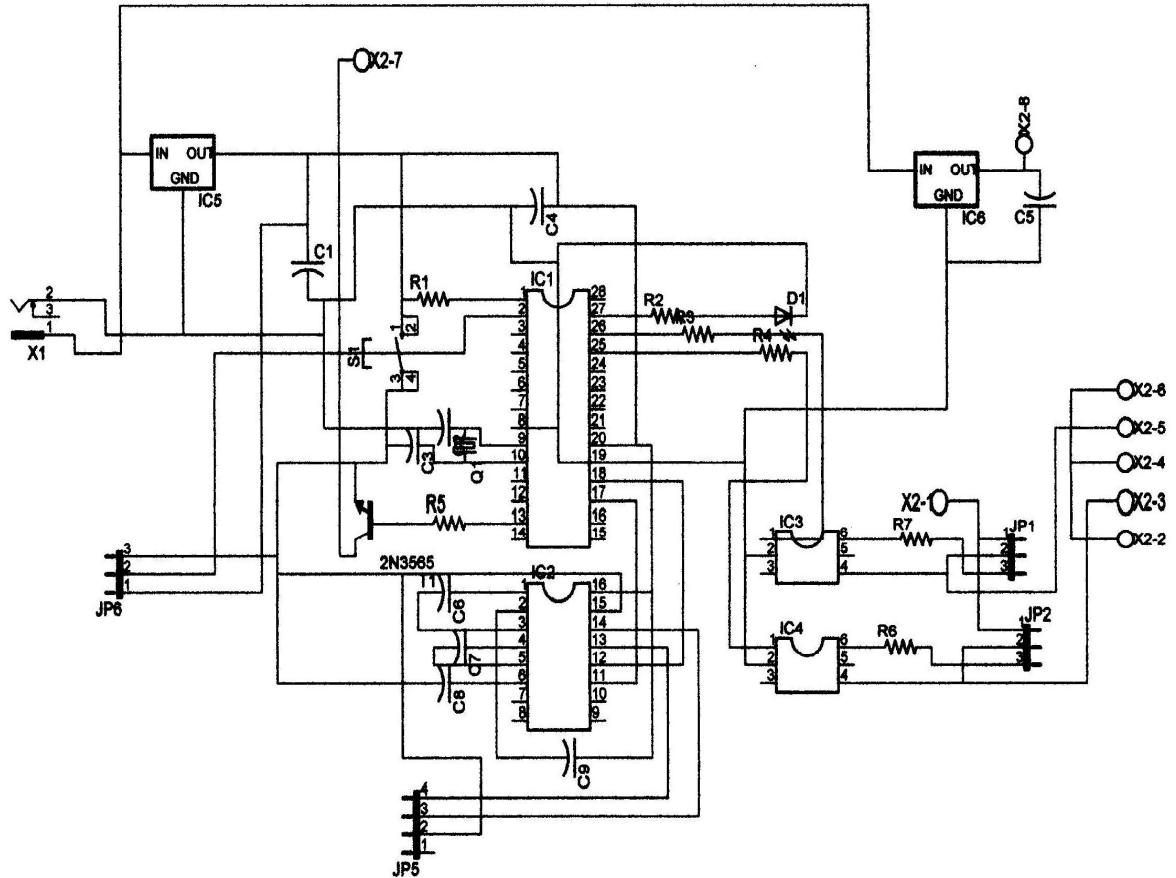


Figura 3.23 Esquemático de la tarjeta de control diseñada

La tarjeta diseñada, ruteada y quemada se verá de la siguiente forma:

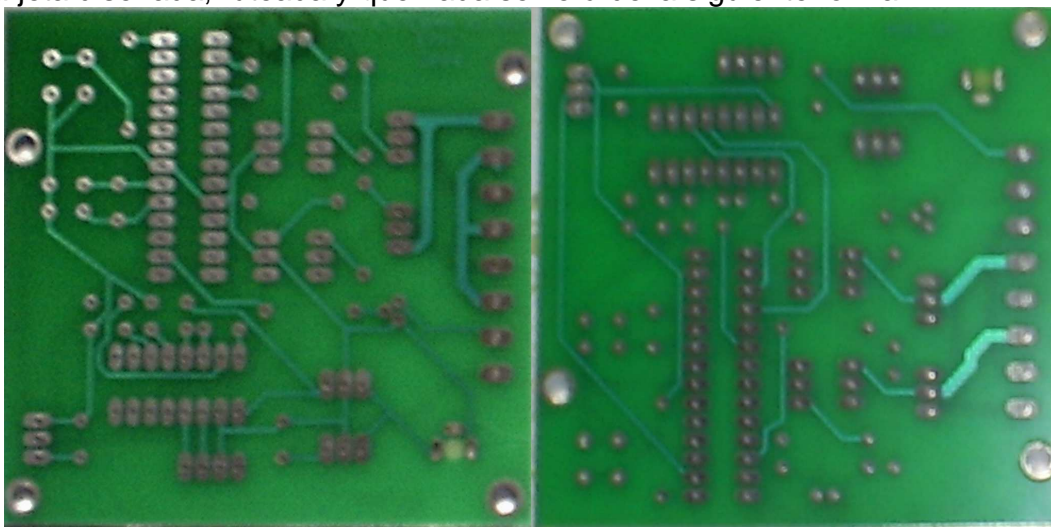


Figura 3.25 Tarjeta lista para ser utilizada

Finalmente, el diseño de la tarjeta se completa soldando los elementos descritos anteriormente en la placa, distribuyendo correctamente los mismos, la placa terminada quedaría de la siguiente forma:

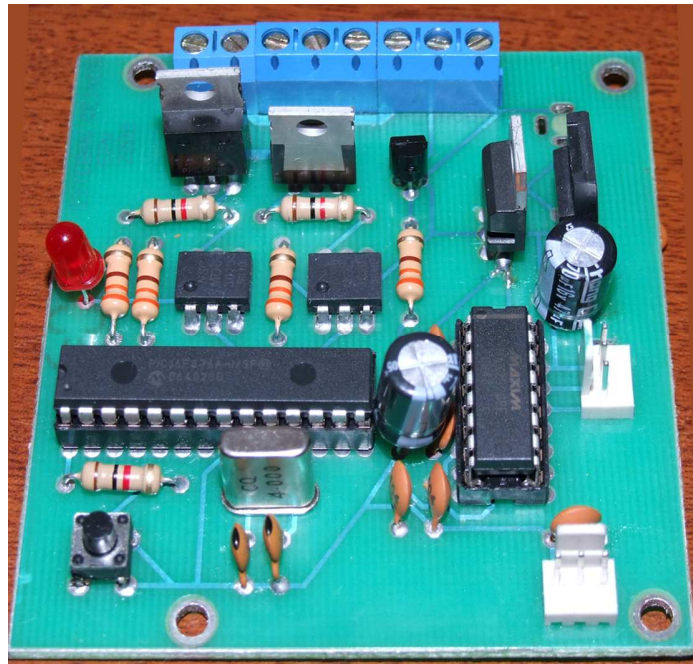


Figura 3.26 Tarjeta de control terminada

Esta tarjeta será conectada hacia los focos, el elemento eléctrico escogido y el sensor de temperatura LM35DZ, los mismos que se encuentran montados dentro de una maqueta diseñada de acuerdo a la figura 2.4 del capítulo anterior, la misma que describe la planta baja del Hogar Domótico que sirvió como modelo para el diseño de la Red del capítulo dos. Todos estos elementos serán montados sobre la maqueta, la cual luce tal como lo indica la figura 3.27.

En este punto, el diseño del prototipo quedará listo para ser probado y analizar los resultados obtenidos de estos ensayos, que serán incluidos en el siguiente capítulo, en el que se describirá el comportamiento del dispositivo para diferentes distancias de conexión entre los elementos ZigBee.

En los anexos II y III se incluyen tanto el programa final con el cual trabaja el PIC16F876, como la programación para los formularios y el módulo de la aplicación del Host realizada en lenguaje BASIC.



Figura 3.27 Tarjetas de control montadas sobre la maqueta y módulo base dentro de su caja

CAPÍTULO IV

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE CONTROL

4.1 IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE DISTANCIAS Y CONECTIVIDAD DEL PROTOTIPO

Se debe hacer hincapié en este aspecto, pues resulta básico el examinar los detalles de cómo se conectan entre sí tanto los módulos como el Sistema Completo, pues se debieron seguir ciertos parámetros influyentes con el fin de conseguir los resultados esperados.

En cuanto a la conexión entre dispositivos XBEE, éstos lograron conectarse de forma inmediata entre ellos una vez que se configuraron las direcciones detalladas en la tabla 3.16, pues de lo contrario ambos transmitían y recibían la información al mismo tiempo, causando caos en la conexión, además de pérdidas importantes de datos.

Para comprobar que el envío y la recepción de datos sean correctos entre los módulos, se utilizaron dos computadores, en los que se instaló el software propietario gratuito de MAXSTREAM, el X-CTU, con el cual se pueden enviar caracteres desde uno de los módulos hacia el otro y viceversa, de tal manera que se visualicen en pantalla todos los números o letras transmitidos.

Cuando se comprobó la comunicación únicamente entre módulos, por separado se implementó un circuito en protoboard para probar la comunicación entre el PIC16F876 y el PC. Para esto se diseñó un programa sencillo que simplemente configuraba los registros del módulo Asíncrono USART del microcontrolador, además de almacenar el dato recibido en una variable. Este programa escanea una bandera de recepción que cambia una vez que se obtiene un dato; en este momento se toma

el dato guardado en un registro para pasarlo al acumulador W y ser transmitido desde aquí de regreso al PC en forma inmediata. Este esquema se convertirá después en la subrutina de comunicación serial del programa completo de control de las variables asignadas en el presente proyecto. Para la comunicación física entre el PC y el PIC se utilizó como interfaz de voltajes un MAX232, el que convierte voltajes TTL en RS232 y viceversa.

Una vez probada la comunicación por partes, se procedió a conectar entre sí el Sistema Completo: primero el Host hacia el módulo base de manera serial, éste conectado vía RF con el módulo remoto, el mismo que se conecta al PIC de manera serial a través de la transformación de voltajes del MAX232.

En este punto se presentaron ciertas dificultades debido a que en primera instancia se conectaron directamente el módulo remoto a los pines de TX y RX del PIC, pero no se obtuvieron los resultados deseados pues el microprocesador recibía los datos corrompidos desde el módulo y entonces entregaba información 'basura' de regreso al Host. La razón de tal suceso era el hecho de que los voltajes de recepción y transmisión del módulo XBEE son de 3.3VDC exactos, en cambio el PIC recibe y transmite a 5 VDC y pese a que se diseñó un circuito que transformaba voltajes de 3.3 a 5 VDC además de invertir la señal recibida en el XBEE, se siguió teniendo datos 'basura' en el PIC.

Se realizaron nuevas pruebas utilizando el puerto serial de salida de la tarjeta de transformación de voltajes del dispositivo remoto, desde donde se tomaron los datos recibidos por el módulo y amplificados a 12 VDC por el MAX de dicha tarjeta, para luego ingresar estas señales digitales de unos y ceros al MAX232 inicial, el mismo que toma este voltaje invertido de 12 y - 12 VDC y lo transforma a voltajes TTL. De esta forma el PIC reconocía estos valores como el código correcto y devolvía exactamente lo que se le enviaba.

Una vez comprobada la correcta comunicación 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.

4.2 PRUEBAS DE DISTANCIAS DEL PROTOTIPO

Antes de montar el prototipo sobre la maqueta desarrollada en base a la Planta Baja del Hogar Domótico del Capítulo II, es importante probar que el diseño funciona teniendo los dos módulos inalámbricos juntos, para de esta manera descartar cualquier posible error en cuanto al Control de las Variables pre establecidas; con esto se previene futuros inconvenientes que resultarían difíciles de solucionar una vez armado todo el prototipo.

En cuanto a conectividad y cumplimiento de las tareas por parte del PIC, en esta primera parte no se obtuvieron problemas (una vez programado el microprocesador y depurada la aplicación de Control en Visual Basic), por lo cual, 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.

Primero se experimentó dentro de distancias pequeñas y encontrándose dentro de una misma habitación, como es el caso de la sala – comedor, en donde se obtuvieron resultados óptimos en cuanto a funcionamiento y nivel de señal del módulo remoto, pues éste trabajó de manera adecuada y además captó una buena señal.

Luego se aumentó un poco más la distancia, pues el módulo base junto con el Host se quedaron en una misma habitación, mientras el remoto fue trasladado a otra habitación en la Planta Baja, distancias para las cuáles el Prototipo responde aún de manera óptima, ya que siguió actuando de forma correcta y con un buen nivel de señal.

Para seguir probando cuál sería el alcance máximo de los módulos y sobre todo si éste tendría inconvenientes dentro de una Casa normal, se trasladó el Módulo Remoto hacia la Planta Alta de la Vivienda, mientras el Dispositivo Base permanecía en el mismo sitio.

Para estas condiciones el Sistema siguió trabajando de modo adecuado, pues aunque disminuyó un poco el nivel de señal recibida, no se obtuvieron pérdidas de datos en cuanto al registro de temperatura, además el microprocesador obedeció de manera perfecta las órdenes recibidas por parte del Host.

Finalmente se procedió a colocar la maqueta con el prototipo en el extremo más apartado del Segundo Piso con respecto al Host y el Módulo Base, es decir, fueron separados la mayor distancia posible entre sí con el fin de comprobar si en estas condiciones existiría algún problema.

Realizando las correspondientes pruebas al diseño, 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.

Finalizadas las pruebas de conectividad y distancia, y pese a que en condiciones extremas en cuanto a distancia 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.

4.3 ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO

Tal como se indicó en el Capítulo II, a continuación se proporcionan valores más exactos que representen fielmente el costo real del Prototipo diseñado. Es importante destacar que los valores anotados a continuación brindan una idea clara de lo que costaría implementar realmente este diseño.

Es fundamental mencionar el hecho de que el PIC16F876 posee cinco entradas análogas (conversión A/D), dos pines PWM (para controlar intensidad de luz o velocidad de un motor de paso, en el caso de las persianas, por ejemplo), incluyendo

además tres puertos (24 pines en total) que pueden ser utilizados de acuerdo a las necesidades de configuración del prototipo (usándolos tal como se explicó anteriormente en este párrafo o como entradas o salidas digitales), lo cual otorga más funcionalidad y versatilidad al presente diseño, igualmente es posible abaratar costos, debido a que con un solo dispositivo remoto XBEE y un PIC se podrán controlar varios puntos y variables de la misma habitación.

En cuanto a los beneficios al implementar este prototipo, estos serían básicamente un ahorro en lo que respecta al costo del cableado y el mantenimiento del mismo, además del bajo consumo de energía de los módulos, que a largo plazo representaría una diferencia palpable con respecto a otras tecnologías. A corto y mediano plazo, no se podría percibir realmente el alcance del prototipo en cuanto a costos.

La siguiente tabla detalla los precios de cada componente y el costo total por el diseño y horas invertidas en este proyecto:

Cantidad	Descripción	Costo
1	Kit de Desarrollo XBEE (incluye tarjeta USAB del módulo Base, tarjeta serial del módulo Remoto, cables de conexión, software X-CTU, drivers para puerto USB-Serial y Dos Módulos XBEE Serie 1, además de costos de importación)	\$220,00
1	PIC16F876	\$9,80
1	MAX232	\$1,90
1	LM35DZ	\$2,95
5	Capacitores cerámicos 0.1uF	\$0,50
2	Capacitores electrolíticos 470uF a 16V	\$0,50
2	MOC 3021	\$1,90
2	TRIAC's BT138 600	\$5,00
3	Resistencias de 1K Ω a ½ Watt	\$0,15
1	Pulsador	\$0,30
1	Cristal de 4 MHz	\$3,00
2	Capacitores cerámicos de 15pF	\$0,20
3	Conectores de 3 pines	\$1,50
1	Led color Rojo	\$0,10
3	Resistencias 330 Ω a ½ Watt	\$0,15
1	Conector para Adaptador	\$0,50
1	Bornera 8 pines	\$1,50
1	Baquelita perforada	\$0,35
1	Diseño y Manufactura de Tarjeta de	\$25,00

Comunicación para el Prototipo		
1	Adaptador 22 Voltios DC de Salida	\$10,00
2	Zócalos de 28 y 16 pines	\$1,00
20	Horas de trabajo a \$15/hora	\$300,00
TOTAL (sin IVA)		\$586,30

Tabla 4.1 Costo del Prototipo de Control

Observando la tabla 4.1, se puede concluir que aunque el costo total del dispositivo sea un poco elevado, este precio es relativamente bajo, tomando en cuenta que esta tecnología aún no ha ingresado de manera íntegra al país, debido a su corta existencia; esto implica costos de importación, que aumentan el precio al diseño.

Es importante anotar además, que el dispositivo representa una competencia real frente a otras tecnologías domóticas que existían con anterioridad, aunque siempre es notorio tomar en cuenta que se trata de comunicación inalámbrica, lo que podría abaratar costos en cuánto a cableado y ahorrar tiempo en el montaje de la red.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 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.)
- Este Proyecto sirvió para comprobar que ZigBee es un estándar de comunicación inalámbrico válido para la Domótica, pues para un Hogar Estándar se pueden cubrir todos los puntos distantes dentro de una misma red e incluso con un solo dispositivo remoto; el único condicionante sería el número de elementos que un solo prototipo logre controlar.
- Pese a que la tecnología ZigBee surge como una opción válida para una aplicación domótica, su factibilidad se pone en riesgo 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.

- 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.
- Mientras más baja sea la velocidad de conexión serial del Prototipo (sin tomar en cuenta la parte de RF), el mismo reacciona de mejor manera, pues así se evitan posibles pérdidas de datos o entrega y recepción de datos 'basura', que alterarían completamente el funcionamiento del Sistema de Control.
- El correcto direccionamiento que se les da a cada uno de los dispositivos pertenecientes a la Red ZigBee, evitará la pérdida de datos, pues si éstos transmiten en el momento requerido y reciben de la misma forma, no existirá una posible colisión en el entorno RF que influya en una pérdida de información.
- En el presente Proyecto, la mejor forma para que ambos Módulos XBEE se comuniquen fue el Modo Unicast o conexión Punto a Punto, pero es importante mencionar el hecho de que si se desearía ampliar la Red, se podría utilizar un Modo Broadcast, donde el Dispositivo Base transmita su señal a todos los Remotos conectados a la Red, para que sean éstos los que validen o descarten la información recibida.
- Debido a que los Módulos emiten señales RF en una frecuencia ISM o de libre acceso (2.4 GHz), el uso de aparatos tales como teléfonos inalámbricos afectarán el desempeño del Sistema, pues se podrían presentar pérdidas de datos o interferencia de información.
- El Prototipo diseñado trabaja bien en condiciones reales, esto significa con una temperatura promedio dentro de los límites normales y con distancias que permitan la correcta comunicación entre los dispositivos, además es importante

un factor decisivo para la comunicación: si existen muchas barreras tales como un elevado número de paredes, o que éstas sean muy gruesas y de materiales difíciles de penetrar (por ejemplo concreto) entre los módulos, los mismos no se comunicarán correctamente aunque se tenga una distancia menor a 30 metros (condiciones extremas).

- 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.
- El control de intensidad de luz implementado en este proyecto, es un servicio que contribuye a la comodidad del usuario, ya que éste puede disponer de la intensidad luminosa de acuerdo a sus necesidades, si se llegase al caso de implementar comercialmente el dispositivo, este factor extra resultaría atractivo a posibles interesados de esta idea.
- Las antenas que poseen los módulos ZigBee deben permanecer completamente descubiertas y erguidas para obtener resultados favorables tanto en la transmisión como en la recepción, pues si éstas se encuentran dobladas o cubiertas con objetos extraños el nivel de señal no sería el mismo y la información recibida (o transmitida) sería incorrecta, causando fallos en el funcionamiento del sistema.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable, para un proyecto donde se ha diseñado y elaborado una placa que incluya circuitos integrados susceptibles de cambios (como microprocesadores, memorias, etc.), como en el presente caso, el uso de zócalos con el número de pines correspondiente al elemento que va a ser colocado; de esta forma se podrán realizar posibles cambios o incluso reemplazar un elemento dañado de manera pronta y sin tener que causar perjuicios a la baquelita que pudiesen acarrear alguna consecuencia negativa en el desarrollo final y por tanto en los resultados deseados.
- Antes de tomar alguna decisión en cuanto a la manera como se van a conectar los elementos de un sistema (ya sea de forma serial, paralela, etc.), es importante realizar las pruebas necesarias con el fin de observar el comportamiento del diseño y determinar aquella que convenga más a los requerimientos del proyecto.
- Es importante, antes de utilizar un dispositivo de características parecidas a los Módulos XBEE empleados en el presente Proyecto, determinar en su *Datasheet* las características de los voltajes a los cuales se comunica con elementos externos (tecnología CMOS o TTL), pues de esta forma se evitaría el riesgo de dañar los elementos con voltajes incorrectos de transmisión o recepción.
- Se debe determinar si las fuentes de poder que se vayan a utilizar en un circuito serán capaces de soportar la carga a las que van a ser sometidas, pues en algunas oportunidades este aspecto podría no cumplirse, lo que ocasionaría un funcionamiento deficiente de los elementos que formen parte del diseño así como del circuito propiamente dicho, debido a voltajes de polarización inadecuados.
- En el caso de que se vaya a hacer uso de los Módulos XBEE sin la ayuda

de las tarjetas de conversión de voltajes serial o USB, es necesario diseñar una fuente de alimentación muy confiable y precisa, pues los dispositivos ZigBee son sensibles a fallas de voltaje y pueden resultar averiados de forma permanente, lo aconsejable sería el uso de diodos Zener de 3.3 V a la salida de la fuente para asegurar un voltaje constante.

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.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

<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-una-ldr-conv-ad/>

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

http://www.recursovisualbasic.com.ar/htm/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.learobotics.com/talleres/uca-2005/sesion-3/ejemplos/download/pic16f877.h.html>

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

http://www.winpicprog.co.uk/pic_tutorial7.htm

<http://es.groups.yahoo.com/group/microbotica/message/5788>

<http://www.teleco.upct.es/Docencia/Asignaturas/102114001/2002-03/rs232/rs232low.asm>

<http://www.jvmbots.com/viewtopic.php?t=183>

<http://www.forosdeelectronica.com/about8973.html>

<http://www.digi.com/support/kbase/kbaseresultdetl.jsp?id=2120>

[http://ftp1.digi.com/support/images/3.3Volt_interface_schematic.pdf%20\(76.75KB\).pdf](http://ftp1.digi.com/support/images/3.3Volt_interface_schematic.pdf%20(76.75KB).pdf)

[http://msdn.commicrosoft.com/en-us/library/ms535797\(VS.85\).aspx](http://msdn.commicrosoft.com/en-us/library/ms535797(VS.85).aspx)

<http://vbnet.mvps.org/code/enums/enumports.htm>

ANEXOS

ANEXO I

DATASHEET MÓDULOS XBEE DE MAXSTREAM

ANEXO II

CÓDIGO FUENTE DE LA APLICACIÓN DEL HOST EN LENGUAJE BASIC

ANEXO III

CÓDIGO FUENTE DEL PROGRAMA DEL MICROCONTROLADOR PIC16F876A EN LENGUAJE ASSEMBLER

ANEXO IV

DATASHEET DEL SENSOR ANÁLOGO DE TEMPERATURA LM35DZ