



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TECNOLOGIA EN

COMPUTACION

“ESTUDIO E IMPLEMENTACION DE DOMOTICA ACTIVADO POR

COMANDOS DE VOZ Y COMUNICACION EN ZIGBEE”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del título de

INGENIERO EN ELECTRONICA Y COMPUTACION

Presentado por:

LUIS FELIPE FALCONI CEPEDA

CARLOS RAMIRO JIMENEZ YEDRA

RIOBAMBA – ECUADOR

2009

A mis padres por siempre impulsarme a seguir adelante y por darme siempre su apoyo incondicional.

Carlos.

A Dios por la paciencia y la constancia entregadas a mí, a mi familia, maestros y amigos por su constante apoyo.

Luis.

A mis padres, familia y amigos.

Carlos.

A mi madre por su ejemplo de vida,
responsabilidad, fortaleza y
emprendimiento del que seguiré al pie de
la letra por el resto de mis días.

Luis.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DR. ROMEO RODRIGUEZ
DECANO FACULTAD INFORMATICA Y ELECTRONICA		
ING. PAUL ROMERO
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA ELECTRONICA Y TECNOLOGIAN EN COMPUTACION		
ING. FRANKLIN MORENO
DIRECTOR DE TESIS		
ING. DANIEL HARO
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		
LIC. CARLOS RODRIGUEZ
DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACION		
NOTA DE LA TESIS	

“Nosotros, Luis Felipe Falconí Cepeda y Carlos Ramiro Jiménez Yedra, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis; y, el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.”

LUIS FELIPE FALCONI CEPEDA

CARLOS RAMIRO JIMENEZ YEDRA

INDICE DE ABREVIATURAS

ABS. – Antilock Brake System (Sistema Antibloqueo de Frenos).

BAN. – Body Area Network (Red de Area Corporal).

BODEN. – Brown Out Detet Reset Enable bit (Bit de Reset por Voltaje de Alimentación Bajo).

BPSK. – Binary Phase Shift Keying (Modulación Binaria por Desplazamientos de Fase).

CAD. – Conversión Analógica digital.

CMOS. – Complementary Metal Oxide Semiconductor (Semiconductor Complementario de Oxido de Metal).

CSMA/CA. – Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (Acceso Múltiple por Detección de Portadora /Detección de Colisiones).

DSSS. – Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro de Dispersión de Secuencia Directa).

ED. – Energy Detection (Detección de Energía).

EEPROM. – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (Memoria de Solo Lectura Electricamente Borrable).

EIRP. – Effective Isotropic Radiated Power (Potencia Isotrópica Irradiada Efectiva).

EPROM. – Erasable Programmable Read Only Memory (Memoria de Solo Lectura Programmable y Borrable).

E/S. – Entrada Salida.

FCS. – Frame Check Sequence (Chequeo de Secuencia de Tramas).

FFD. – Full-Function Device (Dispositivo de Funcionalidad Completa).

FM. – Frequency Modulation (Modulación en Frecuencia).

GEO. – Geosynchronous Earth Orbit (Órbita Terrestre Geosíncrona).

GOF. – General Operation Frame (Trama General de Operaciones).

HMM. – Hidden Markov Model (Modelos Ocultos de Markov).

ICD. – In Circuit Debugger (Depurador dentro del circuito).

ICSP. – In circuit Serial Programming (Programación Serie en Circuito).

IEEE. – The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos).

LAN. – Local Area Network (Red de Área local).

LCD. – Liquid Crystal Display (Pantalla de Cristal Líquido).

LEO. – Low Earth Orbit (Órbitas terrestres de Baja Altura).

LR-WPAN. – Low-rate Wireless Personal Area Network (Redes Inalámbricas de Área Personal con Tasas Bajas de Transmisión de Datos).

MAC. – Media Access Control (Abreviatura de Control de Acceso al Medio).

MAN. – Metropolitan Area Network (Redes de Área Metropolitana).

MEO. – Medium Earth Orbit (Órbita Terrestre Media).

MPDU. – MAC Protocol Data Unit (Protocolo de Unidad de Datos en la Capa MAC).

OQPSK. – Offset Quadrature Phase Shift Keying (Modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal).

OSI. – Open Systems Interconnection (Sistema de Interconexión Abierta).

OTP. – One time programmable (Memorias Programables una sola vez).

PAN. – Personal Area Network (Redes de Área Personal)

PDA. – Personal Digital Assistants (Asistentes Digitales Personales).

PIC. – Programmable Integrated Circuit (Circuito Integrado Programable).

PPDU. – PHY Protocol Data Unit (Unidad de Datos de Protocolo de la Capa Física).

PROM. – Programmable Read-Only Memory (ROM Programable).

PSDU. – Physcal Layer Service Data Unit (Unidad de Servicio de Datos en la Capa Física).

PWM. – Pulse Width Modulation (Modulación por Ancho de Pulsos).

QPSK. – Quaternary Phase Shift Keying (Desplazamiento de fase en cuadratura).

RAM. – Random Access Memory (Memoria de Acceso Aleatorio).

RFD. – Reduced-Function Device (Dispositivos de Funcionalidad Reducida).

RISC. – Reduced Instruction Set Computer (Computadora con Conjunto de Instrucciones Reducidas).

ROM. – Read Only Memory (Memoria de Solo Lectura).

SRAM. – Synchronous Dynamic Random Access Memory (Memoria Síncrona Dinámica de Acceso Aleatorio).

TMR. – Temporizador.

UCP. – Unidad Central de Proceso.

USART. – Universal Synchronous. Asynchronous Receiver Transmitter (Transmisor Receptor Universal Sincrono y Asincrono).

USB. – Universal Serial Bus (Bus Universal en Serie o Bus serie Universal).

VCC. – Voltage Continued Current (Voltaje de Corriente Continua).

VCD. – Voltage Direct Current (Voltaje de Corriente Directa).

VCR. – Video Cassette Recorder (Grabador de Video Cassette).

VHF. – Very High Frequency (Muy Alta Frecuencia).

WAN. – Wide Area Network (Red de Área Global).

WDT. – Watch-Dog (Perro guardian).

WPAN. – Wireless Personal Area Networks (Red Inalámbrica de Área Personal).

WSN. – Wireless sensor Network (Redes Inalámbricas de Sensores).

ZC. – ZigBee coordinator (Coordinador Zigbee).

ZDO. – ZigBee device objects (Objetos del dispositivo Zigbee).

ZED. – ZigBee end device (Dispositivo Final Zigbee).

ZR. – Zigbee Router (Router ZigBee).

INDICE GENERAL

CAPITULO I

MICROCONTROLADORES

1.1 Características Generales	- 21 -
1.2 Gamas de los microcontroladores.	- 23 -
1.2.1 La gama baja.	- 24 -
1.2.2 La gama media.	- 24 -
1.2.3 La gama alta.	- 25 -

CAPITULO II

LA DOMOTICA

2.1 Características Generales	- 28 -
2.1.1 Aplicaciones.	- 28 -
2.1.2 El sistema.	- 30 -
2.1.2.1 Descripción de los elementos.	- 30 -
2.1.2.2 Arquitectura.	- 31 -

CAPITULO III

COMUNICACIÓN INALAMBRICA

3.1 Introducción a la comunicación inalámbrica.....	- 32 -
3.2 Clasificación de redes inalámbricas.	- 33 -
3.2.1 Wireless BAN (Body Area Network)	- 34 -
3.2.2 Wireless PAN (Personal Area Network).	- 35 -
3.2.3 Wireless LAN (Local Area Network).	- 36 -
3.2.4 Wireless WAN (Wide Area Network).	- 37 -
3.3 Aplicaciones.....	- 38 -

CAPITULO IV

ESTANDAR IEEE 802.15.4

4.1 Arquitectura de los protocolos	- 41 -
4.1.1 Capa física.	- 42 -
4.1.1.1 Estructura del paquete de datos de la capa física.....	- 43 -
4.1.1.2 Cabecera de Sincronización de PPDU.....	- 44 -
4.1.1.3 Cabecera de la capa física.....	- 44 -
4.1.1.4 Carga útil de la capa física.....	- 45 -

4.1.2	Capa de acceso al medio.....	- 45 -
4.1.2.1	Estructura de la trama MAC.....	- 46 -
4.1.2.2	Cabecera de la trama.....	- 46 -
4.1.2.3	Carga útil de la trama.....	- 47 -
4.1.2.4	Cola de la trama.....	- 47 -
4.1.2.5	Tipos de trama MAC.....	- 47 -
4.1.3	Modelo de red.....	- 50 -
4.1.4	Arquitectura de transporte de datos.....	- 52 -
4.1.5	Fiabilidad y seguridad.....	- 54 -
4.2	Zigbee.....	- 55 -
4.2.1	Visión general.....	- 55 -
4.2.2	Usos.....	- 56 -
4.2.3	Protocolos.....	- 57 -
4.2.4	Estructura.....	- 59 -
4.2.5	Configuración de red.....	- 62 -
4.2.5.1	Tipos de dispositivos.....	- 63 -
4.2.6	Topología.....	- 64 -
4.2.6.1	Topología en Estrella.....	- 64 -
4.2.6.2	Topología en Árbol (Cluster Tree).....	- 65 -
4.2.6.3	Topología en Malla.....	- 66 -
4.2.7	Tipos de Tráfico de Datos.....	- 67 -
4.2.8	Estrategias de conexión de los dispositivos de una red Zigbee.....	- 68 -
4.2.8.1	Con balizas.....	- 68 -
4.2.8.2	Sin balizas.....	- 69 -
4.2.9	Seguridad.....	- 70 -
4.2.9.1	Arquitectura de seguridad.....	- 70 -
4.2.10	Técnicas de Modulación.....	- 72 -
4.2.10.1	Modulación OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying).....	- 72 -
4.2.10.2	Modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying).....	- 73 -
4.2.11	ZigBee y su espectro compartido con WLAN.....	- 73 -
4.2.12	Zigbee vs. Bluetooth.....	- 73 -
4.2.13	Ventajas y desventajas.....	- 75 -
4.2.13.1	Ventajas.....	- 75 -
4.2.13.2	Desventajas.....	- 76 -

CAPITULO V

RECONOCIMIENTO DE VOZ

5.1	Concepto.....	- 77 -
5.2	Caracterización de los sistemas de reconocimiento de voz.....	- 78 -

5.2.1	Forma en que el usuario le habla a la maquina.	- 78 -
5.2.2	Tamaño del vocabulario de reconocimiento.	- 79 -
5.2.3	El conocimiento de los patrones de voz del usuario.	- 79 -
5.2.4	Grado de conocimiento acústico-lingüístico usado por el sistema.	- 80 -
5.2.5	Grado de diálogo entre el usuario y la máquina.....	- 80 -
5.3	Enfoques de reconocimiento automático de voz.	- 81 -
5.3.1	Enfoque acústico-fonético.....	- 81 -
5.3.2	Enfoque de reconocimiento de patrones.	- 83 -
5.3.3	Enfoque de inteligencia artificial.	- 84 -
5.4	Proceso de producción y percepción del habla.	- 85 -
5.5	Elementos de un reconocedor de voz.	- 86 -
5.5.1	Pre-procesamiento de la señal de voz.	- 87 -
5.5.2	Reconocimiento.	- 88 -
5.5.3	Comunicación.	- 89 -
5.6	Aplicaciones del reconocimiento de voz.....	- 89 -

CAPITULO VI

CONSTRUCCION DEL EQUIPO

6.1	Estudio y selección del hardware.	- 91 -
6.1.1	Estudio del microcontrolador.....	- 91 -
6.1.2	Selección del microcontrolador.	- 92 -
6.1.3	Estudio del módulo de voz.....	- 97 -
6.1.3.1	VR stamp with serial EEPROM (voice recognition module).....	- 97 -
6.1.3.2	HM2007 Speech Recognition.....	- 98 -
6.1.4	Selección del modulo de voz.	- 99 -
6.1.5	Estudio del módulo de Zigbee.	- 109 -
6.1.5.1	Texas instruments (CHIPCON).....	- 109 -
6.1.5.2	Kit de demostración PICDEM Z.....	- 110 -
6.1.5.3	Kit de Demostración ATAVRRZ200.....	- 111 -
6.1.5.4	Kit de evaluación ZIGBIT (ZEK).....	- 112 -
6.1.5.5	Módulos de RF ZigBee™/802.15.4 versión OEM fabricados por MaxStream, Inc. (XBee-PRO).....	- 114 -
6.1.6	Selección del módulo de Zigbee.	- 115 -
6.2	Diseño del equipo - 126 -	
6.2.1	Hardware de control del equipo domótico.	- 126 -
6.3	Diseño del Software. - 127 -	
6.3.1	Software de los circuitos de Tx/Rx.	- 127 -
6.3.2	Software del equipo domótico.	- 129 -
6.4	Implementación del equipo..... - 131 -	

6.5 Pruebas y evaluación del equipo. - 134 -

INDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Estructura típica de un microcontrolador.....	- 21 -
Figura I.2 Distribución por sectores de aplicación.	- 23 -
Figura III.3 Clasificación de las redes de acuerdo al área de cobertura	- 33 -
Figura III.4 Red de Área Corporal.....	- 34 -
Figura III.5 Red de Área Personal.	- 36 -
Figura III.6 Red Inalámbrica de Área Local.....	- 36 -
Figura III.7 Red Satelital.	- 37 -
Figura IV.8 Capas del protocolo IEEE 802.15.4	- 41 -
Figura IV.9 Estructura de la PPDU	- 44 -
Figura IV.10 Estructura general de la trama MAC.....	- 46 -
Figura IV.11 Formato de la Trama Beacon	- 48 -
Figura IV.12 Formato de Trama de Datos.....	- 49 -
Figura IV.13 Formato de la Trama de Acuse de Recibo	- 49 -
Figura IV.14 Formato de Trama de Comando MAC.....	- 50 -
Figura IV.15 Árbol de clúster IEEE 802.15.4	- 51 -
Figura IV.16 Aplicaciones de Zigbee	- 57 -
Figura IV.17 Capas de la estructura Zigbee.	- 59 -
Figura IV.18 Configuración de red en estrella	- 65 -
Figura IV.19 Topología en Árbol (Cluster Tree).....	- 66 -
Figura IV.20 Topología en Malla	- 67 -
Figura V.21 Sistema De Reconocimiento De Voz Basado En Enfoque Acústico-Fonético	- 81 -

Figura V.22 Segmentación Y Rotulado De La Secuencia De Dígitos En Inglés Seven-Six..	- 83 -
Figura V.23 Reconocimiento de Voz basado en reconocimiento de patrones.	- 84 -
Figura V.24 Proceso de producción y percepción del habla.	- 85 -
Figura V.25 Arquitectura de un sistema de reconocedor de Voz.	- 86 -
Figura V.26 Espectrograma.	- 88 -
Figura VI.27 Pic 16F628A.	- 94 -
Figura VI.28 Diseño de bloques del VR stamp.	- 98 -
Figura VI.29 Modulo reconocedor de voz.	- 99 -
Figura VI.30 CI HM2007	- 101 -
Figura VI.31 Diagrama del modulo de reconocimiento de voz.	- 104 -
Figura VI.32 Imagen del teclado.	- 105 -
Figura VI.33 Chipcom CC2420.	- 109 -
Figura VI.34 CC2420DB.	- 110 -
Figura VI.35 Tarjeta madre y RF del kit PICDEM Z.	- 111 -
Figura VI.36 Vista y Componentes de la RCB.	- 112 -
Figura VI.37 Contenido del ZigBit evaluation kit	- 113 -
Figura VI.38 MeshBean2 con antena PCB.	- 113 -
Figura VI.39 Componentes del kit de desarrollo.	- 115 -
Figura VI.40 Vista superior	- 119 -
Figura VI.41 Vista lateral	- 120 -
Figura VI.42 Placa con interface RS-232.	- 120 -
Figura VI.43 Numeración de los pines del módulo XBee-PRO	- 121 -
Figura VI.44 Formato de los comandos AT.	- 123 -
Figura VI.45 Diagrama de bloques del centro de control domótico.	- 126 -

Figura VI.46 Diagrama de flujo del control domotico.	- 130 -
Figura VI.47 Implementación del equipo.	- 131 -
Figura VI.48 Transmisor.....	- 131 -
Figura VI.49 Receptor.	- 132 -
Figura VI.50 Persianas de la habitación a escala.	- 133 -
Figura VI.51 Puerta y foco de la habitación.	- 133 -
Figura VI.52 Monitoreo de trama antes de los 30m.	- 134 -
Figura VI.53 Perdida de tramas en el monitoreo a partir de los 40m.	- 135 -
Figura VI.54 Monitoreo de tramas sin errores hasta los 200m.....	- 136 -
Figura VI.55 Pérdida de tramas a partir de los 250m.	- 136 -
Figura VI.56 Pérdida total de las tramas en una distancia mayor a los 300m.	- 137 -

INDICE DE TABLAS

Tabla I.1 Gama de los Microcontroladores	- 26 -
Tabla IV.2 Tipos de Tramas de Comandos MAC	- 50 -
Tabla IV.3 Tecnologías Inalámbricas	- 74 -
Tabla VI.4 Características de los microcontroladores de gama media.....	- 92 -
Tabla VI.5 Tabla de pines con sus funciones especiales	- 95 -
Tabla VI.6 Descripción de los pines del HM2007.....	- 101 -
Tabla VI.7 Bus de datos D.....	- 108 -
Tabla VI.8 Especificaciones de los modulos XBee-PRO OEM RF.....	- 118 -
Tabla VI.9 Asignación de pines para el módulo XBee-PRO.	- 121 -
Tabla VI.10 Características eléctricas del módulo XBee-PRO.	- 122 -
Tabla VI.11 Comandos para la configuración de los módulos XBee-PRO.....	- 124 -

INTRODUCCION

El proyecto a desarrollar en el presente trabajo está orientado a implementar un sistema que nos permita controlar la mayoría de los aspectos relacionados con la automatización del hogar en especial de una habitación, desde la iluminación que en nuestro caso tendrá 3 niveles de atenuación, motorización de persianas, y la motorización de una puerta, y que van a estar integrados por medio de redes de comunicación inalámbricas, y cuyo control en forma de comandos de voz goza de cierta presencia, desde dentro y fuera de la habitación. Con el uso de una unidad central de control del sistema, tendremos la capacidad de poder actuar de forma centralizada sobre todos los dispositivos de la habitación, facilitando así la configuración de los distintos módulos y posibilitando una sencilla creación de escenas o ambientes y programaciones.

De este modo, el control del sistema podrá llevarse a cabo de forma local mediante los transmisores y mandos a distancia cuyo estándar es el IEEE 802.15.4: El ZigBee que se convierte en los cimientos necesarios para la domótica más racional y con más sentido común, su bajo consumo, su sistema de comunicaciones vía radio (con topología MESH), su integración que permite fabricar nodos con muy poca electrónica.

Además se hará una comparación entre el estándar IEEE 802.15.4 también denominado ZigBee que ofrece una solución más barata y mucho más eficiente a nivel de energía eliminando la necesidad de instalar cables de corriente o el recambio de baterías con cierta periodicidad, con varias tecnologías inalámbricas entre ellas, Wi-fi y Bluetooth.

Justificación del Proyecto de Tesis

Las tecnologías inalámbricas han adoptado con el paso del tiempo una manera más sencilla y cómoda de utilizar toda clase de dispositivos con el fin de mejorar el confort y las comunicaciones en general.

ZigBee comunica una serie de dispositivos haciendo que trabajen más eficiente entre sí. Es un transmisor y un receptor que usa baja potencia para trabajar y tiene como objetivo las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. Es ideal para conexiones con diversos tipos de topología, lo que a su vez lo hace más seguro, barato y que no haya ninguna dificultad a la hora de su construcción porque es muy sencilla.

Zigbee es la tecnología inalámbrica del futuro que no tiene competencia fuerte con las tecnologías existentes debidos a que sus aplicaciones son de automatización de edificios, hogareñas e industriales, especialmente para aplicaciones con usos de sensores.

Hoy por hoy, en nuestro país no se ha realizado grandes avances en lo que se refiere a la domótica controlado con voz y mucho menos con este nuevo protocolo, de ahí la necesidad de ejecutar tal proyecto. Tendremos un transmisor que estará integrado por el modulo reconocedor de voz, un modulo de acoplamiento entre la señal que nos entregue el reconocedor de voz y la que necesita el modulo transmisor con el estándar IEEE 802.15.4 el cual emitirá la señal de radiofrecuencia hacia el receptor que estará acoplado con la central de manejo de las distintas tareas de automatización del hogar.

Objetivos

Objetivo General.

Estudiar e implementar domótica activado por comandos de voz con comunicación en ZigBee.

Objetivos Específicos.

- Estudiar el funcionamiento y comportamiento del estándar IEEE 802.15.4.
- Implementar un sistema transmisor de datos utilizando el estándar IEEE 802.15.4 ZigBee.
- Estudiar el funcionamiento básico del reconocimiento de voz.
- Diseñar un sistema domótico que sea capaz de controlar la iluminación en cuatro niveles; abrir, cerrar y recorrido de una persiana; abrir y cerrar la puerta de una habitación a escala.

Hipótesis.

Determinar que es factible la implementación de un sistema domótico que facilite las tareas del hogar con comunicación inalámbrica y activado por comandos de voz.

Resultados.

Se llegó a realizar un sistema domótico capaz de controlar la iluminación, las persianas y puerta de una habitación a escala, utilizando comunicación inalámbrica Zigbee y activado por comandos de voz.

CAPITULO I

MICROCONTROLADORES

Un microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

Un microcontrolador dispone normalmente de los siguientes componentes:

- ✓ Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso).
- ✓ Memoria RAM para contener los datos.
- ✓ Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM.
- ✓ Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

- ✓ Diversos módulos para el control de periféricos (Temporizadores, puertos serie y paralelo, CAD, etc.)
- ✓ Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Los productos que para su regulación incorporan un microcontrolador disponen de las siguientes ventajas:

- ✓ Aumento de prestaciones: un mayor control sobre un determinado elemento representa una mejora considerable en el mismo.
- ✓ Aumento de la fiabilidad: al reemplazar el microcontrolador por un elevado número de elementos disminuye el riesgo de averías y se precisan menos ajustes.
- ✓ Reducción del tamaño en el producto acabado: La integración del microcontrolador en un chip disminuye el volumen, la mano de obra.
- ✓ Mayor flexibilidad: las características de control están programadas por lo que su modificación sólo necesita cambios en el programa de instrucciones.

El microcontrolador es en definitiva un circuito integrado que incluye todos los componentes de un computador. Debido a su reducido tamaño es posible montar el controlador en el propio dispositivo al que gobierna. En este caso el controlador recibe el nombre de *controlador embebido* (embedded controller).

1.1 Características Generales

Un microcontrolador contiene toda la estructura (Figura I.1) de un sencillo pero completo computador contenidos en el corazón de un circuito integrado.

Se trata de un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador. Se dice que es “la solución en un chip” porque su reducido tamaño minimiza el número de componentes y el coste.

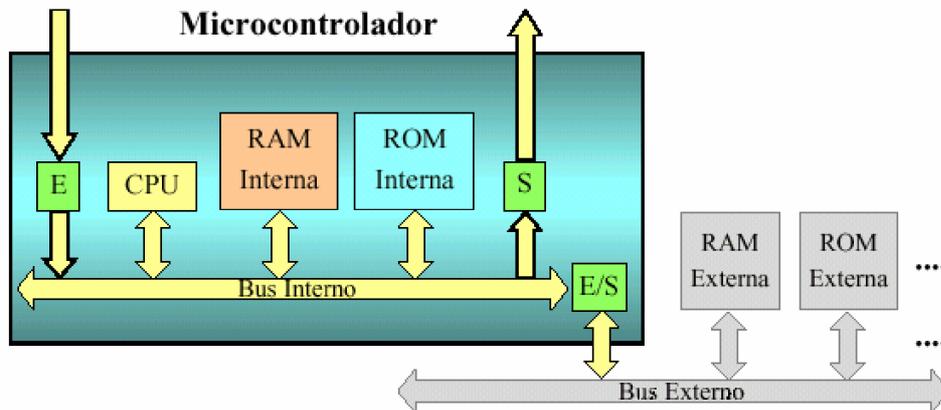


Figura I.1 Estructura típica de un microcontrolador.

Según el modelo de microcontrolador que se trate, el tamaño y el tipo de memoria pueden diferir, así como el número de líneas de E/S y los módulos de control de periféricos.

Los campos más destacados en los que se emplean microcontroladores son los siguientes:

- ✓ Automatización industrial.

- ✓ Medida y control de procesos.

- ✓ Enseñanza e investigación.
- ✓ Periféricos y dispositivos auxiliares de las computadoras.
- ✓ Electrodomésticos.
- ✓ Aparatos portátiles y de bolsillo.
- ✓ Máquinas expendedoras y juguetería.
- ✓ Instrumentación.
- ✓ Industria de la automoción.
- ✓ Electromedicina.
- ✓ Robótica.
- ✓ Sistemas de navegación de seguridad y alarma.
- ✓ Domótica.
- ✓ Termorregulación.

Los electrodomésticos de gama blanca (lavadoras, hornos, lavavajillas, etc.) y de línea marrón (televisores, vídeos, aparatos musicales, etc.) incorporan numerosos microcontroladores. Igualmente los sistemas de supervisión, vigilancia y alarma en los edificios utilizan estos chips para optimizar el rendimiento de ascensores, calefacción, aire acondicionado, alarmas de incendio y robo, etc.

Las comunicaciones y sus sistemas de transferencia de información utilizan profusamente estos pequeños computadores, incorporándolos en las grandes automatizaciones y en los modernos teléfonos, la instrumentación y la electromedicina son dos campos idóneos para la implantación de estos circuitos integrados. Una importante industria consumidora de microcontroladores es la de automoción, que los aplica en el control de aspectos tan populares como la climatización o los frenos ABS.

A continuación se muestra un gráfico de la distribución de la producción mundial de microcontroladores en las diversas áreas de aplicación:

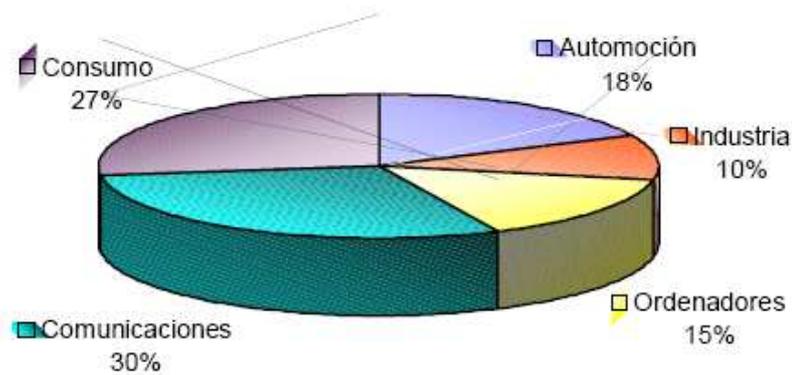


Figura I.2 Distribución por sectores de aplicación.

1.2 Gamas de los microcontroladores.

El fabricante Microchip realiza una clasificación en gamas. Cada gama tiene características en común y que la distinguen de las demás.

1.2.1 La gama baja.

La gama baja de los PIC encuadra nueve modelos fundamentales en la actualidad. La memoria de programa puede contener 512, 1 K o 2 K palabras de 12 bits, y ser de tipo ROM, OTP o EPROM. La memoria de datos SRAM puede tener una capacidad comprendida entre 25 y 73 bytes. Sólo disponen de un temporizador (TMR0), un repertorio de 33 instrucciones y un número de terminales para soportar las E/S comprendido entre 12 y 20. Al no disponer de interrupciones, la pila sólo tiene dos niveles de profundidad.

El voltaje de alimentación admite un valor muy flexible comprendido entre 2 y 6,25 voltios, lo cual posibilita el funcionamiento mediante pilas corrientes teniendo en cuenta su bajo consumo, menos de 2 mA a 5 V y 4 MHz.

1.2.2 La gama media.

En esta gama sus componentes añaden nuevas prestaciones a las que poseen los de la gama baja, haciéndoles más adecuados en las aplicaciones complejas. El repertorio es de 35 instrucciones y la longitud de las instrucciones es de 14 bits. Admiten interrupciones, poseen comparadores de magnitudes analógicas, convertidores A/D, puertas serie y diversos temporizadores.

Algunos modelos disponen de una memoria de instrucciones del tipo OTP y otros de memoria EEPROM.

El temporizador TMR1 de que dispone esta gama tiene un circuito oscilador que puede trabajar asíncronamente y que puede incrementarse aunque el microcontrolador se halle en el modo de reposo, posibilitando la implementación de un reloj en tiempo real.

Las líneas de E/S de la puerta B presentan unas resistencias de carga *pull-up* activadas por software.

1.2.3 La gama alta.

En la actualidad, esta gama está formada principalmente por tres modelos cuyas características responden a microcontroladores de arquitectura abierta, pudiéndose expansionar hacia el exterior al poder sacar los buses de datos, direcciones y control. Así se pueden configurar sistemas similares a los que utilizan los microprocesadores convencionales, siendo capaces de ampliar su configuración interna, añadiendo nuevos dispositivos de memoria y de E/S externas. Esta facultad obliga a estos componentes a tener un elevado número de terminales comprendido entre 40 y 44.

Admiten interrupciones, poseen puerto serie, varios temporizadores y mayores capacidades de memoria, que alcanza los 8K palabras en la memoria de instrucciones y 454 bytes en la memoria de datos. El formato de las instrucciones es de 16 bits y la pila dispone de 16 niveles de profundidad. El repertorio es de 55 o 58 instrucciones según modelo. La frecuencia máxima de funcionamiento es de 25 MHz, con un ciclo de instrucción de 160ns.

En la tabla siguiente se exponen a grandes rasgos las características más importantes de las gamas baja, media y alta.

Tabla I.1 Gama de los Microcontroladores

	Gama baja	Gama media	Gama alta
Arquitectura	Harvard / Cerrada	Harvard / Cerrada	Harvard / Abierta
Procesador tipo	8 bit / RISC	8 bit / RISC	8 bit / RISC
Segmentación	Si	Si	Si
Máxima frecuencia	20 MHz.	20 MHz.	20 MHz.
Repertorio instrucciones	33	35	55 o 58
Longitud instrucciones	12 bits	14 bits	16 bits
Tipo memoria ROM	OTP, QTP, SQTP, EPROM	OTP, QTP, SQTP, EPROM, EEPROM, Flash	OTP, QTP, SQTP, EPROM
Tamaño ROM	512 – 2 K	512 – 4 K	2 K – 8 K
Memoria datos SRAM	24 – 73 bytes	31- 192 bytes	232 – 454 bytes
Memoria datos EEPROM	No	64 bytes	No
Niveles de la pila	2	8	16
Encapsulado	18, 20 o 28 pines	18, 28 o 40 pines	40 o 44 pines
Protección fallo V_{DD}	No	Si	Si
Modo de reposo	Si	Si	Si
Interrupciones externas	No	Si	Si
Vectores de interrupción	No	1	4
Fuentes de interrupción	0	Hasta 8	11
Perro guardián	Si	Si	Si
Temporizadores	1 de 8 bits	De 1 a 3 de 8 bits	4 de 8/16 bits
Convertidor A/D	No	Si	Si
Módulo captura/comparación/PWM	No	Si	Si
Puerta serie	No	Si	Si
Puerta paralela esclava	No	Si	Si
Multiplicador hardware	No	No	Si
Rango de tensión de alimentación	2 a 6.25 V	2 a 6 V	4.5 a 5.5 V

CAPITULO II

LA DOMOTICA

El término **domótica** proviene de la unión de las palabras *domus* (que significa *casa* en latín) y *robótica* (de *robot*, que significa esclavo, sirviente en checo).

Se entiende por domótica al 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*.

2.1 Características Generales

2.1.1 Aplicaciones.

Los servicios que ofrece la domótica se pueden agrupar según cuatro aspectos principales:

En el ámbito del **ahorro energético**:

- ✓ Climatización: programación y zonificación

- ✓ Gestión eléctrica
 - Racionalización de cargas eléctricas: desconexión de equipos de uso no prioritario en función del consumo eléctrico en un momento dado. Reduce la potencia contratada.

 - Gestión de tarifas, derivando el funcionamiento de algunos aparatos a horas de tarifa reducida.

- ✓ Uso de energías renovables.

En el ámbito del nivel de **confort**:

- ✓ Iluminación
 - Apagado general de todas las luces de la vivienda.

 - Automatización del apagado/ encendido en cada punto de luz.

- Regulación de la iluminación según el nivel de luminosidad ambiente.
- ✓ Automatización de todos los distintos sistemas/ instalaciones / equipos dotándolos de control eficiente y de fácil manejo.
- ✓ Integración del portero al teléfono, o del video portero al televisor.
- ✓ Control vía Internet.
- ✓ Gestión Multimedia y del ocio electrónicos
- ✓ Generación de macros y programas de forma sencilla por parte del usuario.

En el ámbito de la **protección patrimonial**:

- ✓ Simulación de presencia.
- ✓ Detección de conatos de incendio, fugas de gas, escapes de agua.
- ✓ Alerta médica. Tele-asistencia.
- ✓ Cerramiento de persianas puntual y seguro.
- ✓ Acceso a Cámaras IP

En el ámbito de las **comunicaciones**:

- ✓ Ubicuidad en el control tanto externo como interno, control remoto desde Internet, PC, mandos inalámbricos (por ejemplo: PDA con WiFi).

- ✓ Transmisión de alarmas.
- ✓ Intercomunicaciones.

2.1.2 El sistema.

2.1.2.1 Descripción de los elementos.

Controladores: Los controladores son los dispositivos que gestionan el sistema según la programación y la información que reciben. Puede haber un controlador solo, o varios distribuidos por el sistema.

Sensores: El sensor es el dispositivo que monitoriza el entorno captando información que transmite al sistema (sensores de agua, gas, humo, temperatura, viento, humedad, lluvia, iluminación, etc.).

Actuadores: El actuador es un dispositivo capaz de ejecutar y/o recibir una orden del controlador y realizar una acción sobre un aparato o sistema (encendido/apagado, subida/bajada, apertura/cierre, etc.).

Bus: Es bus es el medio de transmisión que transporta la información entre los distintos dispositivos por un cableado propio, por la redes de otros sistemas (red eléctrica, red telefónica, red de datos) o de forma inalámbrica.

Interface: Los interfaces refiere a los dispositivos (pantallas, móvil, Internet, conectores) y los formatos (binario, audio) en que se muestra la información del

sistema para los usuarios (u otros sistemas) y donde los mismos pueden interactuar con el sistema.

2.1.2.2 Arquitectura.

Desde el punto de vista de donde reside la inteligencia del sistema domótico, hay varias arquitecturas diferentes:

Arquitectura Centralizada: un controlador centralizado recibe información de múltiples sensores y, una vez procesada, genera las órdenes oportunas para los actuadores.

Arquitectura Distribuida: toda la inteligencia del sistema está distribuida por todos los módulos sean sensores o actuadores. Suele ser típico de los sistemas de cableado en bus, o redes inalámbricas.

Arquitectura mixta: sistemas con arquitectura descentralizada en cuanto a que disponen de varios pequeños dispositivos capaces de adquirir y procesar la información de múltiples sensores y transmitirlos al resto de dispositivos distribuidos por la vivienda, p.ej. aquellos sistemas basados en Zigbee y totalmente inalámbricos.

CAPITULO III

COMUNICACIÓN INALAMBRICA

3.1 Introducción a la comunicación inalámbrica.

Las Comunicaciones Inalámbricas son aquellas que propagan la información en condiciones de espacio libre, por medio de ondas electromagnéticas, por lo tanto este tipo de red carece de cables. En la comunicación se utilizan ondas de radio o infrarrojo.

Entre algunas de las ventajas que proporcionan los sistemas radioeléctricos, se puede mencionar las siguientes:

- ✓ La capacidad de cruzar zonas de agua, tales como ríos ó lagos, en donde una instalación con cable requeriría de un trato especial para prevenir las filtraciones sobre los conductores de cobre.

- ✓ La capacidad de vencer obstáculos en la transmisión causados por la presencia de montañas y valles, donde los costos de la instalación de cable serían demasiado elevados y difíciles de mantener.
- ✓ La capacidad de evitar la interconexión al proveedor de telefonía local. Una conexión privada para evitar la ocupación de la central del operador local, puede evitar los elevados costos de alquiler, mediante un sistema de radio privado ya sea éste propio o arrendado.

3.2 Clasificación de redes inalámbricas.

En la Figura III.3 podemos apreciar, un gráfico en el cual se indica la clasificación de las redes, de acuerdo a su área de cobertura.

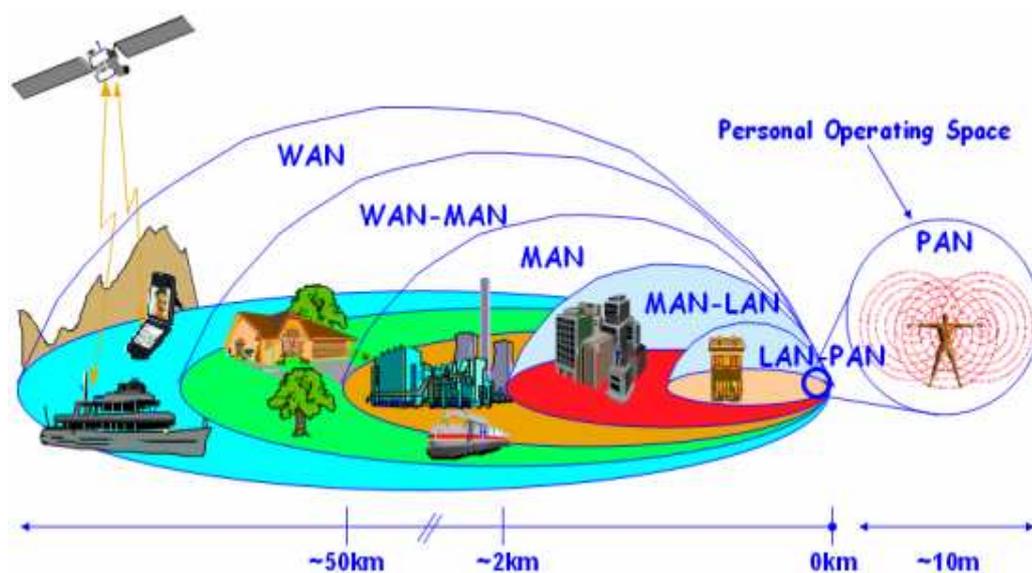


Figura III.3 Clasificación de las redes de acuerdo al área de cobertura

Debido a la gran variedad de aplicaciones de las comunicaciones inalámbricas, a las Redes Inalámbricas se las puede clasificar como: Redes de Área Personal (PAN), Redes de Área Local (LAN), Redes de Área Metropolitana (MAN), Redes de Área Extensa (WAN), Wireless BAN (Body Area Network) o Red de Area Corporal.

3.2.1 Wireless BAN (Body Area Network)

Es una red de soporte de micro dispositivos, distribuidos por el cuerpo humano como cámaras, micrófonos, sensores, entre otros, sus características son bajo consumo de energía y baja capacidad. Entre sus aplicaciones podemos mencionar las siguientes: reconocimiento automático del usuario y configuración del entorno como redes en el hogar, redes de carros o redes de área personal (PAN); entornos inteligentes; ropa inteligente.

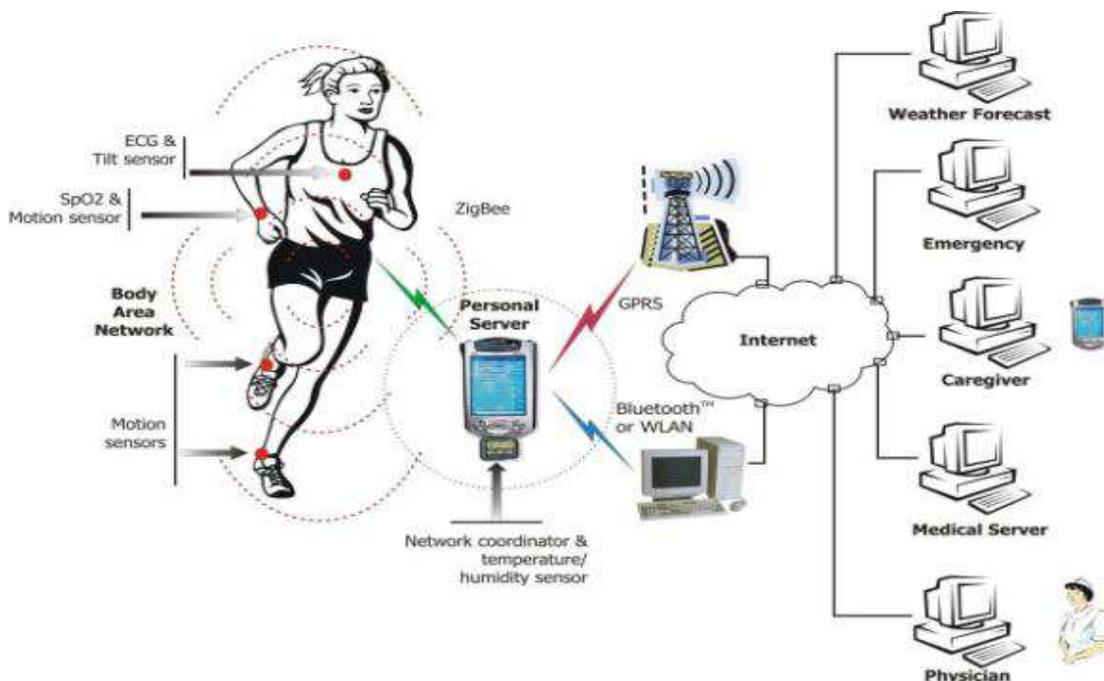


Figura III.4 Red de Área Corporal.

En la Figura III.4, se ve el concepto de una red BAN, que consiste de un conjunto de unidades móviles que transfieren los parámetros vitales desde la localización de un paciente que padece de enfermedades graves, hacia la clínica ó el doctor encargado de ese paciente. La transmisión de datos puede hacerse a una estación base en su hogar, de donde pueden enviarse vía teléfono o Internet hacia la clínica.

3.2.2 Wireless PAN (Personal Area Network).

Este tipo de redes tiene una cobertura entre 1 y 10 metros. Esta red se establece alrededor de personas y permite la comunicación entre dispositivos de uso personal. Permite la comunicación en un área reducida, la conexión puede ser con dispositivos propios o con otros dispositivos del entorno.

Algunas de las aplicaciones de las redes de área personal son las siguientes:

- ✓ Permite la distribución de audio y video entre una cámara de video y una pantalla de televisión, en un teatro en casa, entre una PC y un proyector LCD.
- ✓ Permite realizar transferencia de archivos entre una PC y periféricos tales como: impresoras; escáner; cámaras fotográficas, entre otros.

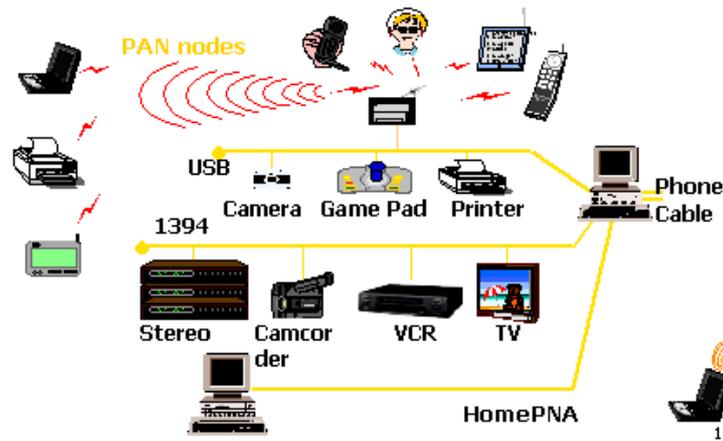


Figura III.5 Red de Área Personal.

3.2.3 Wireless LAN (Local Area Network).

Este tipo de redes tiene una cobertura de entre 100 a 500 metros. Son redes corporativas de acceso a datos. Permiten el acceso a estaciones móviles mediante tecnología inalámbrica utilizando puntos de acceso. Requieren de capacidad y conectividad al igual que las LAN. Entre sus características especiales tenemos: Requiere un punto de acceso por celda; acceso inalámbrico; seguridad reducida; proporciona movilidad y el ancho de banda es reducido.



Figura III.6 Red Inalámbrica de Área Local.

3.2.4 Wireless WAN (Wide Area Network).

Red Satelital

Un sistema de comunicaciones por satélites está conformado por estaciones terrenas y por uno o varios satélites los cuales se encuentran en órbita alrededor de la Tierra. La estación terrena, es una instalación diseñada para transmitir señales a un satélite o recibir señales de éste.



Figura III.7 Red Satelital.

La estación terrena envía la información al satélite por medio de señales de alta frecuencia, el satélite recibe las señales y las retransmite de vuelta a la Tierra en donde las estaciones terrenas que están dentro del área de cobertura conocida como huella, reciben la señal.

La transmisión de la estación terrena hacia el satélite se conoce como enlace ascendente, mientras que la transmisión desde el satélite hacia la estación terrena se denomina enlace descendente. De acuerdo a la órbita en que se encuentra el satélite se dice que está en órbita

Baja LEO, Media MEO ó Geosincrónica GEO. Las características que se deben tomar en cuenta en las comunicaciones por satélite son el retardo, el ruido y el ancho de banda limitado. Una ventaja de la utilización de satélites es alcanzar zonas geográficas remotas.

3.3 Aplicaciones.

A continuación se menciona algunos campos de aplicación de las comunicaciones inalámbricas, como son: sustitución de “buses” industriales; sustitución de cable en sensores; configuración y control; localización; seguimiento; etiquetado; plantas térmicas; plantas hidráulicas; refinerías; comunicación entre equipos industriales; sensores; seguridad; servicios domóticos; servicios de salud; servicios de información; localización; sincronización entre dispositivos; reuniones o congresos; operaciones militares; ayuda a discapacitados; control y seguimiento de flotas de distribución, entre otras.

CAPITULO IV

ESTANDAR IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (*low-rate wireless personal area network*, LR-WPAN). El grupo de trabajo IEEE 802.15 es el responsable de su desarrollo.

También es la base sobre la que se define la especificación de ZigBee, cuyo propósito es ofrecer una solución completa para este tipo de redes construyendo los niveles superiores de la pila de protocolos que el estándar no cubre.

El propósito del estándar es definir los niveles de red básicos para dar servicio a un tipo específico de red inalámbrica de área personal (WPAN) centrada en la habilitación de comunicación entre dispositivos ubicuos con bajo coste y velocidad (en contraste con

esfuerzos más orientados directamente a los usuarios medios, como Wi-Fi). Se enfatiza el bajo coste de comunicación con nodos cercanos y sin infraestructura o con muy poca, para favorecer aún más el bajo consumo.

En su forma básica se concibe un área de comunicación de 10 metros con una tasa de transferencia de 250Kbps. Se pueden realizar compromisos que favorezcan aproximaciones más radicales a los sistemas empotrados con requerimientos de consumo aún menores. Para ello se definen no uno, sino varios niveles físicos. Se definieron inicialmente tasas alternativas de 20 y 40Kbps; la versión actual añade una tasa adicional de 100Kbps. Se pueden lograr tasas aún menores con la consiguiente reducción de consumo de energía. Como se ha indicado, la característica fundamental de 802.15.4 entre las WPAN's es la obtención de costes de fabricación excepcionalmente bajos por medio de la sencillez tecnológica, sin perjuicio de la generalidad o la adaptabilidad.

Entre los aspectos más importantes se encuentra la adecuación de su uso para tiempo real por medio de slots de tiempo garantizados, evitación de colisiones por CSMA/CA y soporte integrado a las comunicaciones seguras. También se incluyen funciones de control del consumo de energía como calidad del enlace y detección de energía.

Un dispositivo que implementa el 802.15.4 puede transmitir en una de tres posibles bandas de frecuencia 2.4 GHz, 915 MHz y 868 MHz. Cada banda de frecuencia ofrece un determinado número de canales, la banda de frecuencia de 2.4 GHz ofrece 16 canales (11-26), 915 MHz ofrece 10 canales (1- 10) y 868 MHz ofrece un canal (0).

La tasa de transmisión de bits de este estándar depende de la frecuencia de operación. La banda de 2.4 GHz provee 250 Kbps, 915 MHz provee 40 Kbps y 868 MHz provee 20 Kbps de datos de transmisión. La cantidad real de datos que pueden fluir en un determinado intervalo de tiempo (*throughput*) es menor que la tasa nominal de datos debido al empaquetamiento, encabezado y procesos de retardo. La máxima longitud de una trama IEEE 802.15.4 es de 127 bytes.

4.1 Arquitectura de los protocolos

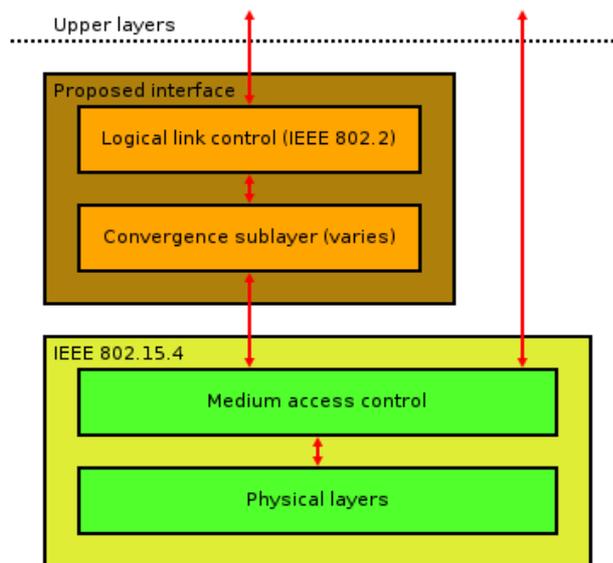


Figura IV.8 Capas del protocolo IEEE 802.15.4

Los dispositivos se relacionan entre sí a través de una red inalámbrica sencilla. La definición de los niveles se basa en el modelo OSI. Aunque los niveles inferiores se definen en el estándar, se prevé la interacción con el resto de niveles, posiblemente por medio de un subnivel de control de enlace lógico basado en IEEE 802.2, que acceda a MAC a través de

un subnivel de convergencia. La implementación puede basarse en dispositivos externos o integrarlo todo en dispositivos autónomos.

4.1.1 Capa física.

El *nivel físico* (PHY) provee el servicio de transmisión de datos sobre el medio físico propiamente dicho, así como la interfaz con la *entidad de gestión del nivel físico*, por medio de la cual se puede acceder a todos los servicios de gestión del nivel y que mantiene una base de datos con información de redes de área personal relacionadas.

PHY se encarga de:

- ✓ Control (activación, desactivación) de transmisor, receptor y actuadores.
- ✓ Detección de energía (dependiendo del transmisor-receptor).
- ✓ Calidad de enlace.
- ✓ Asignación de canales.
- ✓ Selección de canales.
- ✓ Medición de variables.
- ✓ Transmisión y recepción de los paquetes de mensajes a través del medio físico.

De esta forma, PHY controla el transceptor de radiofrecuencia y realiza la selección de canales junto con el control de consumo y de la señal. Opera en una de tres posibles bandas de frecuencia de uso no regulado.

- ✓ 868-868,8 MHz: Europa, permite un canal de comunicación (versión de 2003), extendido a tres en la revisión de 2006.

- ✓ 902-928 MHz: Norte América, hasta diez canales (2003) extendidos a treinta (2006).
- ✓ 2400-2483,5 MHz: uso en todo el mundo, hasta dieciséis canales (2003, 2006).

La versión original del estándar, de 2003, especifica dos niveles físicos basados en *espectro de dispersión de secuencia directa (direct sequence spread spectrum, DSSS)*: uno en las bandas de 868/915 MHz con tasas de 20 y 40 Kbps; y otra en la banda de 2450 MHz con hasta 250 Kbps.

La revisión de 2006 incrementa las tasas de datos máximas de las bandas de 868/915 MHz, que permiten hasta 100 y 250 Kbps. Aún más, define cuatro niveles físicos en base al método de modulación usado. Tres de ellas preservan el mecanismo por DSSS: las bandas de 868/915 MHz, que usan modulación en fase binaria o por cuadratura en offset (*offset quadrature phase shift keying*, ésta segunda opcional). En la banda de 2450 MHz se usa esta segunda técnica. Adicionalmente, se define una combinación opcional de modulación binaria y en amplitud para las bandas de menor frecuencia, basadas por lo tanto en una difusión de espectro paralela, no secuencial (PSSS). Si se usan éstas bandas de menor frecuencia, se puede cambiar dinámicamente el nivel físico usado de entre los soportados.

4.1.1.1 Estructura del paquete de datos de la capa física.

La unidad de datos de protocolo de la capa física (PPDU, *PHY Protocol Data Unit*) establece el paquete como unidad. La PPDU se encarga de encapsular todos los datos de los niveles superiores. Se fundamenta en tres componentes:

- ✓ Cabecera de sincronización (*synchronization header*).
- ✓ Cabecera de la capa física (*PHY header*).
- ✓ Carga útil de la capa física (*PHY payload*).

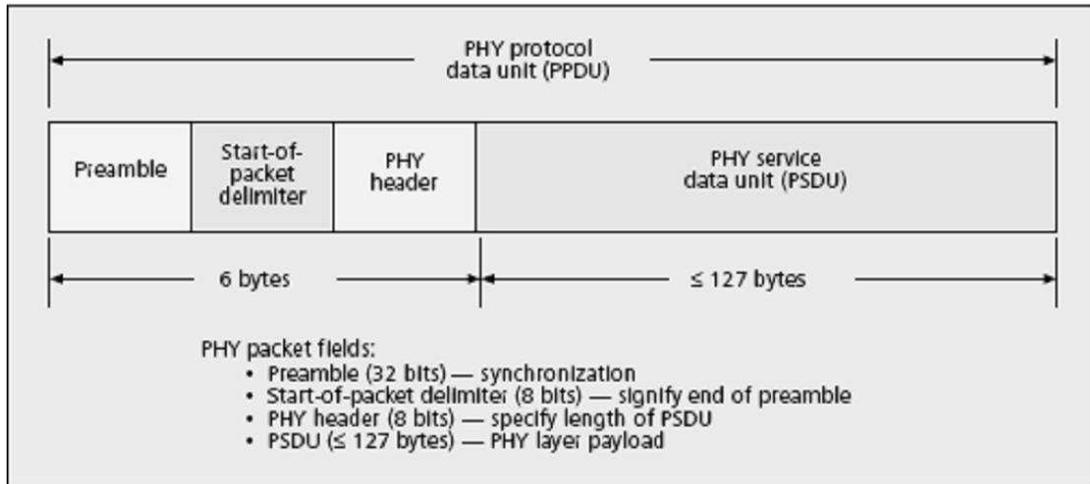


Figura IV.9 Estructura de la PDU

4.1.1.2 Cabecera de Sincronización de PDU.

Esta cabecera consta de dos campos, un preámbulo (*Preamble*) y un delimitador de inicio de trama (*start-of-frame delimiter*). El preámbulo contiene 32 bits y permite a los nodos receptores lograr la sincronización de bits del paquete. El delimitador de inicio de trama contiene 8 bits y permite al receptor identificar el inicio de los bits de datos del paquete.

4.1.1.3 Cabecera de la capa física.

Esta cabecera usa siete bits para especificar la longitud de la carga útil de datos del paquete (en bytes). La longitud tiene un máximo de 127 bytes.

4.1.1.4 Carga útil de la capa física.

Está compuesta de un solo campo y es conocida como Unidad de Servicio de Datos (PSDU *Physical Layer Service Data Unit*). En la PSDU se encapsula la trama MAC.

4.1.2 Capa de acceso al medio.

El *control de acceso al medio* (MAC) transmite tramas MAC usando para ello el canal físico. Además del servicio de datos y confiabilidad en la entrega de datos, ofrece un interfaz de control y regula el acceso al canal físico y al balizado de la red. También controla la validación de las tramas y las asociaciones entre nodos y garantiza slots de tiempo. Por último, ofrece puntos de enganche para servicios seguros.

El estándar IEEE 802.15.4 usa el algoritmo de Acceso múltiple con un mecanismo que evita las colisiones de datos, CSMA/CA (*Carrier Sense, Multiple Access/Collision Avoidance*), el cual chequea la disponibilidad del canal antes de transmitir y así evitar colisiones con otros transmisores.

La subcapa MAC se encarga de diversas funciones como son:

- ✓ Generación de tramas de acuse de recibo (acknowledgment frames).
- ✓ Asociación / disociación.
- ✓ Control de seguridad.

4.1.2.1 Estructura de la trama MAC.

La estructura MAC del estándar IEEE 802.15.4 está diseñada de modo que refleje la simplicidad y flexibilidad del protocolo. La trama MAC consta de tres partes:

- ✓ Cabecera de la trama (*frame header*).
- ✓ Carga útil de la trama (*frame payload*).
- ✓ Pie de la trama (*frame footer*).

Los tres componentes de la trama MAC toman el nombre de protocolo de unidad de datos MPDU (*MAC Protocol Data Unit*) que luego se ensambla en el paquete de la capa física mostrado en la Figura IV.10.

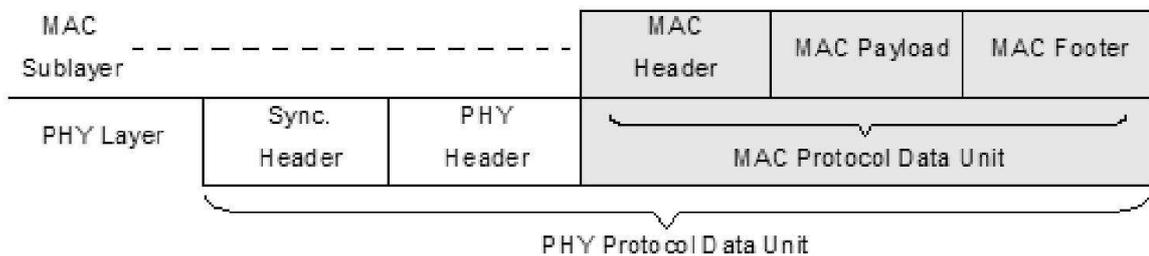


Figura IV.10 Estructura general de la trama MAC

4.1.2.2 Cabecera de la trama.

La cabecera MAC consta de un campo de control de trama y un campo de direccionamiento. El campo de control de trama, especifica el tipo de trama, uso de seguridad y el formato y contenido del campo de dirección. El campo de direccionamiento contiene direcciones de origen o destino especificadas en el campo de control de trama.

4.1.2.3 Carga útil de la trama.

La carga útil de la trama contiene información sobre el tipo de trama y éste puede ser dividido en forma lógica para su uso para las capas superiores.

4.1.2.4 Cola de la trama.

El pie es en este caso el campo FCS (*Frame Check Sequence*) y sirve para verificar la integridad de las tramas MAC.

4.1.2.5 Tipos de trama MAC.

El estándar IEEE 802.15.4 define cuatro tipos de tramas MAC:

- ✓ Trama Beacon.
- ✓ Trama de Datos.
- ✓ Trama de Acuse de Recibo.
- ✓ Trama de Comandos MAC.

4.1.2.5.1 Trama Beacon.

La trama *Beacon* es habilitada por los dispositivos de funciones totales para localizar dispositivos ZigBee y unirlos a la red. En una trama *Beacon*, el campo de direcciones contiene la fuente del Identificador de Red de Área Personal PAN ID y la fuente de direcciones de dispositivos. El valor MAC de una trama Beacon está dividido en cuatro campos.

Especificación de la Supertrama (Superframe Specification): contiene los parámetros que especifican la estructura de la supertrama.

Especificación Pendiente de Direcciones (Pending Address Specification): contienen el número y tipo de direcciones especificadas en el campo de lista de direcciones.

Lista de Direcciones (Address List): contiene la lista de direcciones de dispositivos con datos disponibles para el coordinador PAN.

Carga útil Beacon (Beacon Payload): Es un campo opcional que contiene datos para todos los dispositivos participantes en la red (*broadcast*) dentro del rango de cobertura.

El formato de una *trama beacon* se muestra en la Figura IV.11.

MAC Header			MAC Payload				MAC footer
Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Superframe Specification	GTS fields	Pending address field	Beacon Payload	FCS

Figura IV.11 Formato de la Trama Beacon

4.1.2.5.2 Trama de datos.

La trama de datos es usada por la subcapa MAC para transmitir datos y su formato se muestra en la Figura IV.12.

MAC Header			MAC Payload	MAC footer
Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Data Payload	FCS

Figura IV.12 Formato de Trama de Datos

4.1.2.5.3 Trama de Acuse de Recibo.

La trama de acuse de recibo es enviada por la subcapa MAC para confirmar la recepción satisfactoria de la trama hacia el origen del mensaje. El formato de esta trama se muestra en la Figura IV.13.

MAC Header		MAC Payload	MAC footer
Frame Control	Sequence Number	→	FCS

Figura IV.13 Formato de la Trama de Acuse de Recibo

4.1.2.5.4 Trama de Comandos MAC.

La trama de comandos MAC es originada por la subcapa MAC y se encarga de todo el control de transferencia de la MAC, los tipos de comando MAC se muestran en la Tabla IV.2.

La carga útil de la MAC (*MAC payload*) tiene dos campos, el tipo de comando MAC (*MAC command type*) y el Valor del Comando MAC (*MAC command payload*). EL Valor de Comando MAC contiene información específica del tipo de comando en uso. La Figura IV.14 muestra los detalles del formato de Trama de Comando MAC.

MAC Header			MAC Payload		MAC footer
Frame Control	Sequence Number	Addressing Fields	Command Type	MAC Command Payload	FCS

Figura IV.14 Formato de Trama de Comando MAC

Tabla IV.2 Tipos de Tramas de Comandos MAC

Identificador de comando	Tipo de Comando
1	Solicitud de Asociación
2	Respuesta de Asociación
3	Notificación de Disociación
4	Petición de datos
5	Conflicto en la notificación del Identificador de Red de PAN ID
6	Notificación de huérfano
7	Petición de trama Beacon
8	Realineación del coordinador
9-255	Reservado

La MAC del estándar IEEE 802.15.4 proporciona la ayuda para desarrollar tres tipos de topologías inalámbricas las cuales son: Topología en Estrella, Topología en Arbol (Cluster Tree) y Topología en Malla.

El dispositivo coordinador contiene las direcciones de todos los dispositivos, de esta manera se garantiza única direcciones de dispositivos dentro de la red.

4.1.3 Modelo de red.

El estándar define dos tipos de nodo en la red. El primero es el *dispositivo de funcionalidad completa (full-function device, FFD)*. Puede funcionar como coordinador de una red de área

personal (PAN) o como un nodo normal. Implementa un modelo general de comunicación que le permite establecer un intercambio con cualquier otro dispositivo. Puede, además, encaminar mensajes, en cuyo caso se le denomina coordinador.

Contrapuestos a éstos están los *dispositivos de funcionalidad reducida* (*reduced-function device*, RFD). Se plantean como dispositivos muy sencillos con recursos y necesidades de comunicación muy limitadas. Por ello, sólo pueden comunicarse con FFD's y nunca pueden ser coordinadores.

Las redes de nodos pueden construirse como redes punto a punto o en estrella. Toda red necesita al menos un FFD que actúe como su coordinador. Las redes están compuestas por grupos de dispositivos separados por distancias suficientemente reducidas; cada dispositivo posee un identificador único de 64 bits, aunque si se dan ciertas condiciones de entorno en éste pueden utilizarse identificadores cortos de 16 bits.

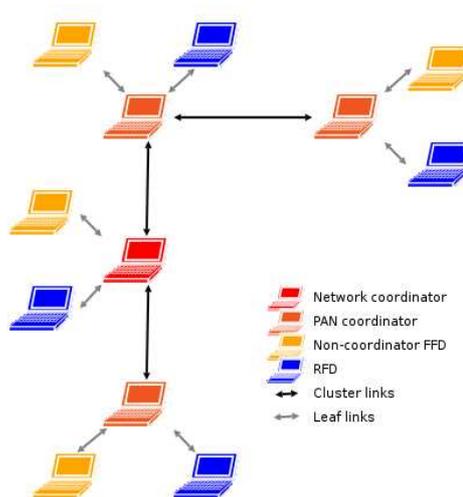


Figura IV.15 Árbol de clúster IEEE 802.15.4

Las redes punto a punto pueden formar patrones arbitrarios de conexión, y su extensión está limitada únicamente por la distancia existente entre cada par de nodos. Forman la base de redes ad-hoc auto-organizativas. El estándar no define un nivel de red, por lo que no se soportan funciones de ruteo de forma directa, aunque si dicho nivel se añade pueden realizarse comunicaciones en varios saltos. Pueden imponerse otras restricciones topológicas; en concreto, el estándar menciona el árbol de clusters como una estructura que aprovecha que los RFD's sólo pueden conectarse con un FFD al tiempo para formar redes en las que los RFD's son siempre hojas del árbol, y donde la mayoría de los nodos son FFD's. Puede relajarse la estructura para formar redes en malla genéricas, cuyos nodos sean árboles de clusters con un coordinador local para cada clúster, junto con un coordinador global.

También pueden formarse redes en estrella, en las que el coordinador va a ser siempre el nodo central. Una red así se forma cuando un FFD decide crear su PAN y se nombra a sí mismo coordinador, tras elegir un identificador de PAN único.

4.1.4 Arquitectura de transporte de datos.

Las tramas son la unidad básica de transporte. Puede usarse, además, una estructura de supertramas definida por el coordinador, en cuyo caso éstas están comprendidas entre dos balizas y proveen sincronización e información de configuración a otros dispositivos. Una supertrama está formada por dieciséis slots de igual capacidad, que pueden dividirse en una parte activa y otra pasiva, en la que el coordinador puede ahorrar energía ya que no tendrá que realizar labores de control.

La contención se da entre los límites de la supertrama y se resuelve por medio de CSMA/CA. Toda transmisión debe finalizar antes de la llegada de la segunda baliza. Una aplicación que tenga necesidades de ancho de banda bien definidas puede utilizar hasta siete dominios de uno o más slots garantizados, sin contención, en la parte final de la supertrama. La primera parte debe ser suficiente para dar servicio a la estructura de red y sus dispositivos. Las supertramas suelen usarse cuando hay dispositivos de baja latencia, que deben mantener sus asociaciones incluso ante periodos extendidos de inactividad.

La transferencia de datos requiere una fase de sincronización por balizas, si están en uso, seguida por una transmisión con CSMA/CA (utilizando slots si se usan supertramas) con confirmación. Las transferencias iniciadas por el coordinador suelen atender a peticiones de los dispositivos. Éstas se producen utilizando las balizas, si se utilizan. El coordinador confirma la petición y manda la información en paquetes, que los dispositivos confirman. Si no se utilizan supertramas el proceso es el mismo, sólo que no hay balizas que puedan mantener listas de mensajes pendientes.

Las redes punto a punto pueden usar CSMA/CA sin slots o mecanismos de sincronización; en este último caso, dos dispositivos cualesquiera pueden comunicarse, mientras que si la red es más estructurada uno de los dispositivos debe ser el coordinador.

En general, el modelo sigue un patrón de clasificación de las primitivas en petición-confirmación/indicación-respuesta.

4.1.5 Fiabilidad y seguridad.

El medio físico es un recurso al que se accede utilizando CSMA/CA. Las redes que no utilizan métodos balizado hacen uso de una variación del mismo basada en la escucha del medio, balanceada por un algoritmo de backoff exponencial aleatorio, salvo en el caso de las confirmaciones. Las transmisiones de datos típicas utilizan slots no reservados cuando se utilizan balizas; de nuevo, la excepción son las confirmaciones, si un dispositivo es incapaz de procesar una trama en un momento dado, no confirma su recepción. Pueden realizarse reintentos basados en timeout un cierto número de veces, tras lo cual se decide si seguir intentándolo o dar error de transmisión.

El entorno de funcionamiento previsto para este tipo de redes exige que se maximice la vida de la fuente de energía, por lo que se favorecen los protocolos que conducen a estos fines. Para ello, se programan comprobaciones periódicas de mensajes pendientes, más o menos frecuentes según la aplicación concreta.

En lo que respecta a seguridad en las comunicaciones, el subnivel MAC ofrece funcionalidades que los niveles superiores pueden utilizar para lograr alcanzar el nivel de seguridad deseado. Estos niveles pueden especificar claves simétricas para proteger los datos y restringir éstos a un grupo de dispositivos o a un enlace punto a punto. Estos grupos se especifican en listas de control de acceso. Además, MAC realiza *comprobaciones de frescura (freshness check)* entre recepciones sucesivas para asegurar que las tramas viejas, cuyo contenido no se considera útil o válido ya, no trascienden a los niveles superiores.

Adicionalmente, existe un modo MAC inseguro que permite el uso de listas de control de acceso únicamente como mecanismo de decisión de aceptación de tramas en base a su (supuesto) origen. El estándar no define niveles superiores ni subcapas de interoperabilidad.

4.2 Zigbee

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de comunicación de alto nivel para su utilización con radios digitales de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías, como la domótica, debido a su bajo consumo, su sistema de comunicaciones vía radio (con topología de red en malla) y su fácil integración (se pueden fabricar nodos con muy poca electrónica).

4.2.1 Visión general.

La relación entre IEEE 802.15.4 y ZigBee es parecida a la existente entre IEEE 802.11 y Wi-Fi Alliance. La especificación 1.0 de ZigBee se aprobó el 14 de diciembre de 2004 y está disponible a miembros del grupo de desarrollo ZigBee Alliance. La revisión actual de 2006 se aprobó en diciembre de dicho año.

ZigBee utiliza la banda ISM para usos industriales, científicos y médicos; en concreto, 868 MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2,4 GHz en todo el mundo. El nodo ZigBee más completo requiere en teoría cerca del 10% del software de un nodo Bluetooth o

Wi-Fi típico; esta cifra baja al 2% para los nodos más sencillos. No obstante, el tamaño del código en sí es bastante mayor y se acerca al 50% del tamaño del de Bluetooth.

La primera versión de la pila suele denominarse *ZigBee 2004*. La segunda versión a junio de 2006 se denomina *ZigBee 2006*, y reemplaza la estructura MSG/KVP con una *librería de clusters*, dejando obsoleta a la anterior versión. ZigBee Alliance comenzó a trabajar en la versión de 2007 de la pila para adecuarse a la última versión de la especificación, en concreto centrándose en optimizar funcionalidades de nivel de red. También se incluyen algunos perfiles de aplicación nuevos, como *lectura automática*, *automatización de edificios comerciales* y *automatización de hogares* en base al principio de uso de la librería de clusters.

En ocasiones ZigBee 2007 se denomina *Pro*, pero Pro es en realidad un perfil de pila que define ciertas características sobre la misma. El nivel de red de ZigBee 2007 no es compatible con el de ZigBee 2004-2006, aunque un nodo RFD puede unirse a una red 2007 y viceversa. No pueden combinarse routers de las versiones antiguas con un coordinador 2007.

4.2.2 Usos.

Los protocolos ZigBee están definidos para su uso en aplicaciones embebidas con requerimientos bajos de transmisión de datos y consumo energético. Se pretende su uso en aplicaciones de propósito general con características auto organizativas y bajo coste (redes en malla, en concreto). Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos medios, ejercer labores de detección de humo o intrusos o

domótica. La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de varios años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.



Figura IV.16 Aplicaciones de Zigbee

4.2.3 Protocolos.

Los protocolos se basan en investigaciones recientes sobre algoritmos de red (*ad hoc on-demand distance vector*, vector de distancias bajo demanda; neuRFon) para la construcción de redes ad-hoc de baja velocidad. La mayoría de redes grandes están pensadas para formar un cluster de clusters. También puede estructurarse en forma de malla o como un solo cluster. Los perfiles actuales de los protocolos soportan redes que utilicen o no facilidades de balizado.

Las redes sin balizas (aquéllas cuyo grado de balizado es 15) acceden al canal por medio de CSMA/CA. Los routers suelen estar activos todo el tiempo, por lo que requieren una alimentación estable en general. Esto, a cambio, permite redes heterogéneas en las que algunos dispositivos pueden estar transmitiendo todo el tiempo, mientras que otros sólo transmiten ante la presencia de estímulos externos.

Si la red utiliza balizas, los routers las generan periódicamente para confirmar su presencia a otros nodos. Los nodos pueden desactivarse entre las recepciones de balizas reduciendo su ciclo de servicio (*duty cycle*). Los intervalos de balizado pueden ir desde 5,36ms a $15,36\text{ms} * 2^{14} = 251,65824$ segundos a 250Kbps; de 24ms a $24\text{ms} * 2^{14} = 393,216$ segundos a 40Kbps; y de 48 ms a $48\text{ms} * 2^{14} = 786,432$ segundos a 20Kbps.

En las redes con balizas los nodos sólo necesitan estar despiertos mientras se transmiten las balizas (además de cuando se les asigna tiempo para transmitir). Si no hay balizas, el consumo es asimétrico repartido en dispositivos permanentemente activos y otros que sólo no están esporádicamente.

Los dispositivos ZigBee deben respetar el estándar de WPAN de baja tasa de transmisión IEEE 802.15.4-2003. El estándar trabaja sobre las bandas ISM de uso no regulado detallada más arriba. Se definen hasta 16 canales en el rango de 2,4 GHz, cada uno de ellos con un ancho de banda de 5 MHz. La frecuencia central de cada canal puede calcularse como:

$$F_C = (2405 + 5*(k-11)) \text{ MHz, con } k = 11, 12, \dots, 26.$$

Se utiliza BPSK en los dos rangos menores de frecuencia, así como un QPSK ortogonal que transmite dos bits por símbolo en la banda de 2,4 GHz. Ésta permite tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps, mientras que las bandas inferiores se han ampliado con la última revisión a esta tasa desde los 40 Kbps de la primera versión. Los rangos de transmisión oscilan entre los 10 y 75 metros, aunque depende bastante del entorno. La potencia de salida de las radios suele ser de 0 dBm (1 mW), en general se utiliza CSMA/CA para evitar colisiones en la transmisión.

4.2.4 Estructura.



Figura IV.17 Capas de la estructura Zigbee.

Seguendo el estándar del modelo de referencia OSI (Open Systems Interconnection), en el gráfico, aparece la estructura de la arquitectura en capas. Las primeras dos capas, la física y la de acceso al medio MAC, son definidas por el estándar IEEE 802.15.4. Las capas

superiores son definidas por la Alianza ZigBee y corresponden a las capas de red y de aplicación las cuales contienen los perfiles del uso, ajustes de la seguridad y la mensajería.

La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. En esta capa se brindan los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red, proporcionar los medios para garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos.

Se debe tener en cuenta que el algoritmo de enrutamiento que se usa es el de *enrutamiento de malla*, el cual se basa en el protocolo *Ad Hoc On-Demand Vector Routing – AODV*. Cuando esta capa se encuentra cumpliendo la función de unir o separar dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma.

Es en esta capa en donde se implementan las distintas topologías de red que ZigBee soporta (árbol, estrella y mesh network).

Los cometidos principales de la capa de red son permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer un interfaz adecuado para su uso por parte del nivel inmediatamente superior. Sus capacidades, incluyendo el ruteo, son las típicas de un nivel de red clásico.

Por una parte, la entidad de datos crea y gestiona las unidades de datos del nivel de red a partir del payload del nivel de aplicación y realiza el ruteo en base a la topología de la red en la que el dispositivo se encuentra. Por otra, las funciones de control del nivel controlan la configuración de nuevos dispositivos y el establecimiento de nuevas redes; puede decidir si un dispositivo colindante pertenece a la red e identifica nuevos routers y vecinos. El control puede detectar así mismo la presencia de receptores, lo que posibilita la comunicación directa y la sincronización a nivel MAC.

La trama general de operaciones (GOF) es una capa que existe entre la de aplicaciones y el resto de capas. La GOF suele cubrir varios elementos que son comunes a todos los dispositivos, como el subdireccionamiento, 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.

También es responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red.

La capa de aplicación es el más alto definido por la especificación y, por tanto, la interfaz efectiva entre el nodo ZigBee y sus usuarios y no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes.

En él se ubican la mayor parte de los componentes definidos por la especificación tanto los objetos de dispositivo ZigBee (ZigBee device objects, ZDO) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el actuará como coordinador, ruteador o dispositivo final; y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes, como sus procedimientos de control y los objetos de aplicación.

Cada capa se comunica con sus capas subyacentes a través de una interfase de datos y otra de control, las capas superiores solicitan servicios a las capas inferiores, y éstas reportan sus resultados a las superiores. Además de las capas mencionadas, a la arquitectura se integran otro par de módulos: *módulo de seguridad*, que es quien provee los servicios para cifrar y autenticar los paquetes, y el *módulo de administración del dispositivo ZigBee*, que es quien se encarga de administrar los recursos de red del dispositivo local, además de proporcionar a la aplicación funciones de administración remota de red.

4.2.5 Configuración de red.

El estándar inalámbrico de red ZigBee puede asumir muchos tipos de configuraciones. En toda configuración de red hay por lo menos dos componentes principales los mismos son:

- ✓ Nodo Coordinador.
- ✓ Dispositivo Final.

El coordinador del estándar ZigBee es una variante especial de un Dispositivo de Funciones Totales (FFD) que realiza la mayoría de servicios del estándar ZigBee. Un dispositivo final sería un FFD o un Dispositivo de Funciones Reducidas (RFD). Un RFD es lo más pequeño

y simple de los nodos en el estándar ZigBee. Este implementa únicamente un servicio mínimo de funciones. Un tercero u opcional componente del estándar es el ruteador, el cual es usado para la extensión de la red.

4.2.5.1 Tipos de dispositivos.

Se definen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- ✓ ***Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC)***. El tipo de dispositivo más completo. Puede actuar como director de una red en árbol así como servir de enlace a otras redes. Existe exactamente un coordinador en cada red, que es el nodo que la comienza en principio. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su *centro de confianza* en la distribución de claves de cifrado.
- ✓ ***Router ZigBee (ZR)***. Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red.
- ✓ ***Dispositivo final (ZigBee end device, ZED)***. Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

En base a su funcionalidad puede plantearse una segunda clasificación.

- ✓ ***Dispositivo de funcionalidad completa (FFD)***: es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Puede funcionar como un coordinador de red. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como coordinador o router o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.

- ✓ ***Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD)***: tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

4.2.6 Topología.

La capa de red soporta múltiples configuraciones de red incluyendo estrella, árbol y malla.

4.2.6.1 Topología en Estrella.

La configuración de red en estrella consta de un coordinador (máster) y uno o más dispositivos finales (nodos) (ver Figura IV.18). En una red en estrella, todos los dispositivos finales se comunican únicamente con el coordinador. Si un dispositivo final necesita transferir datos a otro dispositivo final, este envía sus datos al coordinador. El coordinador selecciona y reenvía los datos al nodo destinatario.

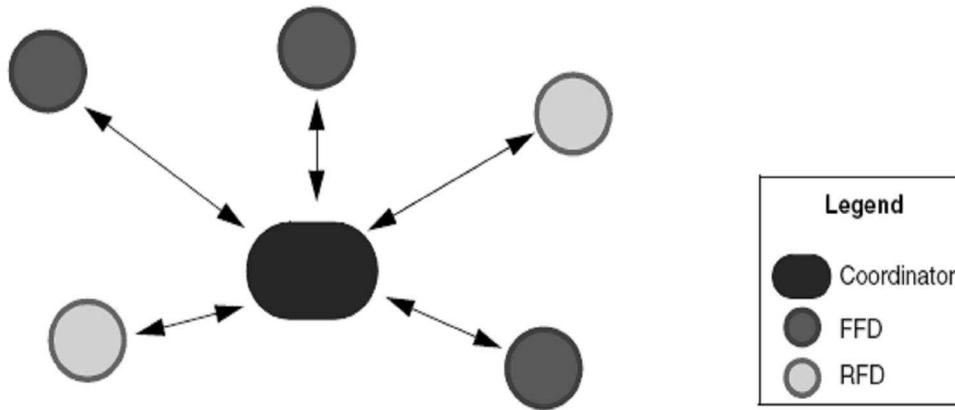


Figura IV.18 Configuración de red en estrella

En la configuración en estrella, uno de los dispositivos tipo FFD 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.

4.2.6.2 Topología en Árbol (Cluster Tree).

En esta configuración, los dispositivos finales pueden unirse unos con otros por medio de coordinadores o ruteadores. Los ruteadores ofrecen dos funciones. Uno es el incremento del número de nodos que puedan estar en la red. La otra es la ampliación física del rango de alcance de la red. Con el ingreso de un ruteador, un dispositivo final no necesita estar a un rango determinado de radio del coordinador. Todos los mensajes en la topología en árbol se enrutarían a lo largo del árbol.

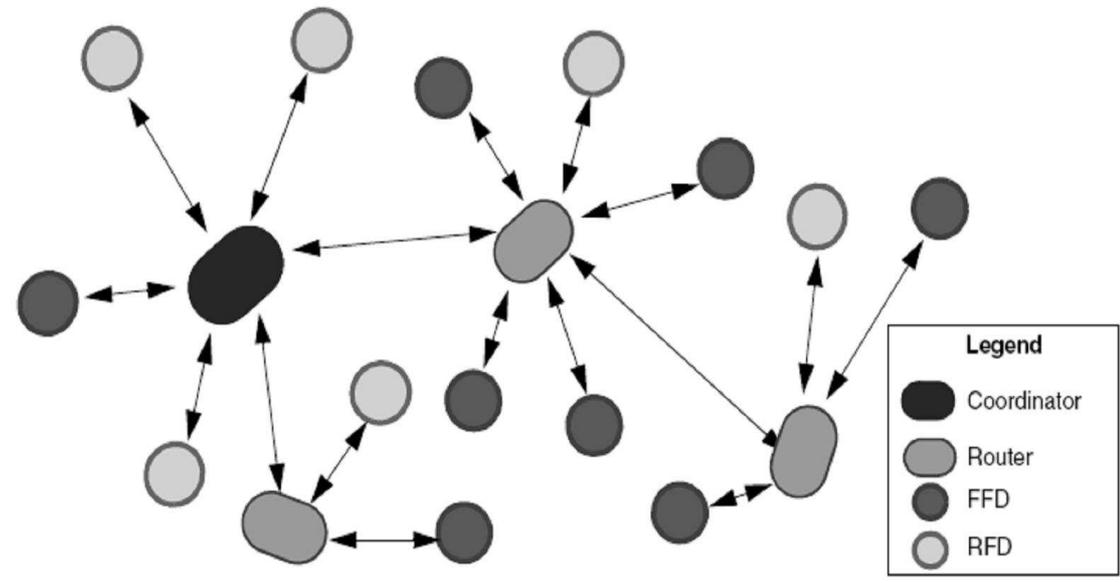


Figura IV.19 Topología en Árbol (Cluster Tree)

Muchos dispositivos son FFDs y los RFD pueden conectarse como un nodo único al final de la red. Cualquiera de los FFDs restantes puede actuar como coordinadores y proveer servicios de sincronización hacia otros dispositivos o coordinadores.

4.2.6.3 Topología en Malla.

Una red en malla es similar a la red ramas de árbol, excepto que los FFDs pueden comunicarse directamente con otros FFDs, lo que no ocurre en la topología anterior. La ventaja de esta topología es que puede reducirse la latencia e incrementarse la confiabilidad.

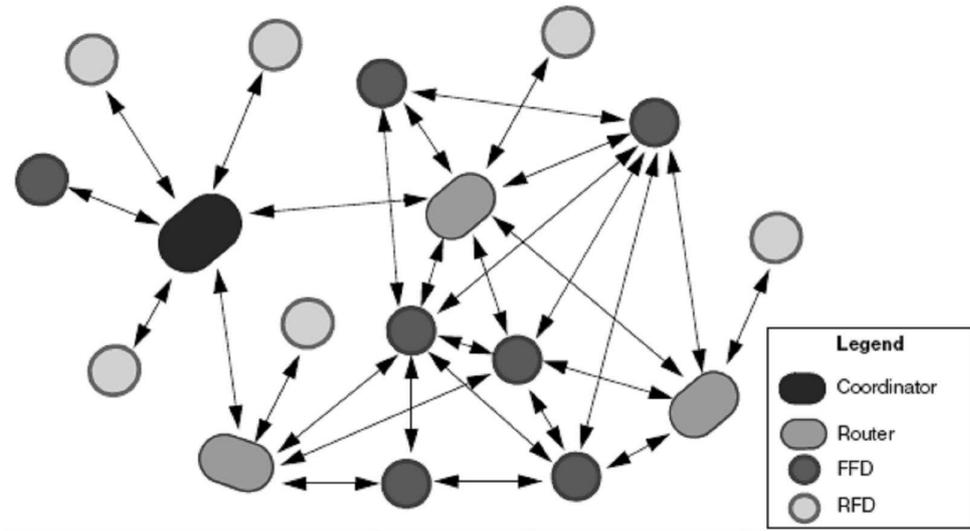


Figura IV.20 Topología en Malla

Las topologías de red en árbol y malla se las conocen también como redes multi salto (multi-hop), debido a las habilidades de enrutar los paquetes a través de múltiples dispositivos, mientras que la topología en estrella se la conoce como red simple salto (single-hop), debido a que el paquete realiza un único salto para llegar a su destino. La red ZigBee es una red multi-acceso, principalmente porque todos los nodos en la red tienen igual acceso al medio de comunicación.

4.2.7 Tipos de Tráfico de Datos.

ZigBee/IEEE 802.15.4 dirige tres tipos de tráfico típicos:

- 1. Cuando el dato es periódico:** La aplicación dicta la proporción, el sensor se activa, chequea los datos y luego desactiva.

2. Cuando el dato es intermitente: La aplicación, u otro estímulo, determina la proporción, como en el caso de los detectores de humo. El dispositivo necesita sólo conectarse a la red cuando la comunicación se hace necesaria. Este tipo habilita el ahorro óptimo en la energía.

3. Cuando el dato es repetitivo: La proporción es a priori fija. Dependiendo de las hendeduras de tiempo repartidas, los dispositivos operan para las duraciones fijas.

4.2.8 Estrategias de conexión de los dispositivos de 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 "dormido", de tal forma que solo se "despierta" por una fracción de segundo para confirmar que está "vivo" 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 enumeración de "esclavos" dura alrededor de 30ms.

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

4.2.8.1 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 "supertrama". 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 -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".

4.2.8.2 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 (en nuestro sistema será cuando se 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.

4.2.9 Seguridad.

La seguridad de las transmisiones y de los datos son puntos clave en la tecnología ZigBee. ZigBee utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad.

Control de accesos: El dispositivo mantiene una lista de los dispositivos comprobados en la red.

Datos Encriptados: Los cuales usan una encriptación con un código de 128 bits.

Integración de tramas: Protegen los datos de ser modificados por otros.

Secuencias de refresco: Comprueban que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

4.2.9.1 Arquitectura de seguridad.

ZigBee utiliza claves de 128 bits en sus mecanismos de seguridad. Una clave puede asociarse a una red (utilizable por los niveles de ZigBee y el subnivel MAC) o a un enlace. Las claves de enlace se establecen en base a una clave maestra que controla la correspondencia entre claves de enlace. Como mínimo la clave maestra inicial debe

obtenerse por medios seguros (transporte o preinstalación), ya que la seguridad de toda la red depende de ella en última instancia. Los distintos servicios usarán variaciones unidireccionales (one-way) de la clave de enlace para evitar riesgos de seguridad.

Es claro que la distribución de claves es una de las funciones de seguridad más importantes. Una red segura encarga a un dispositivo especial la distribución de claves: el denominado centro de confianza (trust center). En un caso ideal los dispositivos llevarán precargados de fábrica la dirección del centro de confianza y la clave maestra inicial. Si se permiten vulnerabilidades momentáneas, se puede realizar el transporte como se ha descrito. Las aplicaciones que no requieran un nivel especialmente alto de seguridad utilizarán una clave enviada por el centro de confianza a través del canal inseguro transitorio.

Por tanto, el centro de confianza controla la clave de red y la seguridad punto a punto. Un dispositivo sólo aceptará conexiones que se originen con una clave enviada por el centro de confianza, salvo en el caso de la clave maestra inicial. La arquitectura de seguridad está distribuida entre los distintos niveles de la siguiente manera:

El subnivel MAC puede llevar a cabo comunicaciones fiables de un solo salto. En general, utiliza el nivel de seguridad indicado por los niveles superiores.

El nivel de red gestiona el ruteo, procesando los mensajes recibidos y pudiendo hacer broadcast de peticiones. Las tramas salientes usarán la clave de enlace correspondiente al ruteo realizado, si está disponible; en otro caso, se usará la clave de red.

El nivel de aplicación ofrece servicios de establecimiento de claves al ZDO y las aplicaciones, y es responsable de la difusión de los cambios que se produzcan en sus dispositivos a la red. Estos cambios podrían estar provocados por los propios dispositivos (un cambio de estado sencillo) o en el centro de confianza, que puede ordenar la eliminación de un dispositivo de la red, por ejemplo. También encamina peticiones de los dispositivos al centro de seguridad y propaga a todos los dispositivos las renovaciones de la clave de red realizadas por el centro. El ZDO mantiene las políticas de seguridad del dispositivo.

4.2.10 Técnicas de Modulación.

Zigbee opera en dos bandas de frecuencia:

- ✓ 2.4 GHz con tasa máxima de transferencia de 250 Kbps, para este caso, modula en O-QPSK (Modulación con desplazamiento de fase en cuadratura con desplazamiento temporal).
- ✓ 868-928 MHz para tasa de datos entre 20 y 40 Kbps, para este otro, modula en BPSK (Modulación con desplazamiento de fase binaria).

4.2.10.1 Modulación OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying).

La modulación OQPSK consiste en realizar una transición de fase en cada intervalo de señalización de bits, por portadora en cuadratura.

4.2.10.2 Modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying).

En esta modulación se tiene como resultados posibles dos fases de salida para la portadora con una sola frecuencia. Una fase de salida representa un 1 lógico y la otra un 0 lógico. Conforme la señal digital de entrada cambia de estado, la fase de la portadora de salida se desplaza entre dos ángulos que están 180° fuera de fase.

4.2.11 ZigBee y su espectro compartido con WLAN.

- ✓ Un canal entre 868MHz y 868.6MHz, Ch1 hasta Ch10.
- ✓ Diez canales entre 902.0MHz y 928.0MHz, Ch1 hasta Ch10.
- ✓ Dieciséis canales entre 2.4GHz y 2.4835GHz, Ch11 hasta Ch26.

El estándar ZigBee especifica una sensibilidad en el receptor de -85dBm en la banda de los 2.4GHz. Y una sensibilidad de -92dBm en la banda 865/915MHz.

4.2.12 Zigbee vs. Bluetooth.

ZigBee es muy similar al Bluetooth pero con algunas diferencias:

- ✓ Una red ZigBee puede constar de un máximo de 64000 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 30ma transmitiendo y de 3ma en reposo, frente a los 40ma transmitiendo y 0.2ma en reposo que tiene el 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, y siempre se está transmitiendo y/o recibiendo.

- ✓ Tiene una velocidad de 250 Kbps, mientras que el Bluetooth tiene 1 Mbps.
- ✓ Existe una versión que integra el sistema de radiofrecuencias característico de Bluetooth junto a interfaz de transmisión de datos vía infrarroja desarrollado por IBM mediante un protocolo ADSI y MDSI.

Tabla IV.3 Tecnologías Inalámbricas

COMPARACION DE TECNOLOGIAS INALAMBRICAS			
	WI-FI	BLUETOOTH	ZIGBEE
BANDAS DE FRECUENCIA	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz 868/915 MHz
TAMAÑO DE LA PILA	~ 1Mb	~ 1Mb	~ 20Kb
TASA DE TRANSFERENCIA	11-54 Mbps	1Mbps	250 Kbps (2.4GHz) 40 Kbps (915 MHz) 20 Kbps (868 MHz)
NUMEROS DE CANALES	11 - - 14	79	16 (2.4GHz) 10 (915 MHz) 1 (868 MHz)
TIPOS DE DATOS	DIGITAL	DIGITAL, AUDIO	DIGITAL (TEXTO)
RANGO DE NODOS INTERNOS	100m	10m -100m	10m – 100m
NUMERO DE DISPOSITIVOS	32	8	255 / 65535
REQUISITOS DE ALIMENTACION	Media – horas de batería	Media – días de batería	Muy baja – años de batería
INTRODUCCION AL MERCADO	Alta	Media	Baja
ARQUITECTURAS	Estrella	Estrella	Estrella, árbol, malla
APLICACIONES	Navegar por internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros	Wireless USB, móviles (celulares), informática casera	Control de bajo costo, monitoreo, sensores
CONSUMO DE POTENCIA	400ma transmitiendo, 20ma en reposo	40ma transmitiendo, 0.2ma en reposo	30ma transmitiendo, 3ma en reposo

PRECIO	Costoso	Accesible	Bajo
COMPLEJIDAD	Complejo	Complejo	Bajo
VENTAJAS	Gran ancho de banda	Interoperabilidad, sustituto de cable	Batería de larga duración, bajo coste

4.2.13 Ventajas y desventajas.

4.2.13.1 Ventajas.

- Ideal para conexiones punto a punto y punto a multipunto.
- Diseñado para el direccionamiento de información y el refrescamiento de la red.
- Opera en la banda libre de ISM 2.4 GHz para conexiones inalámbricas.
- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Alojamiento de 16 bits a 64 bits de dirección extendida.
- Reduce tiempos de espera en el envío y recepción de paquetes.
- Detección de Energía (ED).
- Baja ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.
- Hasta 65.000 nodos en una red.
- 128-bit AES de cifrado - Provee conexiones seguras entre dispositivos.
- Son más baratos y de construcción más sencilla.

4.2.13.2 Desventajas.

- La tasa de transferencia es muy baja.
- Solo manipula textos pequeños comparados con otras tecnologías.
- Zigbee trabaja de manera que no puede ser compatible con Bluetooth en todos sus aspectos porque no llegan a tener las mismas tasas de transferencia, ni la misma capacidad de soporte para nodos.
- Tiene menor cobertura porque pertenece a redes inalámbricas de tipo WPAN.

CAPITULO V

RECONOCIMIENTO DE VOZ

5.1 Concepto.

El Reconocimiento de Voz es una técnica mediante la cual, se interpreta el significado de nuestras palabras, con la finalidad de tomar decisiones o ejecutar una orden. Reconocimiento de Voz es una expresión que se emplea para incluir un conjunto de aplicaciones, entre las que podemos mencionar las siguientes:

- ✓ Identificación de Locutor.
- ✓ Verificación del Locutor.
- ✓ Selección del Locutor.
- ✓ Reconocimiento del Habla.

- ✓ Reconocimiento de una palabra clave.

El propósito del habla es la comunicación. En la actualidad es muy común que una persona necesite comunicarse con una máquina, por ejemplo: una computadora, en este caso la comunicación se realiza mediante periféricos como el teclado, ratón.

Tomando en cuenta que el habla es el medio más natural y eficiente mediante el cual las personas se pueden comunicar, el Reconocimiento de Voz permite que la comunicación entre un hombre y una máquina sea natural, simple y sencilla.

5.2 Caracterización de los sistemas de reconocimiento de voz.

Según Kurzweil (1999), el reconocimiento de voz es el proceso de convertir, por medio de una computadora, una señal acústica a una secuencia de palabras representadas en forma de texto. Las palabras reconocidas pueden servir de entrada a otros sistemas que los requieran para realizar alguna acción, como activar ciertos dispositivos.

5.2.1 Forma en que el usuario le habla a la maquina.

Existen básicamente tres formas. Los sistemas de reconocimiento automático de voz se caracterizan por tener en cuenta diferentes aspectos. Como:

- ✓ **Palabra Aislada:** el usuario habla palabras individuales (o frases) tomadas de un vocabulario determinado.
- ✓ **Palabras Conectadas:** el usuario habla en forma fluida una sucesión de palabras pertenecientes a un vocabulario restringido (ej. dígitos telefónicos).

- ✓ **Habla Continua:** el usuario habla fluidamente usando palabras de un vocabulario grande (usualmente ilimitado).

5.2.2 Tamaño del vocabulario de reconocimiento.

- ✓ **Pequeño:** capaz de reconocer hasta 100 palabras.
- ✓ **Mediano:** entre 100 y 1000 palabras.
- ✓ **Grande:** más de 1000 palabras

5.2.3 El conocimiento de los patrones de voz del usuario.

- ✓ **Sistemas dependientes del locutor:** adaptados a locutores particulares, esto se toma en cuenta principalmente cuando se ha diseñado un sistema orientado a la ayuda de una persona minusválida. El porcentaje de reconocimiento de este tipo de sistema es más alto debido a que la mayoría de los parámetros de representación del habla son sensibles a las características de un locutor en particular que de varios.
- ✓ **Sistemas independientes de locutor:** trabajan con una población de locutores grande, la mayoría de los cuales son desconocidos para el sistema. Este tipo de sistemas aunque son más complejos, ofrecen muchas ventajas, ya que cualquier persona podrá hacer uso del sistema sin necesidad de tener que entrenar los comandos cada vez que lo utiliza, si no que gracias a que es independiente del

usuario, basta con que los comandos sean grabados una sola vez y posteriormente ser utilizados.

- ✓ **Sistemas adaptables:** se adaptan al locutor particular mientras el sistema está en uso.

5.2.4 Grado de conocimiento acústico-lingüístico usado por el sistema.

- ✓ **Sólo conocimiento acústico:** No usan conocimiento lingüístico.
- ✓ **Integración de conocimiento acústico y lingüístico:** El conocimiento lingüístico está usualmente representado por restricciones sintácticas y semánticas sobre la salida del sistema de reconocimiento.

5.2.5 Grado de diálogo entre el usuario y la máquina.

- ✓ **Unidireccional (o pasivo):** El usuario habla y la máquina realiza una acción como respuesta.
- ✓ **Sistema de diálogo activado por la máquina:** El sistema es el iniciador del diálogo, requiriendo información del usuario vía una entrada verbal.
- ✓ **Sistema de diálogo natural:** La máquina “conversa” con el locutor, le solicita entradas, actúa en función de las entradas y trata de clarificar ambigüedades.

5.3 Enfoques de reconocimiento automático de voz.

5.3.1 Enfoque acústico-fonético.

Consiste en detectar sonidos elementales y asignarles determinados rótulos. La base de este enfoque es la hipótesis de que en el lenguaje hablado existe un número finito de unidades fonéticas distintas (fonemas) y que estas unidades pueden caracterizarse por un conjunto de propiedades acústicas que se manifiestan en la señal hablada en función del tiempo.

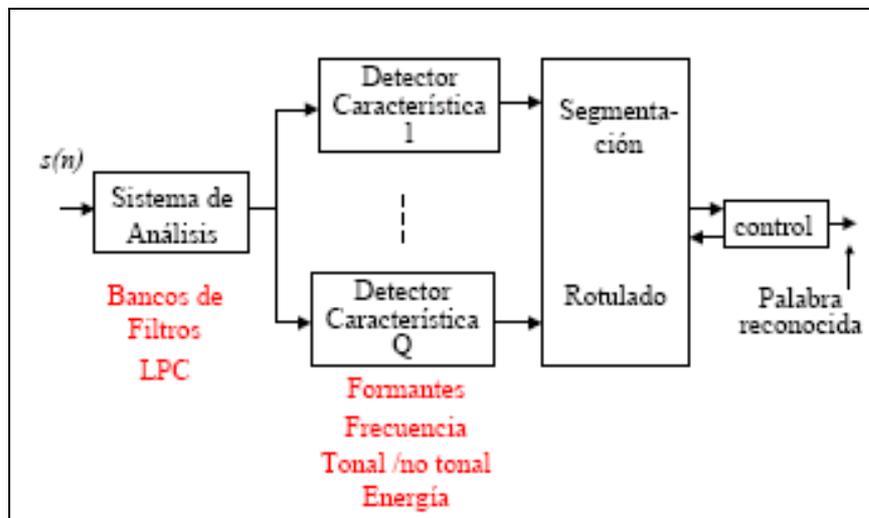


Figura V.21 Sistema De Reconocimiento De Voz Basado En Enfoque Acústico-Fonético

El reconocimiento consiste básicamente de dos pasos:

Primer paso: segmentación y rotulado. La señal es dividida en regiones acústicas a las que son asignados uno o más fonemas, resultando en una caracterización de la señal de voz mediante un reticulado de fonemas.

Segundo paso: se trata de determinar una palabra (o conjunto de palabras) válida a partir de la secuencia de fonemas rotulados en el primer paso. Se introducen en esta etapa restricciones lingüísticas (vocabulario, sintaxis, y reglas semánticas).

La primera etapa en el procesamiento (que es común a todos los enfoques) es la etapa de análisis de voz, que provee una representación (espectral) de las características inestacionarias de la señal de voz. Los métodos más comunes en esta etapa son análisis con banco de filtros y análisis LPC (Linear Predictive Coding).

En la siguiente etapa es la extracción de característica en donde se convierten las medidas espectrales en un conjunto de parámetros que describen las propiedades acústicas de las unidades fonéticas. Estos parámetros pueden ser: nasalidad (presencia o ausencia de resonancia nasal), fricación (presencia o ausencia de excitación aleatoria en la voz), ubicación de los formantes (frecuencias de las 3 primeras resonancias), clasificación entre sonidos tonales y no tonales, etc.

La tercer etapa del procesamiento es la etapa de segmentación y rotulado en donde el sistema trata de encontrar regiones estables donde las características cambian poco, que son rotuladas teniendo en cuenta cuán bien la característica en la región se ajusta a unidades fonéticas individuales. Esta es usualmente la etapa más difícil de llevar a cabo en forma confiable. El resultado de la etapa de segmentación y rotulado es un reticulado de fonemas a partir del cual se determina la palabra (o secuencia de palabras) que mejor se ajusta, teniendo en cuenta restricciones lingüísticas (de vocabulario, de sintaxis, y semánticas). (Ver figura V.22)

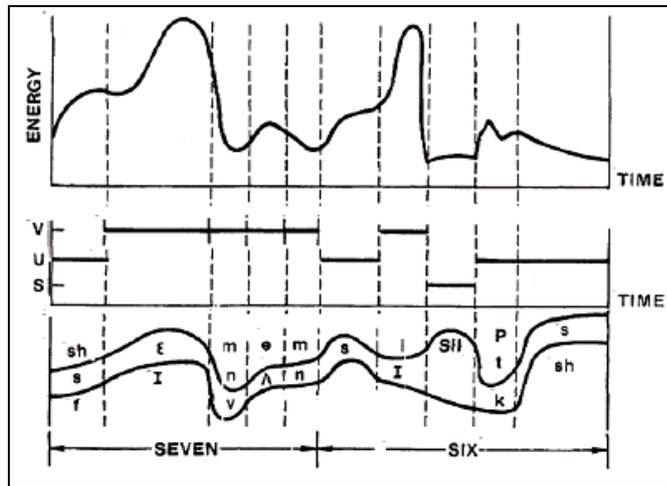


Figura V.22 Segmentación Y Rotulado De La Secuencia De Dígitos En Inglés Seven-Six

5.3.2 Enfoque de reconocimiento de patrones.

Consiste básicamente en dos pasos:

- ✓ **Primer Paso:** entrenamiento de patrones
- ✓ **Segundo Paso:** comparación de patrones

La característica principal de este enfoque es que usa un marco matemático bien definido y que establece representaciones consistentes de los patrones de voz que pueden usarse para comparaciones confiables a partir de un conjunto de muestras rotuladas, usando algoritmos de entrenamiento.

La representación de los patrones de voz puede ser una plantilla (template), o un modelo estadístico (HMM: Hidden Markov Model), que puede aplicarse a un sonido (más pequeño que una palabra), una palabra, o una frase. En la etapa de comparación de patrones se realiza una comparación directa entre la señal de voz desconocida (a reconocer) y todos los

posibles patrones aprendidos en la etapa de entrenamiento, de manera de determinar el mejor ajuste de acuerdo a algún criterio. (Ver Fig. 5.23)

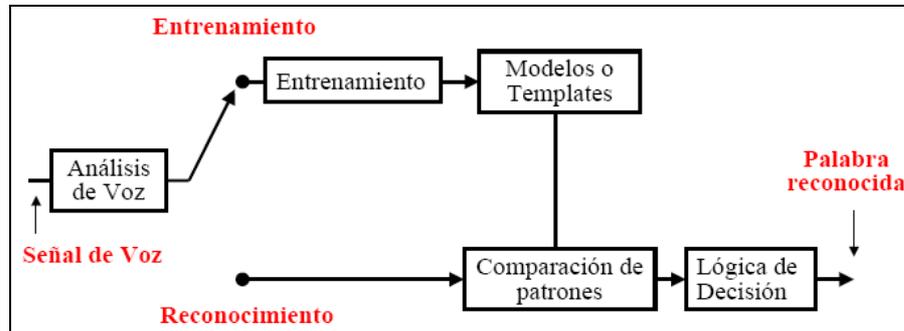


Figura V.23 Reconocimiento de Voz basado en reconocimiento de patrones.

5.3.3 Enfoque de inteligencia artificial.

En este enfoque se intenta automatizar el procedimiento de reconocimiento de acuerdo a la forma en que una persona aplica su inteligencia en la visualización, análisis y caracterización de la voz basada en un conjunto de características acústicas.

Algunas técnicas que se emplean son: sistemas expertos (redes neuronales) que integran conocimientos prácticos fonéticos, sintácticos, semánticos para la segmentación y el rotulado, y usan herramientas tales como redes neuronales artificiales para aprender las relaciones entre eventos fonéticos. Esta es una técnica que se ha empleado en la actualidad para automatizar procesos y dar servicios a personas con discapacidades, o para realizar procesos complejos que requieren de automatización avanzada (manejo de equipo pesado, etc.).

5.4 Proceso de producción y percepción del habla.

El proceso psicológico. Este proceso es aquel en el que la persona formula en su mente el mensaje que desea transmitir para después convertirlo en palabras aisladas o continuas.

El proceso fisiológico. Es en el que el cerebro humano produce las órdenes nerviosas necesarias para mover los músculos que producirán sonidos los cuales producirán posteriormente la voz, es decir en este proceso la voz se produce y se propaga.

Una vez que se cumplen los dos procesos antes mencionados empieza el proceso de percepción, en cual se activan los órganos auditivos (activados a su vez por la señal de voz) los cuales producirán los impulsos nerviosos para poder ser enviados al cerebro, que es en donde se logrará el entendimiento del mensaje que se quiere dar a conocer. En la Figura V.24 se observa el proceso de percepción del habla.

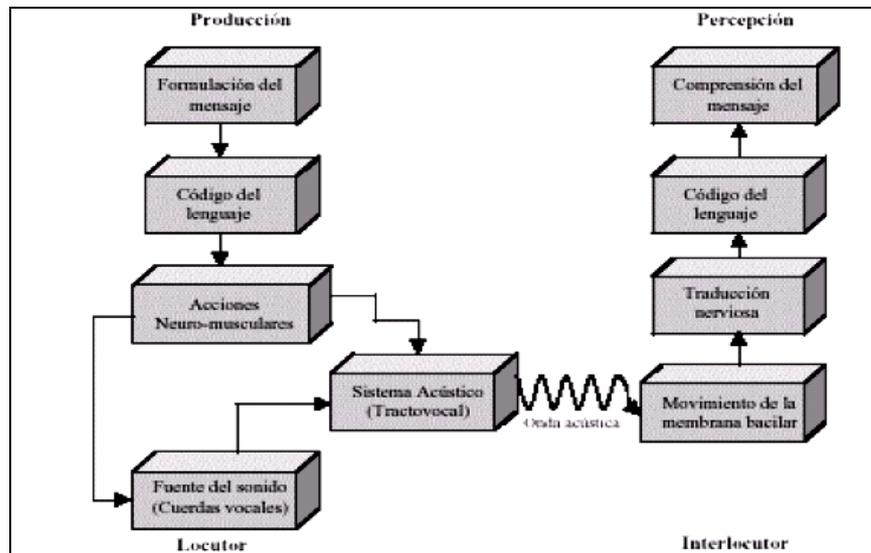


Figura V.24 Proceso de producción y percepción del habla.

5.5 Elementos de un reconocedor de voz.

En primer lugar se debe conocer la arquitectura básica de un sistema de reconocimiento de voz. La siguiente Figura V.25 muestra el módulo de extracción de características el cual se encarga del pre-procesamiento de la señal de entrada y el clasificador este último realiza el reconocimiento, cuyo resultado llevará a una acción.

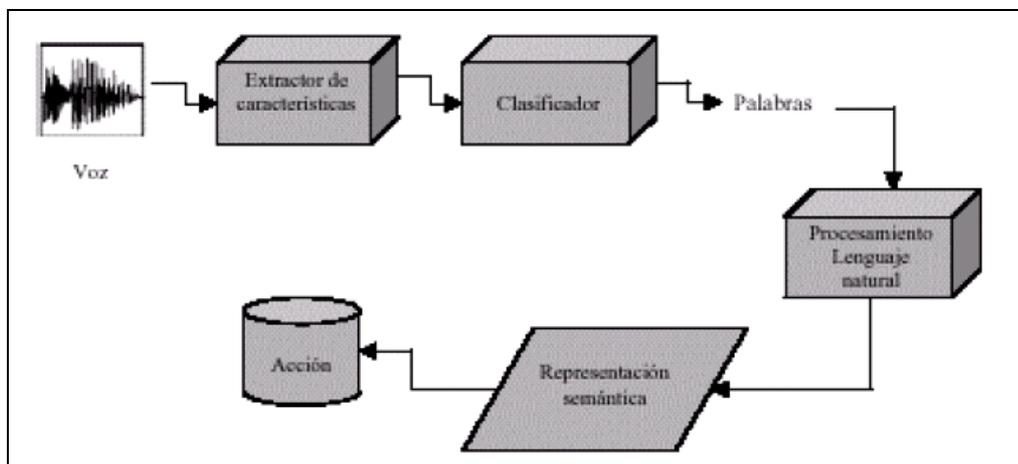


Figura V.25 Arquitectura de un sistema de reconocedor de Voz.

El reconocimiento de voz generalmente es utilizado como una interfaz entre los usuarios (personas) y las computadoras para generar algunas herramientas (software) y debe cumplir 3 tareas:

- ✓ **Preprocesamiento:** Convierte la entrada de voz a una forma que el reconocedor pueda procesar.
- ✓ **Reconocimiento:** Identifica lo que se dijo (traducción de señal a texto).
- ✓ **Comunicación:** Envía lo reconocido al sistema (Software/Hardware) que lo requiere.

A continuación ampliaremos cada uno de los componentes.

5.5.1 Pre-procesamiento de la señal de voz.

Los sonidos no son sino simplemente cambios de presión del aire a través del tiempo y a frecuencias audibles. Estos sonidos pueden ser digitalizados por algún medio que convierta la presión del aire en pulsos eléctricos. La voz en cambio es un subconjunto de sonidos generados por el tracto vocal.

En este elemento reconocedor de voz (pre-procesamiento de la señal) se extraen las características que se utilizarán posteriormente en el reconocedor. En el proceso de extracción de características lo que ocurre es una división entre la señal de voz en un conjunto de segmentos.

Para después obtener una representación de características acústicas distintivas por cada segmento. Con estas características obtenidas, se construye una colección de vectores que constituyen la entrada al siguiente módulo.

Un espectrograma es una representación de la señal de voz de acuerdo a las variaciones de la energía, con respecto al tiempo y frecuencia. El espectrograma contiene mucha información y revela las características acústicas específicas del habla.

La Figura V.26, muestra el espectrograma de la palabra “siete”.

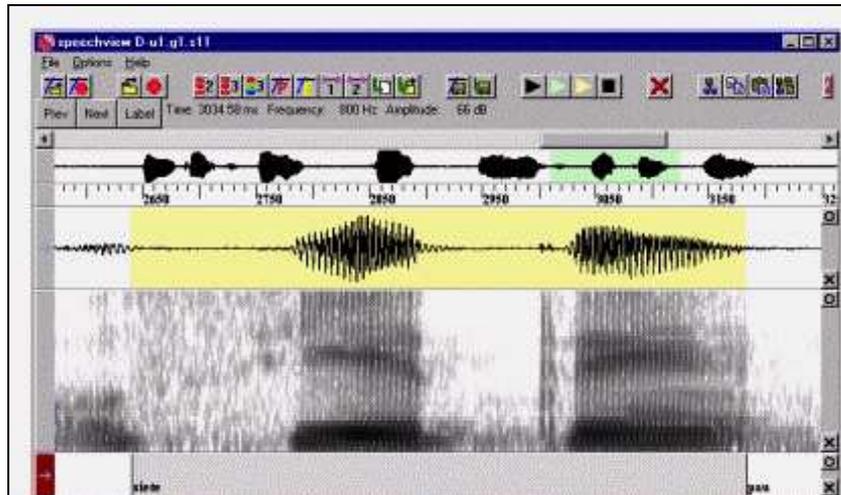


Figura V.26 Espectrograma.

Las bandas oscuras corresponden a las concentraciones de energía y son llamadas formantes. Las formantes son las frecuencias en las que ocurre la resonancia de las vibraciones vocales.

Los espectrogramas son útiles para un análisis visual de la señal. Sin embargo un reconocedor debe extraer de la señal acústica solo la información que requiere para poder reconocer una palabra continua (frase). Para ello la señal se muestra a cierta frecuencia, se cuantiza y posteriormente se crean vectores de características que son los que utilizará el reconocedor.

5.5.2 Reconocimiento.

En esta etapa se traduce la señal de entrada a su texto correspondiente. Aquí se clasifican los vectores de característica de la señal de entrada para obtener las unidades lingüísticas de

las que está formada para después realizar una búsqueda, esto se hace con el fin de encontrar la secuencia de segmentos con mayor probabilidad de ser reconocidos.

5.5.3 Comunicación.

La comunicación va a depender de la aplicación a la que pertenece la interfaz de voz, es decir, el resultado del reconocimiento debe ser interpretado y /o enviado al sistema que lo requiere. Una vez que se obtiene un resultado por parte del clasificador, significará que un comando deberá ser transferido a la entidad que lo ejecutará. Estas características las utiliza para evaluar una interfaz de reconocimiento de voz.

5.6 Aplicaciones del reconocimiento de voz.

Según López, Moreno (2000), el hablar de aplicaciones, refiérase a cualquier tipo de aplicación siempre es muy importante saber las necesidades de las personas que van hacer uso de las mismas. Es decir se debe de tener muy en claro los objetivos a alcanzar para que el usuario final pueda aprovechar al máximo las capacidades del sistema desarrollado.

En este caso las aplicaciones de un sistema reconocedor de voz son bastantes, en primer lugar porque puede estar dirigido a cualquier tipo de persona incluyendo a aquellas que tengan ciertas discapacidades físicas, ya que la voz es uno de los medios más populares.

Las ventajas que existen en este tipo de aplicaciones son que el usuario puede interactuar utilizando simplemente su voz y está libre de movimientos de las manos en caso de que las tenga ocupadas o en caso de que se presenten discapacidades físicas. En otras palabras estas aplicaciones son muy rápidas, flexibles, y sobre todo naturales.

Por todo esto y más los sistemas reconocedores de voz son de gran utilidad para la sociedad, ya que nos permite a nosotros como usuarios comunicarnos de manera natural permitiéndonos aprovechar al máximo las capacidades de uno mismo, es decir, así como existen sistemas multitarea, así nos permitirá desarrollarnos en nuestro ambiente; podemos comunicarnos y estar realizando diversas tareas a la vez.

CAPITULO VI

CONSTRUCCION DEL EQUIPO

6.1 Estudio y selección del hardware.

6.1.1 Estudio del microcontrolador.

Existe una gran variedad de modelos de microcontroladores, que tienen gran versatilidad, gran velocidad, bajo costo, bajo consumo de potencia y gran disponibilidad de herramientas para su programación.

A continuación se presentan las características más relevantes de los microcontroladores de gama media.

Tabla VI.4 Características de los microcontroladores de gama media

PIC	16C84	16F84	16CR84	16F627	16F628	16F648
Memoria EEPROM	64	64	64	128	128	256
Memoria RAM	36	68	68	224	224	256
Fuentes de Interrupción	4	4	4	10	10	10
I/O pins	13	13	13	16	16	16
Comparadores de V.	0	0	0	2	2	2
Timers	1	1	1	3	3	3
Com. serial USART	No	No	No	Si	Si	Si
Rango de voltaje	2 – 6	2 – 6	2 – 6	3 – 5.5	3 – 5.5	3 – 5.5

6.1.2 Selección del microcontrolador.

Por ser el microcontrolador que más se ajusta a nuestras necesidades, hemos elegido el PIC16F628A.

El PIC 16F628

El PIC16F628 (Figura VI.27) de Microchip es un potente microcontrolador CMOS de 8 bits con arquitectura RISC capaz de operar con frecuencias de reloj hasta de 20MHz (ciclos de instrucción de apenas 200ns), fácil de programar (sólo 35 instrucciones) y disponible en diversos tipos de encapsulados.

El PIC16F628 ha sido construido con características tales que se puede configurar para funcionar en modos de operación que no necesitan componentes externos tales como el circuito de reloj o de reset. Esto implica que además de elaborar el programa que deseamos

ejecutar, también es necesario configurar su modo de operación a través de una palabra de configuración (word configuration).

La palabra de configuración se encuentra mapeada en la dirección 2007h de la memoria de programa y solo puede ser accesada durante la programación de dispositivo.

Características Generales

- Velocidad de operación hasta 20MHz con oscilador externo.
- Oscilador interno RC (resistencia condensador) de 4MHz calibrado de fábrica al \pm 1%.
- Admite 8 configuraciones de oscilador.
- 8 niveles de PILA.
- Procesador con arquitectura HARVARD.
- Conjunto reducido de instrucciones RISC (35) gama media.
- Instrucciones de un ciclo excepto los saltos (200ns por instrucción a 20MHz).
- Resistencias PULL-UP programables en el puerto B.
- Pin RA5 MCLR programable como reset externo o pin de entrada.
- Rango de operación desde 3V hasta 5.5 V.
- 15 pines de I/O y 1 sólo de entrada (RA5).
- Temporizador Perro guardián WDT independiente del oscilador.
- Programable con bajo voltaje LPV (5V).
- Programación serial en circuito ICSP por 2 pines: RB6 reloj y RB7 datos.
- Código de protección de programable por sectores.

- Memoria de programa FLASH 2048K. de 100.000 ciclos escritura/borrado.
- Memoria de datos EEPROM de 100.000 ciclos escritura/borrado de 100 años retención.
- 2 circuitos comparadores análogos con entradas multiplexadas.
- 3 Timers, Timer 0 a 8 bits, Timer 1 a 16 bits y Timer 2 a 8 bits.
- Módulos CCP, Captura compara 16 bits y PWM, modulación de ancho de pulso 10 bits.
- 10 fuentes de interrupción.
- Modulo de comunicación serial USART/SCI.
- Capacidad de corriente para encender leds directamente (25mA I/O) por cada pin.

Diagrama de Pines y Funciones

Excluyendo los dos pines de alimentación, todos los 16 pines restantes pueden ser configurados como entradas o salidas, algunos de ellos tienen funciones especiales.

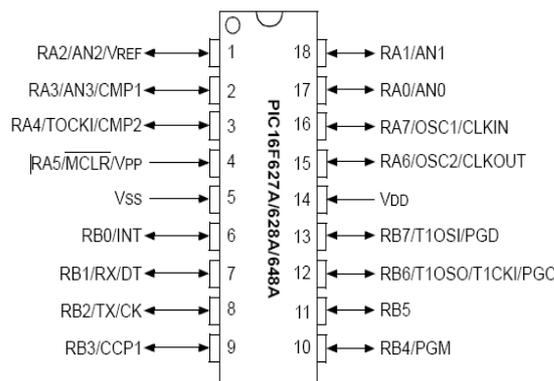


Figura VI.27 Pic 16F628A.

Tabla VI.5 Tabla de pines con sus funciones especiales

PIN	NOMBRE	DESCRIPCION
17	RA0/AN0	Pin bidireccional I/O, entrada comparador análogo.
18	RA1/AN1	Pin bidireccional I/O, entrada comparador análogo.
1	RA2/AN2/VREF	Pin bidireccional I/O, entrada comp. Análogo y voltaje de referencia.
2	RA3/AN3/CMP1	Pin I/O, entrada comp. Análogo y salida del comparador análogo 1.
3	RA4/TOCKI/CMP2	Pin I/O, entrada reloj TIMER0 y salida del comparador análogo 2.
4	RA5/MCLR/VPP	Pin de entrada, en modo MCLR activa RESET externo.
15	RA6/OSC2/CLKOUT	Pin I/O, entrada oscilador externo, salida de ¼ de la frecuencia OSC 1.
16	RA7/OSC1/CLKIN	Pin I/O, entrada oscilador externo, entrada del reloj externo.
6	RB0/INT	Pin I/O, resistencia PULL-UP programable, entrada de interrupción ext.
7	RB1/RX/DT	Pin I/O, resist. PULL-UP, entrada dato RS232, I/O dato serial asíncrono
8	RB2/TX/CK	Pin I/O, resist. PULL-UP, salida dato RS232, I/O señal de reloj asincrono.
9	RB3/CCP1	Pin I/O, resist. PULL-UP, modulo CCP/PWM entrada o salida.
10	RB4/PGM	Pin I/O, resist. PULL-UP, entrada de voltaje bajo de programacion.
11	RB5	Pin I/O, resistencia PULL-UP programable.
12	RB6/T1OSO/T1CKI	Pin I/O, resist. PULL-UP, salida oscilador TIMER1, entrada reloj de ICSP.
13	RB7/T1OSI	Pin I/O, resist. PULL-UP, entrada de oscilador TIMER1, I/O datos de ICSP.

Bits de configuración del PIC16F628

CP1:CP0: Bits de protección de código.

Los bits 13-10 encargados de proteger la memoria de programa.

CPD: Bit de protección para código de datos.

1 = Protección deshabilitada de la memoria de datos.

0 = Protección habilitada en la memoria de datos.

LVP: Habilitación de la programación por voltaje bajo.

1 = LVP habilitado, la terminal RB4/PGM tiene tal función.

0 = LVP deshabilitado, RB4/PGM es una terminal de I/O

BODEN: Brown Out Detet Reset Enable bit (Bit de reset por voltaje de alimentación bajo).

1 = Reset por BOD habilitado.

0 = Reset por BOD deshabilitado.

MCLRE: Habilitación de terminal de reset.

1 = Terminal de reset (MCLR) en RA5.

0 = MCLR conectado internamente a Vdd, RA5 es un pin de I/O.

PWRTEN: Bit de habilitación de temporizador al energizar (Power up Timer Enable bit)

1 = PWRT habilitado.

0 = PWRT deshabilitado.

WDTEN: Bit de habilitación del Watch-Dog (Watch Dog Timer Enable Bit)

1 = WDT habilitado.

0 = WDT deshabilitado.

FOSC2:FOSC1:FSC0: Bits de selección del tipo de oscilador.

6.1.3 Estudio del módulo de voz.

6.1.3.1 VR stamp with serial EEPROM (voice recognition module)

Características

- ✓ Sistema de reconocimiento de voz dependiente del locutor e independiente del locutor.
- ✓ Muchos modelos de lenguajes habilitados para el uso internacional.
- ✓ Alta calidad, 2.4-10.8 Kbps de compresión de la voz.
- ✓ Verificación del habla-seguridad con password biométrico.
- ✓ Procesador del habla y 1 Mbit de memoria Flash.
- ✓ 128 Kb de EEPROM para datos.
- ✓ 24 líneas de I/O.
- ✓ Preamplificador de micrófono.
- ✓ Modulación por ancho de pulso (PWM) para el locutor.
- ✓ Salida analógica opcional.
- ✓ Voltaje necesario 2.70V-3.6V.

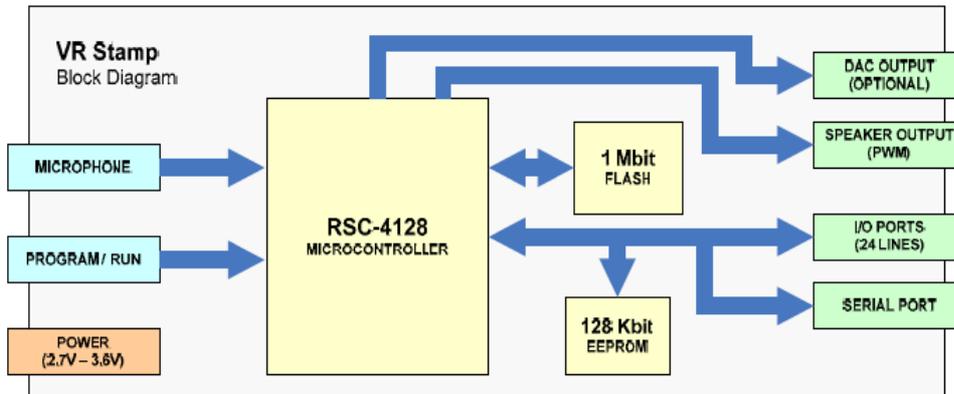


Figura VI.28 Diseño de bloques del VR stamp.

6.1.3.2 HM2007 Speech Recognition

Características

- ✓ La longitud máxima de la palabra es 1.92 segundos (20 palabras)
- ✓ Soporta la conexión de un micrófono.
- ✓ Puede soportar dos modos el modo manual y el modo CPU.
- ✓ El tiempo de respuesta es menor a 300 milisegundos.
- ✓ Se alimenta de una fuente de poder de 5V.

Aplicaciones

- ✓ Electrodomésticos y juguetes controlados por el habla.
- ✓ Juegos de computadora asistidos por voz.
- ✓ Realidad virtual asistida por voz.
- ✓ Sistemas de asistencias telefónicas
- ✓ Seguridad por reconocimiento de voz

6.1.4 Selección del módulo de voz.

El módulo que se adapta a nuestras necesidades y que por no ser el objetivo principal de este proyecto no requería de mayores características específicas fue el HM2007 Speech Recognition y además por que se presentó gran facilidad de compra ya que se encontraba a la venta en un lugar cercano a la realización de este, el cual describimos a continuación.



Figura VI.29 Modulo reconocedor de voz

En un futuro próximo el reconocimiento de voz se convertirá en el método de opción para controlar aplicaciones, los juguetes, las herramientas, las computadoras y la robótica. Hay un mercado comercial enorme que espera esta tecnología para madurarse.

Controlar y ordenar un aplicación (computadora, sistema de seguridad de VCR, de la TV, etc.) hablando harán más fáciles, mientras que aumenta la eficacia del trabajo con ese dispositivo.

Los principales elementos utilizados en el modulo de reconocimiento de voz se describen a continuación; así como también un listado de los dispositivos empleados en el mismo.

HM2007 Speech Recognition.

El HM es un procesador de Reconocimiento de voz aislado dependiente del hablante. El chip proporciona las opciones de reconocer 40 palabras de 0.96 segundos y 20 palabras de 1.92 segundos. Para entrenar y reconocer una memoria externa RAM estatica de 8Kbytes necesita ser conectada al HM2007. No es necesario ningún software de programación. HM2007 es un chip CMOS de reconocimiento de voz.

Modos de operación.

El chip tiene dos modos de operación:

Modo de la CPU: El modo de la CPU se usa para permitir que el chip trabaje debajo de un ordenador huésped. Esto es un acercamiento atractivo al reconocimiento de voz para las computadoras porque el chip de reconocimiento de voz funciona como co-procesador a la CPU principal. Cuando el HM2007 reconoce un comando puede señalar una interrupción a la CPU y después retransmitir el código de comando. El chip HM2007 se puede conectar en cascada para proporcionar una biblioteca más grande del reconocimiento de palabra.

Modo manual: No requiere un ordenador huésped y puede ser integrado en otros dispositivos para utilizar control del discurso. En este modo de operación un teclado, una SRAM y otros componentes pueden ser conectados al HM2007 para construir un simple sistema de reconocimiento. El tipo de SRAM que puede ser utilizada es de 8Kbytes.

Configuración y descripción de los pines.



Figura VI.30 CI HM2007

Tabla VI.6 Descripción de los pines del HM2007

SIMBOLOS	No DE PIN	I/O	FUNCIONES
Vref	44	I	Voltaje de referencia de entrada ADC. Abastece el voltaje de referencia de el convertidor interno A/D.
LINE	45	O	Para pruebas solamente.
MICIN	46	I	Pin para conectar el micrófono, a través de un capacitor o resistencia.
V_{DD}	47		Abastece una fuente de poder positiva
AGND	48		Tierra analógica
GND	1		Abastece una fuente de poder negativa
X_2, X_1	2,3	I	Pin para conectar un cristal. Un cristal de 3.58MHz es conectado a este pin
S_1, S_2, S_3	4,5,6	I/O	Pin de escaneo del teclado para modo manual y pin de control de lectura/escritura en modo CPU
RDY	7	O	Indicador de entrada de lectura de voz. Activa salida en bajo cuando HM2007 está leyendo la entrada de voz en un entrenamiento o modo de reconocimiento. Una señal en bajo es enviada si el chip está ocupado.
K_1, K_2, K_3, K_4	8-11	I/O	Pin de entrada del teclado en el modo manual y bus de datos bidireccional de 1K en el modo CPU. En el modo manual los 4 pines combinados con S1 a S3 forman el circuito de escaneo del teclado. Máximo 12 teclas pueden ser escaneadas. En el modo CPU el bus

			de datos bidireccional determinado por el S1 a S3, una señal en nivel alto que aparece en el pin S2 localizara el contenido del registro interno sobre el bus de datos. El dato puede venir desde el registro de estado del buffer de salida el cual es seleccionado por el pin S1. Si S1 es alto la salida del buffer es seleccionado, de otro modo el registro de estado es seleccionado. Una señal en nivel alto que aparece en el pin S3 localizara el contenido del bus K dentro de la entrada del registro. Note que no se puede usar una señal en nivel alto en S2 y S3 simultáneamente.
TEST	12	I	Alto modo de prueba, bajo modo normal.
WLEN	13	I	Pin selecciona la longitud de la palabra. Selecciona la longitud de la voz a ser reconocida. Cuando se setea en alto 1.92 seg es seleccionado. En bajo 0.96seg es seleccionado. Note que cuando selecciona 1.92seg un máximo de 20 palabras puede ser reconocido. 8K de memoria es utilizada.
CPUM	14	I	Pin selecciona modo CPU. Internamente en bajo para modo manual. Cuando se setea en alto es modo CPU.
WAIT	15	I	Entrada de control de espera. Entrada en bajo activa. Cuando este pin es seteado en bajo y el modo manual se selecciona, HM2007 podra entrar en modo de espera y no acepta voz de entrada mientras este pin cambia a alto. Para modo CPU cuando HM2007 esta leyendo para obtener entrada de voz, si este pin es seteado en bajo HM2007 saltara al proceso de entrada de voz y entra al proceso de comandos.
DEN	16	O	Señal de datos habilitado. Cuando el proceso de reconocimiento o entrenamiento es completo, el chip da lugar a respuestas en el bus de datos D0 a D7 el cual puede manipular dispositivos externos por este pin.
SA0, SA1 SA2, SA7 SA8, SA11 SA12	17-24 27-31	O	Bus de dirección de memoria externa. El bus es usado como dirección de memoria externa cuando el pin ME es activo.
V _{DD}	25		Fuente de poder positiva.
GND	26		Fuente de poder negativa
NC	32,33		
ME	34	O	Pin de la habilitación de la memoria. Salida activa con bajo. Este pin enviara señal para habilitar la memoria externa SRAM. Este pin puede ser conectado directamente al pin CE de SRAM 6264.

MR/MW	35	O	Selecciona la memoria lectura/escritura. Señal de control de lectura/escritura de la SRAM externa. Este pin puede ser conectado directamente al pin R/W de la SRAM 6264.
D0-D6 D7	36-42 43	I/O	Bus de datos de memoria externa (D-bus.) El bus es usado como una memoria externa I/O cuando el pin ME es activo y usado como bus de salida cuando el pin DEN es activo.

Sistema independiente del reconocimiento.

Este circuito permite experimentar con sistemas dependientes así como con sistemas independientes. El sistema se entrena típicamente como dependiente del hablante, lo que significa que la voz que entreno el circuito lo utiliza.

Para entrenar el sistema para el reconocimiento independiente del altavoz utilizar la técnica siguiente. Utilizaremos cuatro espacios de la palabra para cada palabra. Los espacios de memoria 01,11, 21 y 31 se asignan a la primera palabra. Solamente descifrando el numero menos significativo del digito, en este caso 1 de “X” “1” (donde esta cualquier número X 0-3) podemos reconocer la palabra.

Haciendo esto para los espacios restantes de la palabra. Para la segunda palabra sed utiliza los espacios 02, 12, 22 y 32 de la palabra. Continuamos de este modo hasta que se programan todas las palabras.

Si es posible utilizar a diversa persona que habla la palabra. Esto permitirá al sistema reconocer diversas voces, inflexiones y enunciaciones de la palabra. Si más recursos de sistema se asignan para el reconocimiento independiente más robusto el circuito llegara a ser.

El circuito que descifra que reconoce el número de la palabra y realiza una función se debe diseñar para reconocer los códigos de error 55, 66 y 77 y para no confundirlos con los espacios 5, 6 y 7 de la palabra. Nuestro circuito de interfaz hace esto.

Circuito de reconocimiento de voz.

El circuito de la demostración funciona en el modo manual del HM2007. Este modo utiliza un teclado numérico simple y un indicador digital para comunicarse con y para programar el chip HM2007.

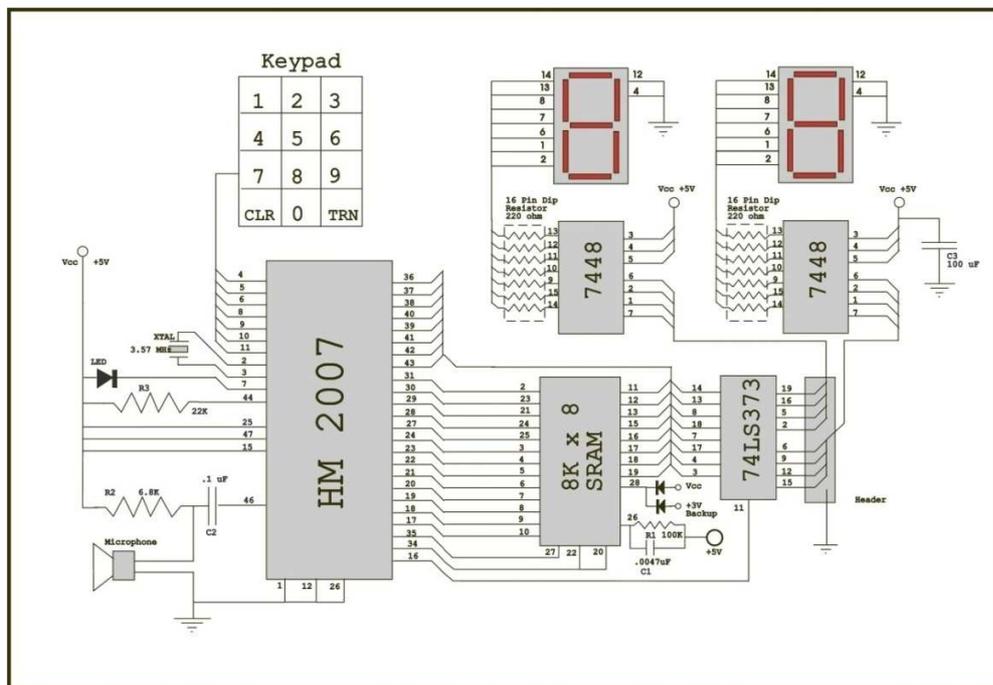


Figura VI.31 Diagrama del modulo de reconocimiento de voz.

Encendido.

Cuando el HM2007 es encendido el proceso podrá ser inicializado. Si el pin WAIT está en “L” el HM2007 hará un chequeo de la memoria para ver si la SRAM externa de 8Kbytes es perfecta o no.

Si el pin WAIT está en “H” el HM2007 saltará el proceso de chequeo de la memoria. Después de que el proceso inicial esta hecho, el HM2007 irá entonces a instalarse dentro del modo de reconocimiento.

Teclado numérico.

El teclado numérico se compone de 12 interruptores.

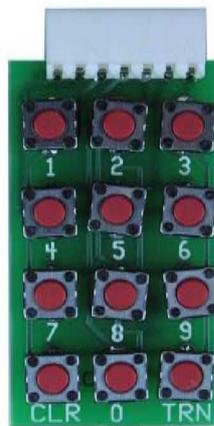


Figura VI.32 Imagen del teclado.

Cuando se inicia el circuito, el HM2007 comprueba la memoria. Si todo está bien en el tablero exhibe “00” en el indicador digital y enciende el LED rojo (listo), entonces espera un comando.

Entrenamiento de un patrón.

Para entrenar el patrón de voz, se selecciona el número de palabras compuesto de dos dígitos. Los dos dígitos son ingresados dentro del HM2007 a través del teclado un dígito a la vez. Cuando el número es presionado, el número de clave será repetido al bus D. cuando el número de palabra es ingresado, presione la función clave para cambiar la función de operación.

Al presionar la función clave TRN, HM2007 iniciará este proceso de entrenamiento. Iniciado el proceso de entrenamiento, si el pin WAIT está en "H", HM2007 enviará una señal en nivel bajo a RDY para indicar que el HM2007 está leyendo para aceptar entradas de voz. Si el pin WAIT está en "L" las entradas de voz no serán detectadas mientras el pin no retorne a "H". Después de obtenida la entrada de voz al HM2007, este retornará al modo de reconocimiento y envía una señal en nivel bajo a RDY para indicar que el HM2007 está leyendo una entrada de voz para el proceso de reconocimiento.

El circuito se puede entrenar para reconocer hasta 40 palabras. Se puede utilizar cualquier número entre 1 y 40. Por ejemplo si se presiona el número "1" para entrenar a la palabra número 1. Cuando se presionan los números en el teclado numérico el led rojo conducido se enciende y el número se exhibe en el indicador digital, para luego presionar la clave TRN.

Cuando se presiona TRN el chip se prepara para escuchar la palabra de entrenamiento., pronunciando claramente la palabra que se desee que el circuito reconozca en el micrófono.

Si el LED tiene un apagado momentáneo, es una señal que se ha aceptado la palabra. Si se desea se puede utilizar tantos espacios de la palabra que se necesite.

Borrado de un patrón.

Para limpiar el patrón de voz los 2 dígitos son ingresados dentro del HM2007 a través del teclado numérico un dígito a la vez. Cuando el número es presionado, el número de clave será repetido al bus D. Si la función clave CLR es presionada, el correspondiente patrón de palabra será borrado y entonces HM2007 retornará al modo de reconocimiento.

Borrado de todos los patrones.

Si el numero clave 99 es ingresado y el CLR es presionado, todos los patrones en la memoria son borrados del HM2007.

Modo de reconocimiento.

- **Pin WAIT ‘H’**

En este modo, el RDY es puesto en bajo y el HM2007 está leyendo para aceptar la entrada de voz a ser reconocida. Cuando la entrada de voz es detectada, el RDY retornara a alto y el HM2007 iniciara el proceso de reconocimiento. Es recomendable que el usuario entrene el patrón de palabra después de inicializada la operación de reconocimiento, de otro modo el resultado será impredecible. Después que le proceso de reconocimiento es completado, el resultado aparecerá en el bus D en el pin DEN activo.

Los datos en el bus de datos D están en código decimal en formato binario.

Tabla VI.7 Bus de datos D

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	DESCRIPCION
0	0	0	0	0	0	0	0	ENCENDIDO
A				B				Palabra AB
0	1	0	1	0	1	0	1	Voz demasiado larga
0	1	1	0	0	1	1	0	Voz demasiado corta
0	1	1	1	0	1	1	1	Ninguna palabra

Nota 1.- A es el código binario en el rango 0 a 4 y B es el código binario en rango 0 a 9.

Nota 2.- Si WLEN está en alto, el máximo de la longitud de la palabra es 1.92seg.

○ **Pin WAIT “L”**

En este modo la entrada de voz no es aceptada mientras el pin WAIT pase al estado H.

○ **Reconocimiento de prueba**

El circuito está escuchando continuamente. Si se repite una palabra entrenada en el micrófono, el número de la palabra se debe exhibir en el indicador digital.

Códigos de error.

El chip proporciona los códigos de error siguientes:

55 = palabra demasiado larga.

66 = palabra demasiado corta.

77 = ninguna palabra.

6.1.5 Estudio del módulo de Zigbee.

6.1.5.1 Texas instruments (CHIPCON)

El CC2420 es un transmisor-receptor de radio frecuencia RF IEEE 802.15.4/ZigBee diseñado para funcionar a bajo voltaje con bajo consumo de energía y operar en la banda de los 2.4 GHz a una velocidad de transmisión de datos de 250 Kbps.



Figura VI.33 Chipcom CC2420.

El Kit de Tarjetas de Demostración CC2420 DBK consiste de dos tarjetas de demostración CC2420DB (Figura VI.33) usadas para un enlace punto a punto. El CC2420DB contiene un chip CC2420 con sus componentes externos juntamente con un microcontrolador Atmega128L. Con más tarjetas CC2420DB se puede hacer una red en malla como se muestra en la Figura VI.34.

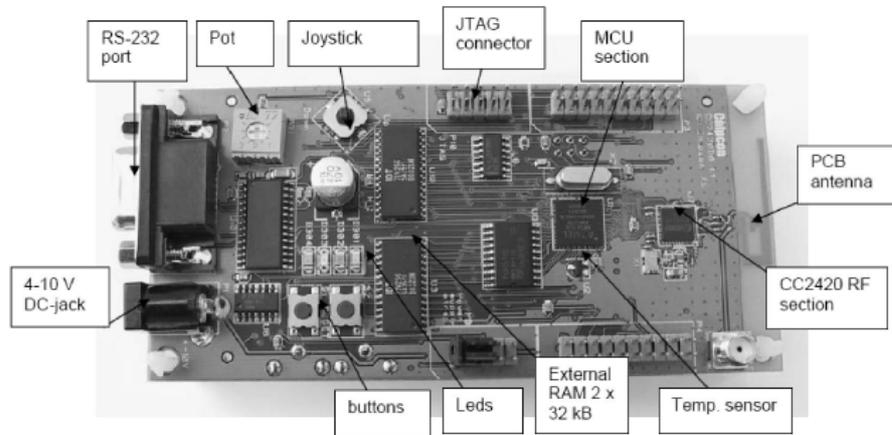


Figura VI.34 CC2420DB.

EL CC2420DB se utiliza como plataforma para el transmisor-receptor CC2420 y permite desarrollar software con el microcontrolador Atmega128L. EL CC2420DB provee una conexión RS-232, pulsadores, una palanca (joystick), cuatro LEDs, regulador de voltaje, sensor de temperatura, un potenciómetro y conectores.

6.1.5.2 Kit de demostración PICDEM Z

El kit de demostración PICDEM Z 2.4GHz es una plataforma de evaluación y desarrollo para proyectos de aplicación con el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee.

El hardware de este kit consta de dos tarjetas madres de demostración, cada una con un transmisor-receptor RF IEEE 802.15.4 (CC2420 o MRF24J40) incluida antena tal como se muestra en la Figura VI.35, las tarjetas contienen un microcontrolador PIC 18LF4620, un conector ICD (*In Circuit Debugger*), un regulador de voltaje de 9V a 3.3V DC, una interfaz RS-232, un sensor de temperatura (Microchip TC77), LED's y pulsadores. El software de este kit contiene una pila (*stack*) para aplicaciones ZigBee en dispositivos RFD (Reduced

Function Device), FFD (Full Function Device) y Coordinadores; además incluye un analizador de red inalámbrico llamado ZENA mediante el cual se puede observar el tráfico ZigBee y la red que se ha conformado.

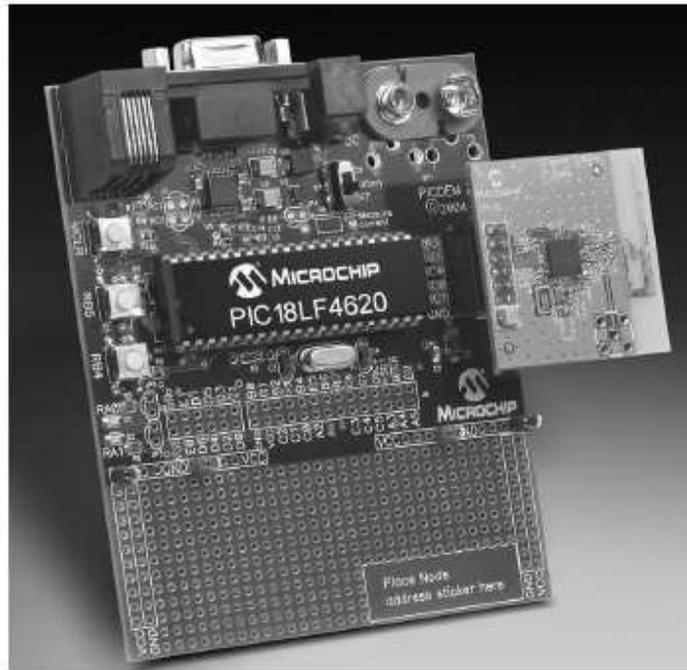


Figura VI.35 Tarjeta madre y RF del kit PICDEM Z.

6.1.5.3 Kit de Demostración ATAVRRZ200

Los dos principales componentes de este kit son: la tarjeta del display y las tarjetas de radio control RCB's.

La cantidad de RCB's es cinco y se muestra en la Figura VI.36, las cuales contienen un transmisor-receptor RF AT86FR230 (Atmel) y un microcontrolador ATmega1281.

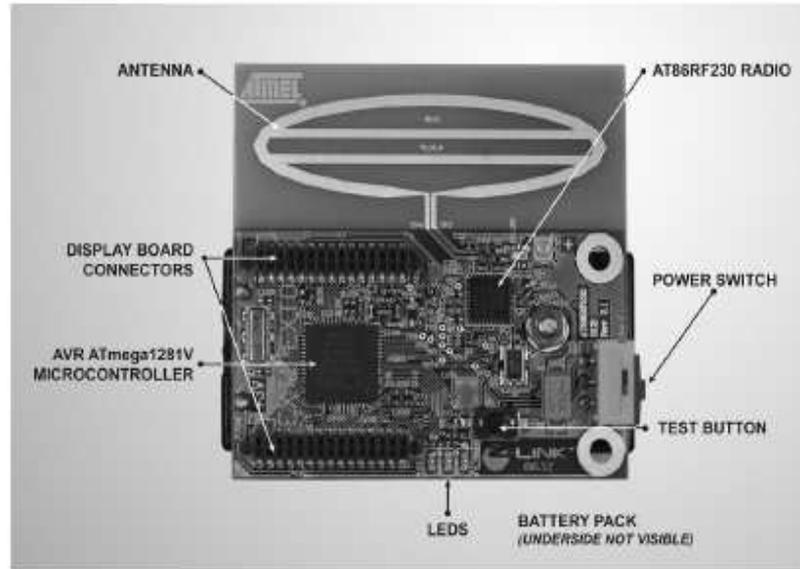


Figura VI.36 Vista y Componentes de la RCB.

6.1.5.4 Kit de evaluación ZIGBIT (ZEK)

El ZEK es un sistema que evalúa las redes inalámbricas de sensores (WSNs).

Está provisto de tarjetas de evaluación basadas en el módulo ZigBit3 y en el software eZeeNet. El ZEK se muestra en la Figura VI.37 y contiene lo siguiente:

- ✓ Dos tarjetas MeshBean2 con módulo ZigBit y antena PCB.
- ✓ Una tarjeta MeshBean2 con módulo ZigBit incluida internamente la antena.
- ✓ Tres adaptadores de energía AC/DC con conectores Europeos y Americanos
- ✓ Tres cables USB.
- ✓ Dos cables RS-232.
- ✓ Un cd con software y documentación.



Figura VI.37 Contenido del ZigBit evaluation kit.

Cada tarjeta MeshBean2 contiene un microcontrolador ATmega1281V, un transmisor-receptor RF AT86RF230-ZU, dos sensores digitales para medir luminosidad y temperatura, tres LED's, tres DIP switches, tres pulsadores, una interfaz RS-232, un puerto USB 2.0, un conector JTAG para descarga y depuración del software, etc. La tarjeta MeshBean2 se muestra en la Figura VI.38.

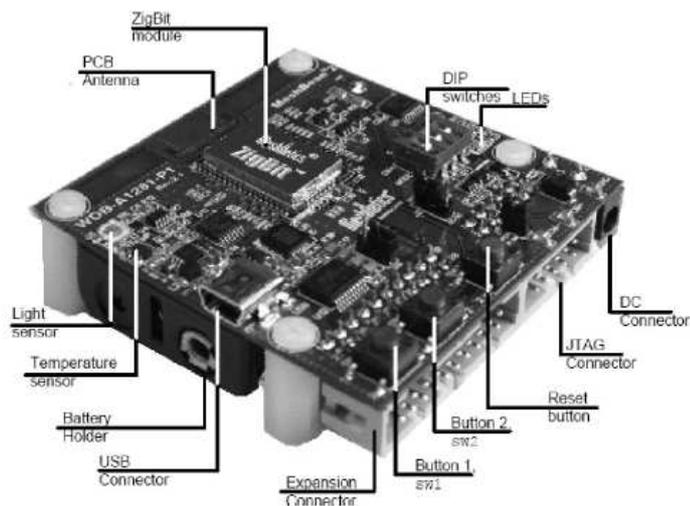


Figura VI.38 MeshBean2 con antena PCB.

**6.1.5.5 Módulos de RF ZigBee™/802.15.4 versión OEM fabricados por MaxStream,
Inc. (XBee-PRO)**

Características

- ✓ Alcance para ambientes interiores / zonas urbanas: hasta 300' (100 m)
- ✓ Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo): hasta 4000' (1200 m)
- ✓ Potencia de Salida de Transmisión: 100 mW (20 dBm) EIRP
- ✓ Corriente de Recepción: < 10 μ A
- ✓ Frecuencia de Operación: 2.4 GHz
- ✓ Velocidad de datos en RF: 250,000 bps

Componentes

- ✓ (2) Módulos OEM RF
- ✓ (1) Placa de interface USB (para la conexión entre el Modulo Rf y Pc donde se va a programar)
- ✓ (1) Placa de interface RS-232 (Para realizar la prueba de conexión entre la base y el nodo remoto)
- ✓ (1) El software X-CTU que requiere Windows 2000 o XP con un Puerto USB (o RS-232).
- ✓ Además tiene 1 cable USB, 1 adaptador serial de Loopback y una fuente de alimentación.



Figura VI.39 Componentes del kit de desarrollo.

6.1.6 Selección del módulo de Zigbee.

Relación de precio con rendimiento

Debido a las innovaciones incluidas en el diseño de los XBee-PRO se obtuvieron beneficios en la calidad final del producto del rango de 2 á 3 veces sobre los módulos de la competencia. Esto ha permitido que los usuarios de las versiones OEM y los integradores puedan cubrir mayores extensiones de campo usando pocos dispositivos. Adicionalmente, los Módulos XBee son fáciles de usar y, de allí que, el costo del desarrollo de un sistema de datos se reduzca enormemente.

Baja potencia de consumo

Los Módulos XBee utilizan poca potencia (45 mA de corriente de Transmisión para el XBee, 270 mA para el Xbee-PRO). Adicionalmente los modos 'sueño', están disponibles, permitiendo corrientes power-down que alcanzan valores inferiores a 10 μ A.

Sensibilidad del Receptor

Los Módulos de MaxStream ‘escuchan’ lo que otros no pueden; por eso es que nuestros Módems suministran alcances más grandes y confiabilidad en los enlaces inalámbricos. Por cada 6 dBm ganados en la potencia de Transmisión o en la Sensibilidad de Recepción, los OEM e Integradores pueden doblar el alcance de un enlace inalámbrico.

Se requiere un dispositivo sencillo que sea capaz de transmitir y recibir una cadena de bits necesarios para el control domótico. Por ello se escogió el XBee-PRO OEM Development Kit.

Modulos XBee-PRO OEM RF

Los modulos XBee-Pro Esta diseñados con el estándar IEEE 802.15.4 y soportan redes de sensores inalámbricas con necesidades de bajo costo y baja consumo de potencia.

Los módulos requieren mínimo consumo de voltaje y proveen una fiable entrega de datos entre dispositivos.

Características:

Gran rango de integridad en la transmisión de datos

- ✓ Alcance para ambientes interiores / zonas urbanas: hasta 300’ (100 m).
- ✓ Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo): hasta 4000’ (1200 m).
- ✓ Potencia de Salida de Transmisión: 100 mW (20 dBm) EIRP

- ✓ Corriente de Recepción: $< 10 \mu\text{A}$
- ✓ Frecuencia de Operación: 2.4 GHz
- ✓ Velocidad de datos en RF: 250,000 bps

Modernidad en seguridad y Redes

- ✓ DSSS Direct Sequence Spread Spectrum (Espectro de Dispersión de Secuencia Directa).
- ✓ Cada canal de secuencia directa tiene sobre 65.000 únicas direcciones de red habilitadas.
- ✓ Direccionamiento de origen y destino.
- ✓ Comunicación Unicast y Broadcast.
- ✓ Soporta topologías Punto-punto, Punto-multipunto y Peer-to-peer (Igual-igual).

Bajo consumo de potencia

- ✓ Corriente de TX: 215 mA (@3.3 V)
- ✓ Corriente de RX: 55 mA (@3.3 V)
- ✓ Corriente Power-down: $< 10 \mu\text{A}$

Soporte de líneas de entrada/salida y líneas análogo-digitales.

Conversión análogo-digital, entradas/salida digitales y líneas de transferencia de entrada/salida.

Fácil de usar

- ✓ No es necesaria la configuración para comunicaciones RF.
- ✓ Incluye software X-CTU gratis (Software de testeo y configuración).
- ✓ Comandos en modo AT y API para los parámetros del modulo.
- ✓ Factor de forma reducido.
- ✓ Amplio conjunto de comandos.

Especificaciones

Tabla VI.8 Especificaciones de los modulos XBee-PRO OEM RF

		XBee	XBee-PRO
Rendimiento	Alcance en ambientes interiores/zonas urbanas	Hasta 100' (30m)	Hasta 300' (100m)
	Alcance de RF en líneas de visión para ambientes exteriores	Hasta 300' (100m)	Hasta 4000' (1200m)
	Potencia de salida en transmisión	1 mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm), 100 mW EIRP
	Régimen de RF de datos	250,000 bps	250,000 bps
	Sensibilidad del receptor	-92 dBm (1% PER)	-100 dBm (1% PER)
Requerimiento de potencia	Suministro de voltaje	2.8-3.4 V	2.8-3.4 V
	Corriente de transmisión	45 mA-3.3V	270 mA-3.4 V
	Corriente de recepción	50 mA-3.3 V	55 mA-3.3 V
	Corriente Power-down	< 10 μ A	< 10 μ A
Información general	Frecuencia	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
	Dimensiones	0.960"x1.087" (2.438x2.761cm)	0.960"x1.297" (2.438x3.294cm)
	Temperatura de operación	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
	Opciones de antena	Conector U.FL, Antena Chip, o alambre de antena	Conector U.FL, Antena Chip, o alambre de antena
Trabajo en	Topologías permitidas en	Punto a Punto,	Punto a Punto,

Seguridad y Red	la red	Punto a Multipunto, Igual a Igual y Mesh	Punto a Multipunto, Igual a Igual y Mesh
	Número de canales	16 Canales de Secuencia Directa (software seleccionable)	16 Canales de Secuencia Directa (software seleccionable)
	Capas de filtración de la red	PAN ID & Direcciones 64-bit	PAN ID & Direcciones 64-bit

Dibujos mecánicos

Las siguientes figuras son las vistas superior y lateral de los módulos XBee.

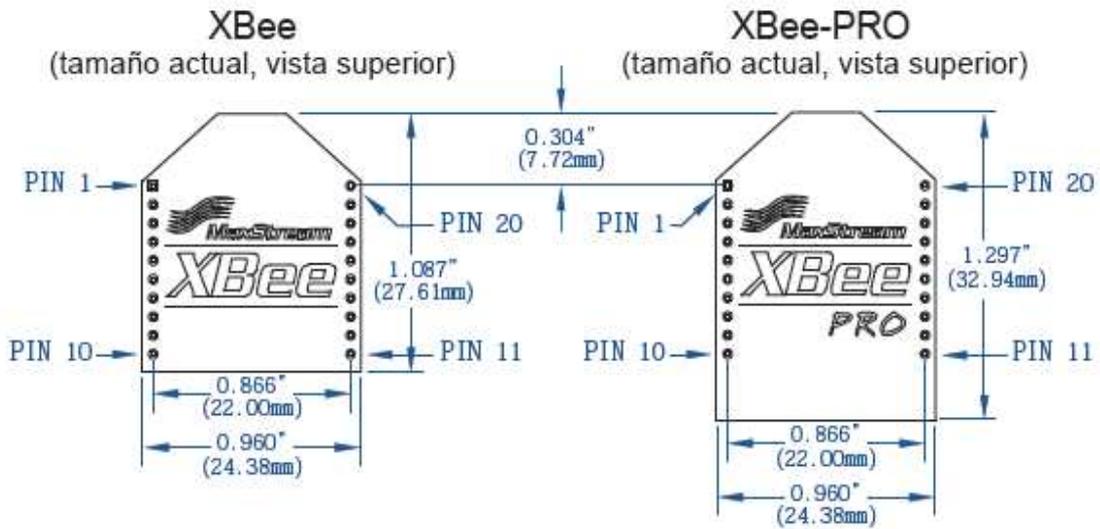


Figura VI.40 Vista superior

XBee & XBee-PRO
(tamaño actual, vista lateral)

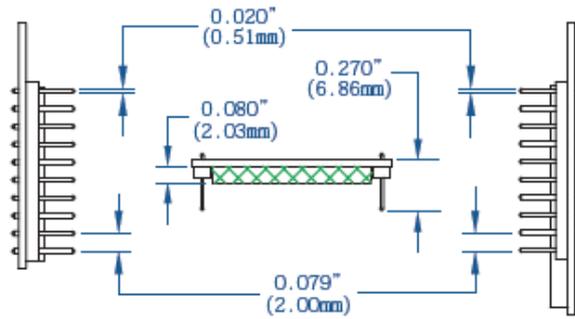


Figura VI.41 Vista lateral

Consideraciones del montaje

El modulo XBee-PRO fue diseñado para montarlo en un socket y así no requerir ninguna soldadura para montarlo sobre alguna placa. El Kit de desarrollo XBee contiene placas con interface RS-232 y USB las cuales usan 20 pines para recibir al modulo. La Figura VI.42 muestra la placa con interface RS-232.

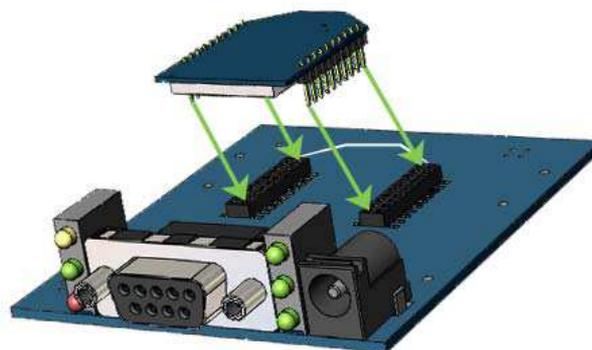


Figura VI.42 Placa con interface RS-232.

Nombres de los pines

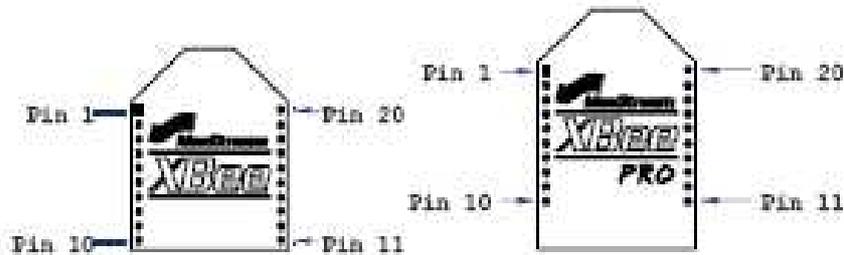


Figura VI.43 Numeración de los pines del módulo XBee-PRO

Tabla VI.9 Asignación de pines para el módulo XBee-PRO.

Pin #	Nombre	Dirección	Descripción
1	VCC	-	Fuente de alimentación
2	DOUT	Salida	Salida de datos UART
3	DIN/CONFIG	Entrada	Entrada de datos UART
4	DO8	Salida	Salida digital 8
5	RESET	Entrada	Reseteo del modulo
6	PWM0/RSSI	Salida	Salida PWM 0/Indicador de señal larga de recepción
7	PWM1	Salida	Salida PWM 1
8	[reservado]	-	No conectar
9	DTR/SLEEP_RQ/DI8	Entrada	Línea de control del pin Sleep o Entrada digital 8
10	GND	-	Tierra
11	AD4/DIO4	Ambos	Entrada Análoga 4 o Entrada/Salida digital 4
12	CTS/DIO7	Ambos	Control de flujo Clear-to-send o Entrada/Salida digital 7
13	ON/SLEEP	Salida	Indicador del estado del modulo
14	VREF	Entrada	Voltaje de referencia para las entradas A/D
15	Associate/AD5/DIO51	Ambos	Indicador asociado, Entrada análoga 5 o Entrada/Salida digital
16	RTS/AD6/DIO6	Ambos	Control de flujo Request-to-send, entrada análoga 6 o Entrada/Salida digital 6
17	AD3/DIO3	Ambos	Entrada análoga 3 o Entrada/Salida digital 3
18	AD2/DIO2	Ambos	Entrada análoga 2 o Entrada/Salida

			digital 2
19	AD1/DIO1	Ambos	Entrada análoga 1 o Entrada/Salida digital 1
20	AD0/DIO0	Ambos	Entrada análoga 0 o Entrada/Salida digital 0

Características Eléctricas

Tabla VI.10 Características eléctricas del módulo XBee-PRO.

Símbolo	Característica	Condiciones	Mínimo	Típico	Máximo	Unidad
V _{IL}	Voltaje de entrada en bajo	Todas las entradas digitales	-	-	0.35*VCC	V
V _{IH}	Voltaje de entrada en alto	Todas las entradas digitales	0.7*VCC	-	-	V
V _{CL}	Voltaje de salida en Bajo	I _{OL} =2 mA, VCC>=2.7V	-	-	0.5	V
V _{OH}	Voltaje de salida en Alto	I _{OH} =-2 mA, VCC>=2.7V	VCC-0.5	-	-	V
I _{IN}	Corriente de fuga en la entrada	V _{IN} =VCC o GND, todas las entradas, por pin	-	0.025	1	μA
I _{OZ}	Corriente de fuga en alta impedancia	V _{IN} =VCC o GND, todas las entradas y salidas High-Z, por pin	-	0.025	1	μA
TX	Corriente de transmisión	VCC=3.3V	-	215.140	-	mA
RX	Corriente de recepción	VCC=3.3V1	-	55	-	mA
PWR-DWN	Corriente Power-down	Parámetro SM=1	-	<10	-	μA

Modo comando

Para modificar o leer los parámetros del modulo RF, el modulo debería entrar primero a Modo Comando estado en el cual los caracteres ingresados son interpretados como comandos. Dos opciones para el Modo Comando son soportados: Modo Comando AT y Modo Comando API.

Modo Comando AT

Para entrar al Modo Comando AT:

Enviar 3 caracteres como secuencia de comandos “+++” y observa el tiempo antes y después de los caracteres de comandos.

Para enviar comandos AT:

Enviar comandos AT y parámetros como se muestra abajo en la Figura VI.44.

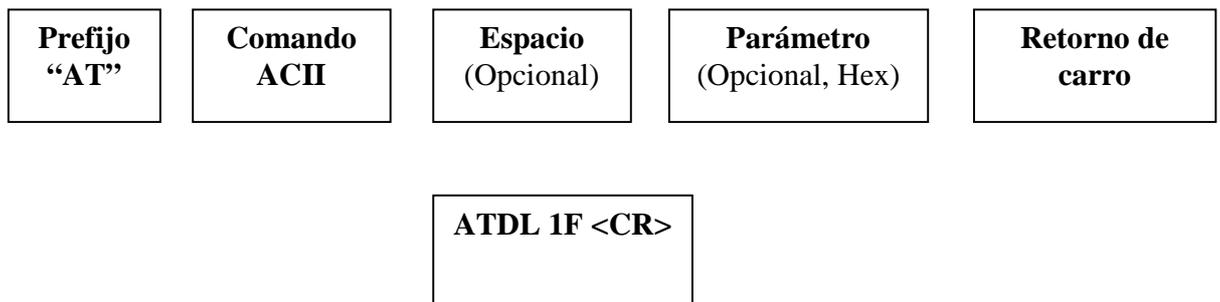


Figura VI.44 Formato de los comandos AT.

Respuesta del sistema:

Cuando un comando es enviado al modulo, el modulo analiza y ejecuta el comando. A las ejecución exitosa de un comando, el modulo retorna un mensaje “OK”. Si la ejecución del comando resulta en un error, el modulo retorna un mensaje “ERROR”.

Para salir del Modo de Comandos AT:

Enviar un comando ATCN (Salir del Modo Comando) seguido por un retorno de carro.

Si un comando AT no es válido es recibido dentro de el tiempo especifico por CT (Timeout del Modo Comando), el modulo RF automáticamente retorna al Modo inactivo.

Configuración de Entradas y Salidas

La Tabla VI.11 muestra los comandos utilizados para la configuración de las entradas y salidas del modulo.

Tabla VI.11 Comandos para la configuración de los módulos XBee-PRO.

Comando AT	Categoría del Comando	Nombre y descripción	Rango del parámetro	Por defecto
D5	Configurable como I/O	Configuración DIO5. Configura la línea DIO5 (pin 15) del modulo. La opción incluye la asociación de un LED indicador (parpadea cuando está asociado) y los ajustes de la línea I/O.	0-1 0=Inhabilitado 1=Indicador asociado 2=ADC 3=DI 4=en bajo DO 5=en alto DO	1
D0-D4	Configurable como I/O	Configuración DIO0-DIO4. Ajusta para seleccionar y leer las siguientes líneas: AD0/DIO0 (pin 20), AD1/DIO1 (pin 19),	0-1 0=Inhabilitado 1=sin acción 2=ADC	0

		AD2/DIO2 (pin 18), AD3/DIO3 (pin 17), AD4/DIO4 (pin 11). Las opciones incluyen: Conversión Análogo digital, Entrada o salida digital.	3=DI 4=en bajo DO 5=en alto DO	
IU	Configurable como I/O	Habilitar salidas I/O. Habilita/deshabilita la recepción de datos que serán enviados por la salida UART. El dato será enviado usando el frame API a pesar del valor del parámetro AP actual.	0-1 0=Inhabilitado 1=Habilitado	1
IT	Configurable como I/O	Muestreo antes de transmisión. Lee y establece el numero de muestras recolectar antes de la transmisión de datos. El número máximo de muestras depende del número de entradas habilitadas.	1-0xFF	1
IS	Configurable como I/O	Muestreo Forzado. Fuerza a la lectura de todas las entradas habilitadas (DI o ADC). El dato es enviado a través del UART. Si las salidas no están definidas (DI o ADC), este comando retorna una error.	Mapas de bits de 8 (cada bit representa el nivel de una línea I/O como una salida)	-
IC	Configurable como I/O	Detección de cambio DIO. Lee y configura los valores del campo de bits para monitorear y detectar un cambio. Cada bit habilitado del DIO0-DIO7 es monitoreado por cambios. Si se detecta, el dato es transmitido solamente con el dato del DIO.	0-0xFF	0 Inhabilitado
IR	Configurable como I/O	Tiempo de muestreo. Poner/escribir. Cuando se selecciona, este parámetro hace que se muestreen todas las entradas en un tiempo específico.	0 – 0xFFFF (x 1msec.)	0

6.2 Diseño del equipo

6.2.1 Hardware de control del equipo domótico.

El centro domótico está integrado por un microcontrolador que es el que recibe la información del receptor Zigbee y la transforma en ordenes para los diferentes módulos que dependen de él como lo son: el control de luminosidad, la motorización de la puerta y las dos motorizaciones de la persianas como se ve en la Figura VI.45.

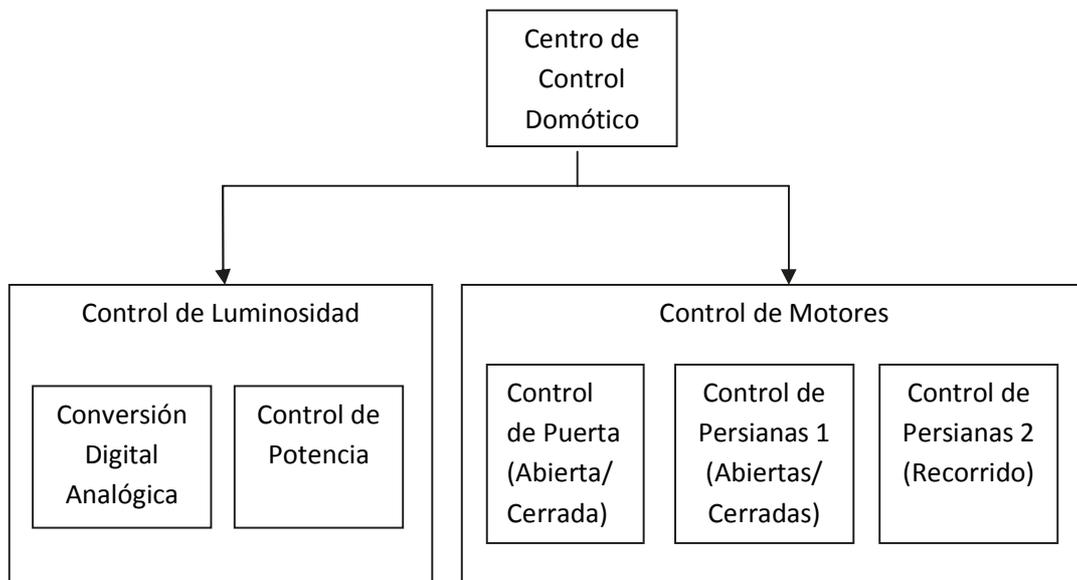


Figura VI.45 Diagrama de bloques del centro de control domótico.

El Control de Luminosidad recibe la orden del microcontrolador cuya salida es digital, la convierte en analógica para que sea posible la manipulación de un Control de Potencia que permite el manejo de un foco de 110V. La diferencia de luminosidad va a depender del comando de voz enviado y que era traducido a un código.

En lo que respecta al control de motores de cada elemento en la habitación el microcontrolador manda una señal PWM para emular un motor paso a paso hacia unos drivers que tienen el mismo funcionamiento que el puente H, el utilizado es el L293B, se trata de un Driver para motores de 4 canales, y cuya información se encuentra en el **Anexo**.

La sincronización de recorrido de cada motor se lo realiza en el microcontrolador y va depender del tiempo que se demora cada acción en la habitación.

6.3 Diseño del Software.

6.3.1 Software de los circuitos de Tx/Rx.

Para configurar los módulos de Zigbee, después de haber actualizado el firmware se ingresó una serie de comandos denominados AT los que nos sirve para definir direcciones, entradas entre otros, para que exista comunicación entre estos.

Primero se tuvo que definir las direcciones de cada módulo, para lo cual asignamos la dirección 1234 al transmisor y la dirección 4321 al receptor.

Para que exista comunicación se define cuál va a ser nuestra dirección de origen y destino para lo cual utilizamos los comando DL y MY.

Transmisor	Receptor	
DL = 0x1234	DL = 0x4321	(dirección origen)
MY = 0x4321	MY = 0x1234	(dirección destino)

Ahora debemos definir cuáles van a ser nuestros pines de salida para enviar los datos, en el transmisor al recibir los datos del módulo de voz definimos los pines como entradas dándoles un valor de 3 y en el receptor al enviar estos datos al microcontrolador los definimos como salidas dándoles un valor de 4.

Transmisor

Receptor

D0 = 0x3

D0 = 0x4

D1 = 0x3

D1 = 0x4

D2 = 0x3

D2 = 0x4

D3 = 0x3

D3 = 0x4

D4 = 0x3

D4 = 0x4

D5 = 0x3

D5 = 0x4

Debemos configurar la detección de cambio de datos en el transmisor para lo cual usamos el comando IC y asignamos el valor en hexadecimal de los pines que estamos usando que es 3F, también ponemos un valor de tiempo para ver cada cuanto revise el cambio de datos, lo cual lo hacemos con el comando IR y además vemos el número de muestras que debe tomar antes de transmitir con el comando IT.

IC = 0x18

IT = 0x2

IR = 0x32

Por último definimos en el receptor hacia donde se van a enviar los datos, para lo cual utilizamos el comando IA en el que asignamos su misma dirección puesto que no se va a enviar los datos a otro módulo.

IA = 0x4321

6.3.2 Software del equipo domótico.

Para controlar el equipo domótico, se realizó un programa para el PIC16F628A, el cual al recibir la señal enviada por el módulo ZigBee compara cada una de las opciones para realizar la tarea indicada en la habitación a escala.

Se puso diez estados posibles en los que se va a controlar lo referente a 1= abrir puerta, 2= cerrar puerta, 3= abrir persiana, 4= cerrar persiana, 5= recorrer persiana A, 6= recorrer persiana B, 7= luces altas, 8= luces medias, 9= luces bajas, 10= apagar luces.

El diagrama de flujo del programa realizado se muestra en la Figura VI.46.

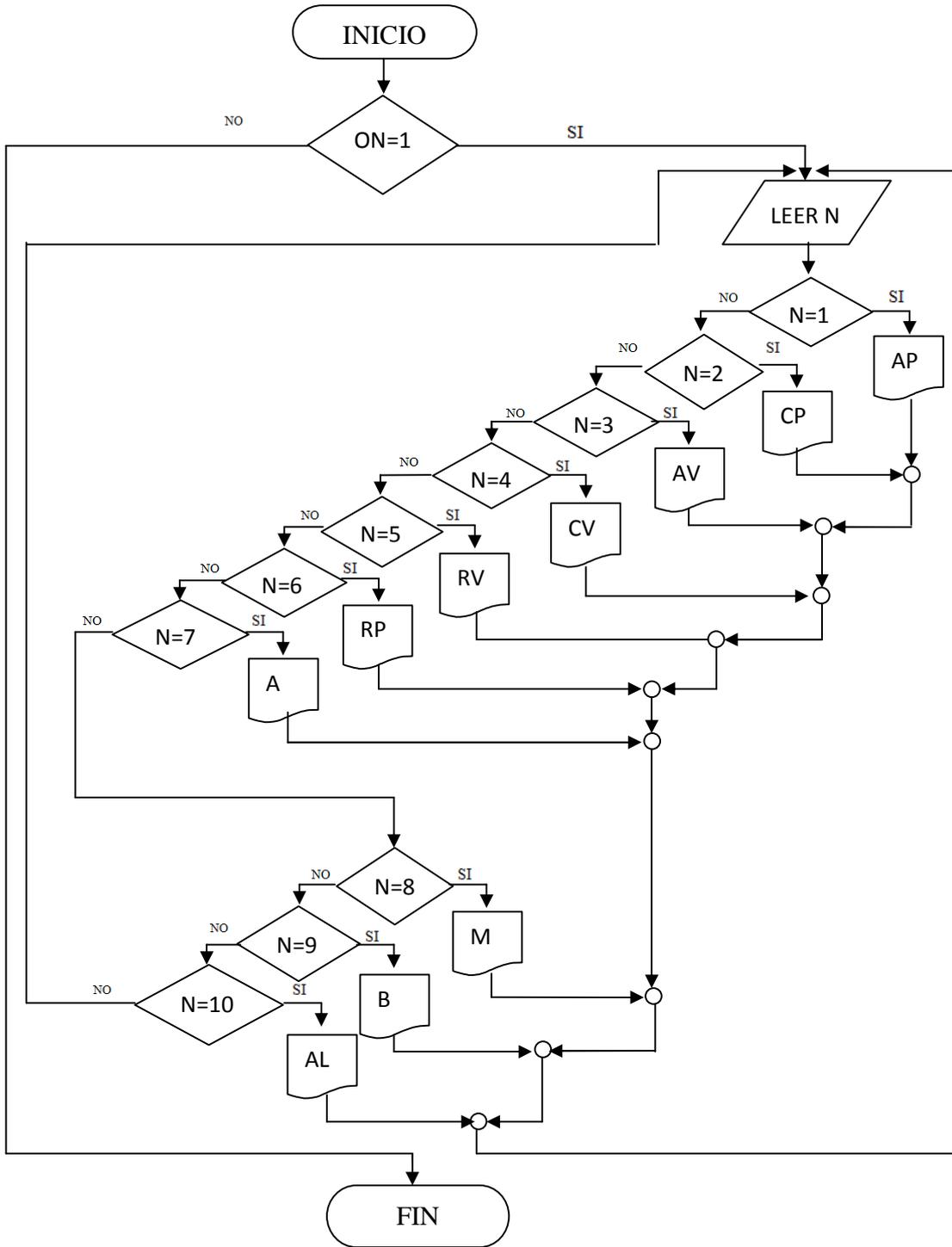


Figura VI.46 Diagrama de flujo del control domotico.

6.4 Implementación del equipo.

El equipo en su totalidad consta como se ve en la Figura VI.47 de un equipo transmisor y un receptor.

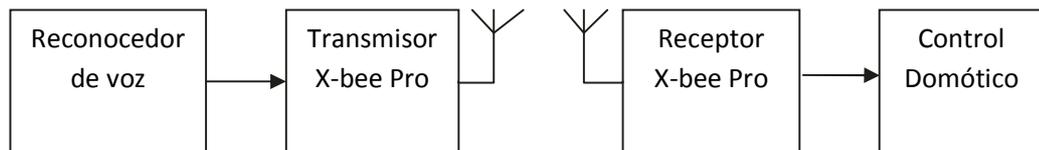


Figura VI.47 Implementación del equipo.

En el transmisor se tiene el módulo de voz que recibe los comandos y que transforma en información digital que será enviados a las entradas habilitadas en el módulo DIO0-DIO4, la Figura VI.48 muestra al Transmisor con sus respectivas partes y la alimentación de poder que se lo realiza a través de baterías y pilas para que sea transportable el circuito.

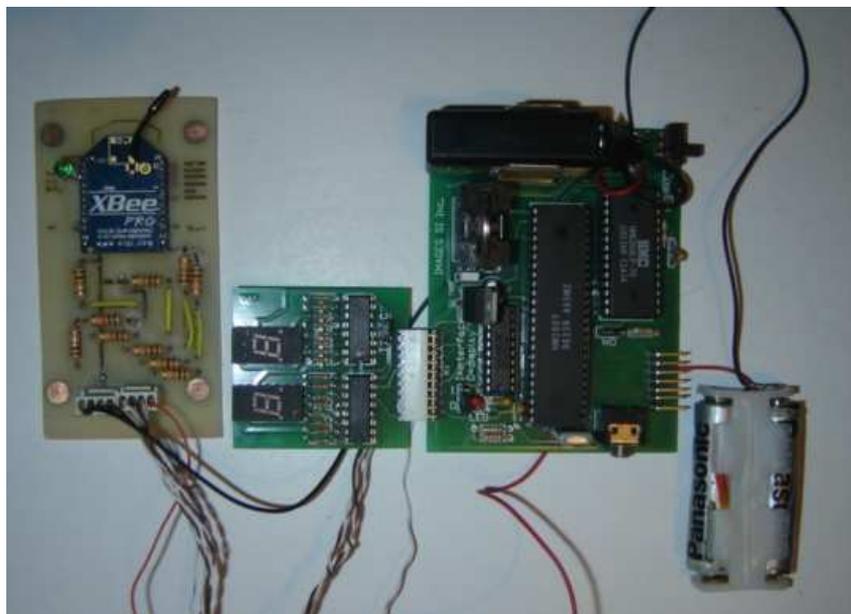


Figura VI.48 Transmisor.

En el receptor se tiene el módulo de Zigbee que transforma la información enviada en información digital que en nuestro caso es enviada a través de los pines DIO0-DIO4 que estuvieron configuradas como salidas. Estos bits son receptados por el Microcontrolador que hace de cerebro del manejo domótico de la habitación, éste maneja los controles de luminosidad y los Controles de los motores, como nos muestra la Figura VI.49 donde también se presenta una fuente de poder que alimenta a todo este circuito.



Figura VI.49 Receptor.

La habitación a escala consta de una puerta manejada con un motor, una persiana que se puede abrir con un motor y recorrerla con otro, y finalmente un foco, como lo muestra la Figura VI.50 y la Figura VI.51.



Figura VI.50 Persianas de la habitación a escala.

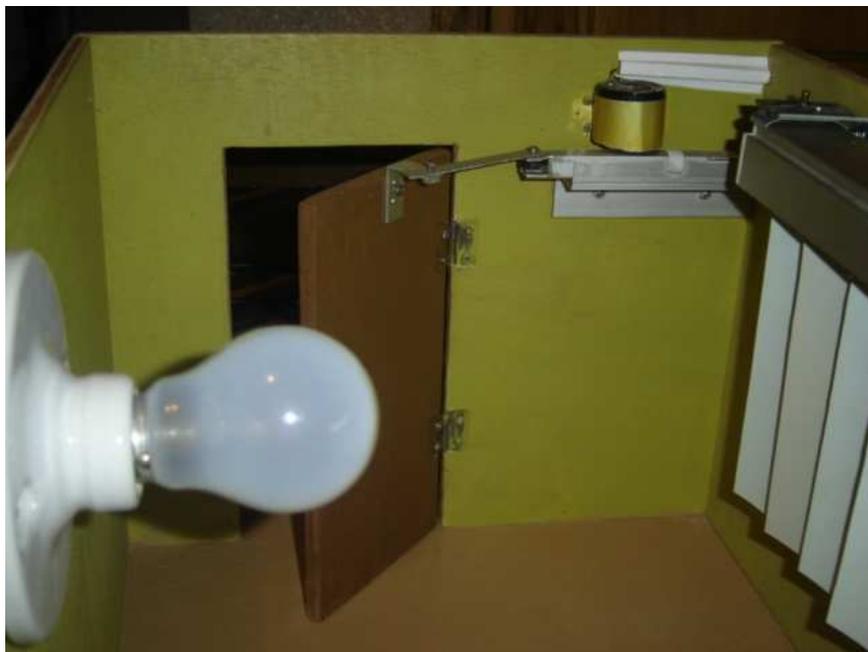


Figura VI.51 Puerta y foco de la habitación.

6.5 Pruebas y evaluación del equipo.

Se realizó las pruebas de alcance de los módulos de ZigBee tanto dentro como fuera de una habitación para comprobar la distancia en que estos se pueden comunicar.

En el interior de la habitación el alcance normal y sin errores se obtuvo hasta una distancia de 30m como se muestra en la Figura VI.52, a partir de lo cual se empezó a experimentar pérdidas en la transmisión como se ve en la Figura VI.53, la cual fue una pérdida total a una distancia mayor a los 60m.

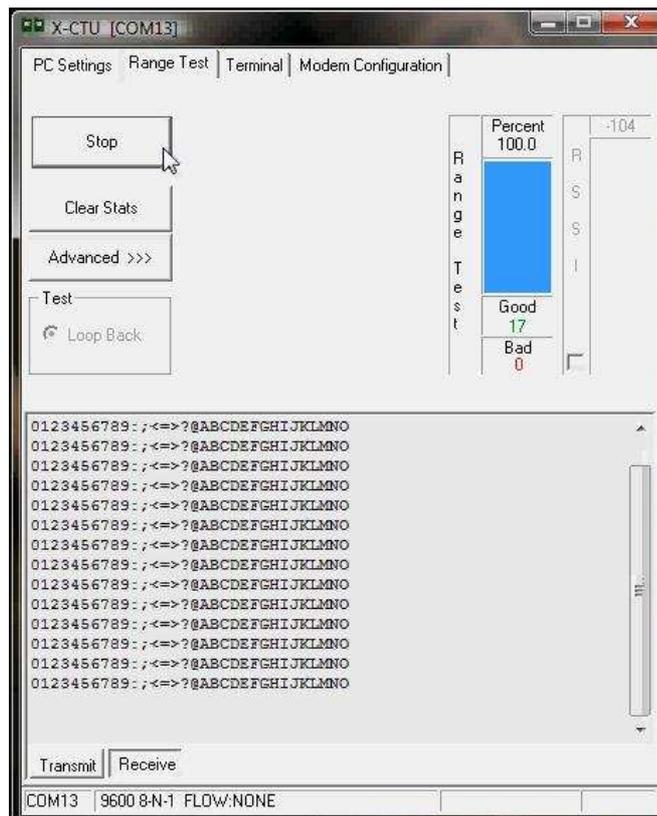


Figura VI.52 Monitoreo de trama antes de los 30m.

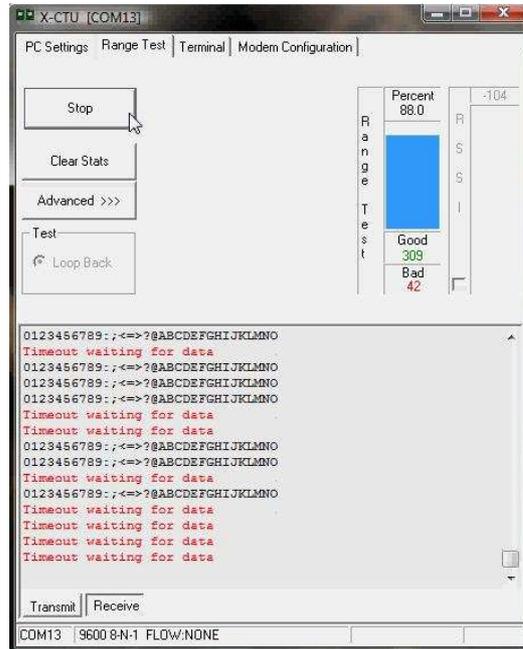


Figura VI.53 Perdida de tramas en el monitoreo a partir de los 40m.

Se realizó también pruebas de alcance fuera de una habitación, pero con línea de vista entre el transmisor y el receptor.

El enlace entre el transmisor y el receptor se realizó de manera correcta hasta una distancia de aproximadamente 200m como se muestra en la Figura VI.54. A partir de los 250m empezó a existir pérdidas (Figura VI.55), hasta que al llegar a una distancia mayor a los 280m la pérdida de las tramas fue total como se ve en la Figura VI.56.

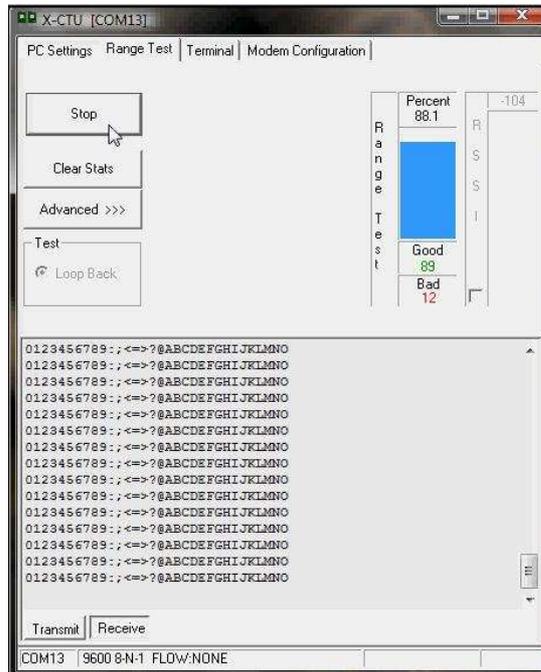


Figura VI.54 Monitoreo de tramas sin errores hasta los 200m.

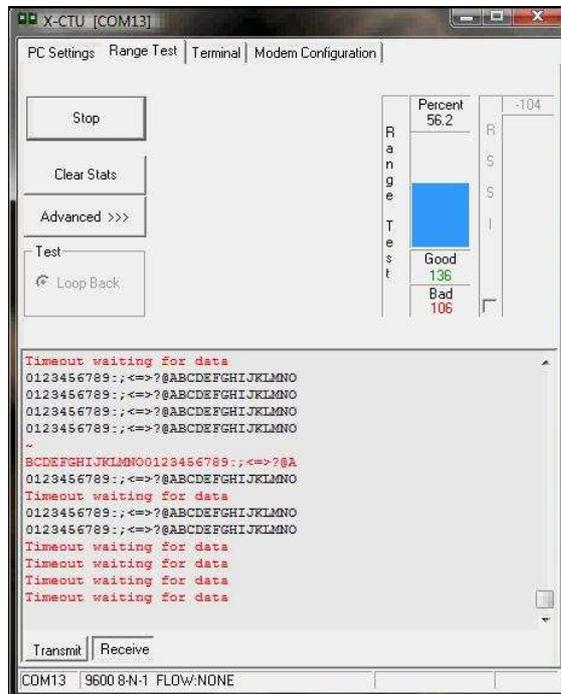


Figura VI.55 Pérdida de tramas a partir de los 250m.

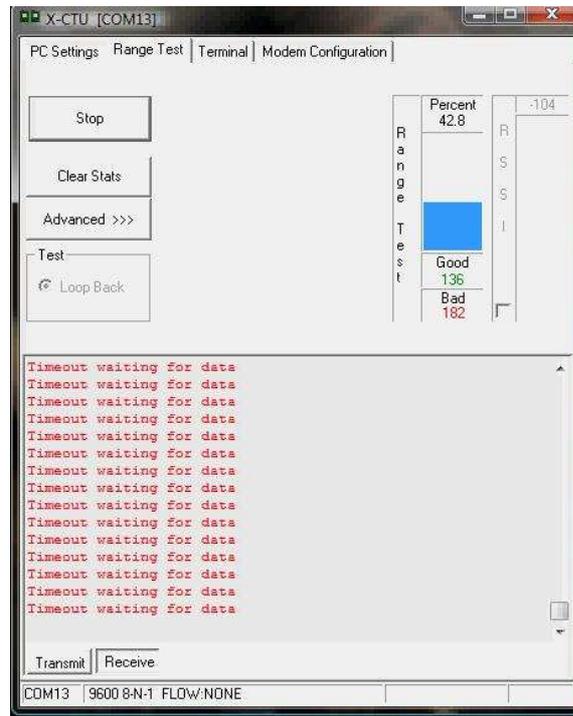


Figura VI.56 Pérdida total de las tramas en una distancia mayor a los 300m.

Las pruebas de enlace se realizaron utilizando el programa X-CTU el cual envía tramas de prueba y nos muestra el porcentaje de datos recibidos correctamente por el receptor, así como el porcentaje de datos perdidos.

CONCLUSIONES

1. La principal aplicación de ZigBee son los sistemas para redes domóticas, pues ha sido creado para cubrir las necesidades del mercado en este campo, sin embargo, ZigBee tiene amplias capacidades de desarrollo que le permite ser utilizado en múltiples aplicaciones.
2. ZigBee en comparación con otra tecnología inalámbrica como Bluetooth es mejor en aplicaciones como la domótica al necesitarse baja tasa de envío de datos, un mayor alcance en el envío de datos y por su bajo consumo de energía.
3. Mientras que el Bluetooth se usa para aplicaciones como el Wireless USB, los teléfonos móviles y la informática casera, la velocidad del 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.
4. La utilización de circuitos electrónicos empaquetados en chips como microcontroladores, memorias, Dacs, opams, etc, hacen que el tamaño del proyecto sea menor al igual que el consumo de energía necesario para el manejo del mismo.
5. El módulo utilizado en el reconocimiento de voz tiende a confundir palabras parecidas fonéticamente ya que es muy difícil encontrar un sistema de reconocimiento de voz perfecto específico para un individuo o un idioma.

6. El funcionamiento óptimo del sistema de transmisión de datos implementado en esta tesis con el estándar IEEE 802.15.4 fue a 30 m sin tener pérdidas en la transmisión ni retardo en el envío de información dentro de un edificio, a partir de esta distancia empieza a existir pérdidas en el envío hasta que se hace completamente nula la recepción.

7. La utilización de entradas y salidas en paralelo en el chip de transmisión y recepción inalámbrica es de mejor desempeño en nuestro proyecto ya que la utilización de una entrada o salida serial supondría la utilización de elementos adicionales para la comunicación con las demás partes del proyecto.

RECOMENDACIONES

- Se puede reemplazar en vez del módulo de reconocimiento de voz un teclado alfanumérico para hacer más sencillo el proyecto y no tener tantos problemas en el reconocimiento de voz como si se tratara de un control remoto.
- Se debe actualizar el firmware de los módulos Zigbee para tener más opciones disponibles sobre su manejo y utilización de los pines.
- Se puede utilizar un módulo de reconocimiento de voz de mejores características para no tener mayor problema en el reconocimiento de las palabras.
- Se puede utilizar elementos de precisión como un potenciómetro en vez de resistencias para un desempeño mejor en la interfaz de potencia que controla los niveles de iluminación.
- Se debe tomar en cuenta la disposición de los pines tanto en el microcontrolador como en el módulo Zigbee para que no exista problemas en el funcionamiento de los mismos.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo construir un equipo domótico capaz de: abrir y cerrar una puerta; abrir, cerrar, recorrer en un sentido y otro unas persianas y, controlar cuatro niveles de intensidad de la luz de un foco, implementado en una habitación a escala, cada acción activada por comandos de voz y utilizando comunicación inalámbrica Zigbee, con el fin de demostrar que se puede facilitar algunas tareas del hogar y dar a conocer sobre el estándar Zigbee.

Para realizar las tareas en la habitación se recibe los datos enviados por el transmisor en un microcontrolador que envía pulsos digitales a tres motores DC que manejan las persianas y la puerta; para controlar los niveles de luz se envía pulsos a un DAC que transforma los comandos analógicos en digitales para poder utilizar una interfaz de potencia.

El reconocimiento de voz es correcto al utilizar palabras fonéticamente diferentes y de la misma persona, para que no haya confusión en los comandos, la transmisión inalámbrica se obtiene sin pérdidas hasta una distancia no mayor a los 30 metros, a partir de ésta distancia se empieza a perder información y ya no se receptan los datos; finalmente el desempeño del centro domótico es el correcto al realizar las tareas indicadas por los comandos de voz.

Se logró cumplir con el objetivo de realizar un centro domótico utilizando comunicación inalámbrica Zigbee, pero si se quieren tener mejores resultados en cuanto al reconocimiento de voz se puede optar por un módulo más eficiente.

SUMMARY

The present work dealt with the construction of a dome equipment capable of opening and closing the door, opening, closing running either way venetian blinds and controlling four intensity levels of a light bulb implementing in each room, at scale, each activated action through voice commands and using wireless communication Zigbee to demonstrate that is possible to facilitate some home tasks and make know the Zigbee standard.

To carry out tasks at home, data from a transmitter are received in a microcontroller which sends digital pulses to three DC motors which handle the venetian blinds and the door. To control the light levels pulses are sent to a DAC which transforms the analogic commands into digital ones to be able to use the power interface.

The voice recognition is correct upon using phonetically different words from the same person so that there is no confusion in the commands. The wireless transmission is obtained without losses up to a distance not over 30 meters. From this distance information is lost and data are not received any more. Finally the development of the dome center is the correct one because of the tasks indicated by the voice commands.

It was possible to attain the objective of constructing a dome center using wireless communication Zigbee, but if better results are required as to the voice recognition a more efficient module can be selected.

GLOSARIO

Acuse de recibo (Acknowledgement).- Un tipo de mensaje que se envía para indicar que un bloque de datos ha llegado a su destino sin errores. Un acuse de recibo puede también ser negativo (no acknowledgement - NOACK), es decir, indicar que un bloque de datos no ha llegado a su destino.

Asíncronamente.- Tipo de comunicación donde cada byte se transmite del emisor al receptor de modo independiente. Es la que utilizan los módems, por ejemplo.

Bluetooth.- Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia segura y globalmente libre.

Broadcast.- Paquete de datos enviado a todos los nodos de una red. Los paquetes o tramas broadcasts se identifican por una dirección broadcast, FF:FF:FF:FF:FF o 255.255.255.255 respectivamente.

Cluster.- Se puede definir como un grupo de computadoras unidas, que trabajan conjuntamente en muchos aspectos para que estas formen una sola computadora.

Codificación.- Proceso preestablecido y controlado aplicado a una señal durante su generación y que altera sus características originales, dificultando el entendimiento de la información.

Controlador.- Pequeño programa que sirve para reconocer y controlar un dispositivo de hardware específico.

Decodificación.- Proceso inverso al de codificación de la señal, aplicado durante su recepción y que restablece las características originales de la señal, posibilitando el entendimiento de la información por parte de los suscriptores.

Firmware.- Es el " software que está dentro del hardware". Se refiere a los programas grabados en memorias no volátiles cuya función es asegurar su correcto funcionamiento.

Frecuencia.- El número de vibraciones o ciclos por unidad de tiempo. La frecuencia de las ondas electromagnéticas suele medirse en ciclos por segundo, llamados hertz en honor del físico alemán H. Hertz.

Infrarrojo.- Se refiere a la radiación electromagnética no visible cuya frecuencia es apenas menor que la de la luz roja.

Latencia.- En redes informáticas de datos se denomina latencia a la suma de retardos temporales dentro de una red, un retardo es producido por la demora en la propagación y transmisión de paquetes dentro de la red.

Modulación.- Modificación de alguno de los parámetros que definen una onda portadora (amplitud, frecuencia, fase), por una señal moduladora que se quiere transmitir (voz, música, datos).

Ondas Electromagnéticas.- Perturbaciones que se propagan con la velocidad de la luz, consistentes en ondas de campo eléctrico y de campo magnético perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación, las ondas de luz, en particular, son de esta naturaleza.

Oscilador.- Es un circuito que es capaz de convertir una señal continua en una que varíe de forma periódica en el tiempo; estas oscilaciones pueden ser senoidales, cuadradas, triangulares, etc., dependiendo de la forma que tenga la onda producida.

Payload.- Carga útil; paquete a enviar. Los datos relacionados con la transmisión (emisor, destinatario, etc.) no se consideran Payload.

Pull-up.- En electrónica se denomina pull-up bien a la acción de elevar la tensión de salida de un circuito lógico, bien a la tensión que, por lo general mediante un divisor de tensión, se pone a la entrada de un amplificador con el fin de desplazar su punto de trabajo.

Radiofrecuencia.- El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz.

Redes ad-hoc.- Grupo de dispositivos inalámbricos que se comunican directamente entre ellos (punto a punto) sin la utilización de un punto de acceso. Permiten la conexión directa entre varios nodos sin ninguna gestión específica de la red.

Routers.- Dispositivo conectado a dos o más redes que se encarga únicamente de tareas de comunicaciones.

Supertrama.- Tipo de entramado común que se utiliza en los circuitos T1. Está compuesta por 12 tramas de 192 bits cada una, en las que el bit 193 brinda verificación de errores y otras funciones.

Temporizadores.- Los temporizadores así como su nombre lo dice son mecanismos que funcionan o hacen una operación por cierto tiempo donde el tiempo es ajustado de acuerdo al uso dado.

Throughput.- Transferencia Real. Cantidad de datos que son transmitidos a algún punto de la red.

Topología.- Es el mapa o idea de la red. La topología física describe el trazado de los hilos y los cables y la topología lógica o eléctrica describe el flujo de los mensajes.

Trama: Unidad única de información de capa de enlace de datos.

Transceptor.- Dispositivo que realiza, dentro de una misma caja o chasis, funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones.

Unicast: Mensaje que se envía a un solo destino de red.

Wi-fi.- Tecnología de comunicación inalámbrica que permite la conexión a una red local. Es un acrónimo de Wireless Lan.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA INTERNET

1. Actualización de Firmware

<http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3257&osvid=0&s=268&t>

[p=2](#)

2008-04-07

2. Algoritmos y métodos para el reconocimiento de voz en español mediante silabas

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61590307>

[&iCveNum=0](#)

2008-02-12

3. Bluetooth vs Zigbee

http://www.acis.org.co/memorias/JornadasTelematica/IIJNT/BlueTooth_Zig

[bee.pdf](#)

2008-12-06

4. Coexistencia entre WiFi y ZigBee. Evitar interferencias.

<http://pfc.danips.es/?p=5>

2008-03-03

5. Comparación Chip vs. Module

<http://www.digi.com/technology/rf-articles/chip-vs-module.jsp>

2008-04-02

6. Comparación técnica

<http://spanish.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/Compare/Technical/>

2008-02-25

7. Comparativa de nodos sensores

<http://pfc.danips.es/?p=4#more-4>

2008-02-27

8. Comparativa de Tecnologías Inalámbricas

http://www.dexmatech.com/es/tecnologia/comparativa_tecnologias_wireless

2008-03-03

9. Desmitificando 802.15.4 and ZigBee

http://www.digi.com/pdf/wp_zigbee.pdf

2008-03-25

10. Diagnostico general, utilidades y MIBs:

<http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3265&osvid=0&s=270&tp=4>

2008-04-10

11. Documentación General:

<http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3257&osvid=0&s=268&tp=3>

<http://www.digi.com/support/productdetl.jsp?pid=3257&osvid=0&s=268&tp=1>

http://www.dexmatech.com/es/tecnologia/estandares_inalambricos

2008-04-15

12. Domótica - Iluminación

<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=145&m=21&idm=157&pat=20&n2=20>

2008-05-14

13. Domótica - Introducción

<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=14&m=21&idm=21&pat=20&n2=20>

2008-05-05

14. Domótica - Persianas y Toldos

<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=147&m=21&idm=158&pat=20&n2=20>

2008-05-14

15. Domótica - Puertas y Ventanas

<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=150&m=21&idm=161&pat=20&n2=20>

2008-05-14

16. Estándares

<http://www.dexmatech.com/es/tecnologia>

2008-03-06

17. HM2007 datasheet

<http://www.imagesco.com/speech/rsc-164.pdf>

2008-02-12

18. IEEE 802.15 WPAN Task Group 4b (TG4b),

<http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/TG4b.html>

2008-02-18

19. Introducción al reconocimiento de voz

<http://www.euskalnet.net/iosus/speech/recog.html>

2008-02-12

20. Métodos de modelado y clasificación de patrones

<http://tamarisco.datsi.fi.upm.es/ASIGNATURAS/FRAV/apuntes/clasifica.pdf>

[f](#)

2008-02-20

21. Los Modelos Ocultos de Markov

<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0254->

[07702002000300008&script=sci_arttext&tlng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0254-07702002000300008&script=sci_arttext&tlng=es)

2008-02-11

22. Modulo HM2007

<http://www.imagesco.com/articles/hm2007/SpeechRecognitionTutorial02.html>

[ml](#)

2008-02-12

23. Modulo Vrstamp

http://www.sensoryinc.com/products/vr_stamp.html

2008-02-18

24. Noticias Zigbee

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/news.php?from=20>

2008-06-03

25. Reconocimiento de voz

http://www.biokitservices.com/RECONOCIMIENTO_DE_VOZ.pdf

2008-02-11

26. Tecnología inalámbrica Bluetooth

<http://spanish.bluetooth.com/Bluetooth/Technology/Works/Compare/#14>

2008-02-25

27. Tecnologías Hogar Digital - ZigBee

<http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?c=28&id=2200>

2008-05-05

28. Tipos de Reconocimiento de la Voz

<http://www.jegsworks.com/Lessons-sp/lesson3/lesson3-5.htm>

2008-02-11

29. XBee & XBee-PRO 802.15.4 OEM RF Modules

<http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp>

2008-03-11

30. XBee & XBee-PRO 802.15.4 OEM RF Modules

<http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-series1-module.jsp#partnumbers>

2008-03-20

31. XBee Multipoint RF Modules

http://www.digi.com/pdf/ds_xbeemultipointmodules.pdf

2008-03-20

32. XBee-PRO 900 RF Modules

<http://www.digi.com/products/wireless/point-multipoint/xbee-pro-900.jsp#partnumbers>

2008-03-17

33. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000982_A.pdf

2008-03-28

34. Zigbee: El nuevo estándar global para la domótica e inmótica

<http://www.monografias.com/trabajos61/zigbee-estandar-domotico-inmotica/zigbee-estandar-domotico-inmotica.shtml>

2008-03-06

35. Zigbee Tutorial

<http://www.tutorial-reports.com/wireless/zigbee/zigbee-introduction.php?PHPSESSID=90508ea3ab68ac43e2c3e6484459ae19>

2008-05-20

36. El Zumbido de las Abejas, ZIGBEE

<http://www.osiriszig.com/content.aspx?co=15&t=21&c=2>

2008-03-11