

DIEZ
Diseño de una Interfaz Educativa ZigBee

JORGE ORLANDO CIFUENTES CIFUENTES
HELBER ANTONIO HERNÁNDEZ CELIS



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2009

DIEZ
Diseño de una Interfaz Educativa ZigBee

ING. JORGE ORLANDO CIFUENTES CIFUENTES
ING. HELBER ANTONIO HERNÁNDEZ CELIS

Monografía para optar al título de ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES

Director
FABIO ALONSO GUZMAN
INGENIERO ELECTRONICO
ESPECIALISTA EN TELECOMUNICACIONES



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
ESPECIALIZACIÓN EN TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2009

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, 31 de Enero de 2009

*A Dios, a mis padres, a mis abuelos y a mi hermana Lili;
Por su ejemplo, su apoyo y su paciencia.*

*Y a ti, bodoquito;
Por ser la fuente de mi inspiración.*

Jorge

A Dios

A mis padres por su comprensión y apoyo

A mis hermanos por compartir mis sueños y metas

Y a mis amigos con los que he contado toda mi vida

Helber

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su más sincero agradecimiento y reconocimiento a:

FABIO ALONSO GUZMAN, Director del presente trabajo de grado.

RAUL RESTREPO AGUDELO, Coordinador de Postgrados de Ingeniería Electrónica
Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA y a sus excelentes profesores.

Todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron en la realización del presente proyecto.

Y muy especialmente, a nuestros padres, a Dios y a la Virgen, por iluminarnos y acompañarnos siempre.

Muchas Gracias

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	7
LISTA DE FIGURAS.....	10
LISTA DE TABLAS.....	12
INTRODUCCION.....	18
JUSTIFICACION	19
OBJETIVOS.....	21
• OBJETIVO GENERAL.....	21
• OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGIA ZIGBEE	22
1.1 Cronología de la tecnología ZigBee [14].....	22
1.2 ZigBee y el Estándar IEEE 802.15.4.....	23
1.2.1 Estándar IEEE 802.15.4.....	24
1.3. El Estándar ZigBee [14].....	31
1.3.1 Capa de Red.....	32
1.3.2. Capa de aplicación.....	33
1.4. Seguridad en ZigBee.....	34
1.5. ZigBee vs otras tecnologías [15].....	35
1.5.1 ZigBee vs Bluetooth [15]	37
1.5.2 Rendimiento en la banda de 2,4 GHz.....	38
1.6 Aplicaciones de las redes ZigBee.....	39
CAPITULO II. MODULOS ZIGBEE	42
2.1 Circuito integrado CC2420 de Chipcon [10].....	42
2.1.1. Características claves	42
2.2. Circuito integrado MC13192 de Freescale [12].....	43
2.2.1 Aplicaciones.....	43

2.2.2 Características	43
2.2.3 Comunicación.....	44
2.3 Circuito integrado MRF24J40 de Microchip [13]	44
2.3.1 Características	44
2.4 Módulos Xbee – Xbee PRO [11]	45
2.4.1. Características	45
2.4.2. Aplicaciones.....	46
2.4.3. Especificaciones de los módulos	46
2.4.4 Comunicación serial	47
2.5 Modulo Wi FreeStar de Radiotronix	47
2.5.1. Estructura del modulo.....	48
2.5.2 Características	48
2.5.3 Aplicaciones.....	49
2.5.4 Comunicación.....	49
2.5.5 Especificaciones del modulo (Fuente: [6])	50
CAPITULO III: DISEÑO DE LA INTERFAZ EDUCATIVA ZIGBEE	51
3.1 Descripción general de la Interfaz:.....	51
3.2 Componentes de la Interfaz Educativa ZigBee.....	53
3.2.1 Hardware:.....	54
3.2.2 Software	58
3.3 Comunicación de los módulos ZigBee con el PC.....	60
3.3.1 Estructura de la trama de la Interfaz Educativa ZigBee	60
3.3.2 Mensajes enviados del host al módulo.....	61
3.3.3 Mensajes enviados del nodo ZigBee al host	63
3.3.4 Mensajes utilizados en la Interfaz Educativa ZigBee.....	64
3.4 Programación de la Interfaz Educativa ZigBee.....	79
3.4.1 Tipos de comunicación utilizados en la Interfaz Educativa ZigBee	79
CAPITULO IV: LA INTERFAZ EDUCATIVA ZIGBEE (DIEZ)	83
4.1 Requerimientos del Sistema	83
4.2 Conexionado del sistema	83
4.3 Instalación de la aplicación	84
4.4 Manual de operación de la Interfaz DIEZ.....	87

4.4.1 Ventana Principal	87
4.4.2 Configuración del Puerto Serial.....	89
4.4.3 Configuración del Nodo ZigBee.....	90
4.4.4 Aplicación ZigBee Chat	92
4.4.5. Aplicación Dibujo ZigBee	94
4.4.6 Aplicación Domótica.....	95
4.4.7 Puertos I/O Digitales y Análogos.....	98
4.4.8 Sniffer ZigBee	102
4.4.9 Estadísticas	103
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y PROXIMOS TRABAJOS.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Capas del estándar IEEE 802.15.4 y la especificación ZigBee. (Fuente: [14]).....	23
Figura 1.2 Ejemplos de Topología Estrella y Punto a Punto (Fuente: Autores)	25
Figura 1.3. Superframe MAC (Fuente: Autores).....	26
Figura 1.4. Estructura Data Frame MAC (Fuente: [7]).....	28
Figura 1.5. Formato ACK (Fuente: [7])	30
Figura 1.6. Formato Mac Command Frame (Fuente: [7])	30
Figura 1.7. Formato Mac Command Frame (Fuente: [7])	31
Figura 1.8. Arquitectura de la capa funcional ZigBee y pila de protocolos. (Fuente: [8]).....	32
Figura.1.9. Topologías de red en ZigBee. (Fuente: Autores).....	33
Figura 1.10. Rendimiento en la banda de 2,4 GHz (Fuente: [7]).....	39
Figura 1.11. Aplicaciones ZigBee (Fuente: [10]).....	41
Figura 2.1 Comunicación serial (Fuente: [12])	44
Figura 2.2 Flujo del sistema de datos en un ambiente de interface UART (Fuente: [10])	47
Figura 2.3. Diagrama de Bloques Wi FreeStar (Fuente: [6]).....	48
Figura. 2.4. Diagrama de ejemplo Conexión usando Interface Serial (Fuente: [6])	49
Figura 2.5. Diagrama de ejemplo Conexión usando Interface de procesador Host (Fuente: [6]) ...	50
Figura 3.1 Interconexión de los Nodos de la Interfaz Educativa ZigBee. (Fuente: Autores).....	53
Figura 3.2 Esquemático Herramienta de desarrollo WIFS24EV (Fuente: [5])	55
Figura 3.3 Circuito impreso de la herramienta WIFS24EV. (Fuente: Autores).....	55
Figura 3.4 Listado y ubicación de los componentes en el circuito (Fuente: [5]).....	56
Figura 3.5. Herramienta de desarrollo WIFS24EV (Fuente: [5]).....	56
Figura 3.6 Modo de comunicación local (Fuente: Autores)	80
Figura 3.7 Modo de comunicación remota tipo 1(Fuente: Autores)	81
Figura 3.8 Modo de comunicación remota tipo 2 (Fuente: Autores)	82
Figura 4.1 Conexionado de los módulos. (Fuente: [5])	84
Figura 4.2 Contenido del Instalador. (Fuente: Autores)	84
Figura 4.3 Ingresar a la instalación. (Fuente: Autores)	85
Figura 4.4 Inicio de la Instalación. (Fuente: Autores).....	86
Figura 4.5 Directorio del menú de Inicio. (Fuente: Autores)	86
Figura 4.6 Ventana Inicial de la Interfaz DIEZ. (Fuente: Autores)	87
Figura 4.7 Detección y no detección del nodo ZigBee. (Fuente: Autores).....	88
Figura 4.8 Configuración del puerto serial. (Fuente: Autores).....	90
Figura 4.9 Módulo de Configuración del Nodo a agregar. (Fuente: Autores).....	90
Figura 4.10 Chat ZigBee. (Fuente: Autores)	93
Figura 4.11 Pizarra ZigBee. (Fuente: Autores).....	94
Figura 4.12 Aplicación Domótica. (Fuente: Autores)	95
Figura 4.13 Panel de Control (Fuente: Autores).....	97

Figura 4.14 Puertos I/O Digitales y Análogos	98
Figura 4.15 Puertos Digitales.....	99
Figura 4.16 Puertos Análogos.....	99
Figura 4.17 Ubicación física de los puertos.....	99
Figura 4.18 Sniffer ZigBee. (Fuente: Autores)	102
Figura 4.19 Estadísticas. (Fuente: Autores).....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Especificaciones capa física (Fuente: Autores).....	24
Tabla 1.2. Características tecnologías inalámbricas (Fuente: Autores)	36
Tabla 1.3. Comparación entre Bluetooth y ZigBee (Fuente: [7]).....	38
Tabla 2.1. Características MRF24J40 (Fuente: [13]).....	44
Tabla 2.2. Especificaciones XBEE (Fuente: [10]).....	46
Tabla 2.3 Especificaciones del módulo WiFS100 de Radiotronix (Fuente: [8]).....	50
Tabla 3.1. Características eléctricas de la herramienta WIFS24 EV [Fuente: [5]].....	57
Tabla 3.2. Descripción de los pines del módulo.....	57
Tabla 3.3. Canales. (Fuente: Autores)	59
Tabla 3.4. Parámetros del protocolo de comunicación serial RS-232 (Fuente: [9])	60
Tabla 3.5 Estructura de paquetes (Fuente: [9])	61
Tabla 3.6 Mensajes enviados desde el host al nodo ZigBee (Fuente: [9])	62
Tabla 3.7 Mensajes ACK enviados desde el nodo ZigBee al host (Fuente: [9]).....	63
Tabla 3.8 Mensajes enviar PAN ID y su ACK (Fuente: [9]).....	64
Tabla 3.9 Mensajes adquirir PAN ID y su ACK (Fuente: [9]).....	65
Tabla 3.10 Mensajes configurar dirección de nodo y su ACK (Fuente: [9])	66
Tabla 3.11 Mensajes adquirir dirección de nodo y su ACK (Fuente: [9])	66
Tabla 3.12 Mensajes configurar canal RF y su ACK (Fuente: [9])	67
Tabla 3.13 Mensajes adquirir canal RF y su ACK (Fuente: [9]).....	67
Tabla 3.14 Mensajes habilitar/deshabilitar recibir todos los mensajes RF y su ACK (Fuente: [9])... 68	
Tabla 3.15 Mensajes que llegan de otros nodos cuando está habilitado Recive All. (Fuente: [9]) .. 69	
Tabla 3.16 Mensajes descargar estadísticas y su ACK (Fuente: [9]).....	70
Tabla 3.17 Mensajes borrar estadísticas y su ACK (Fuente: [9]).....	70
Tabla 3.18 Mensajes configurar nivel de potencia y su ACK (Fuente: [9]).....	71
Tabla 3.19 Mensajes adquirir nivel de potencia y su ACK (Fuente: [9]).....	72
Tabla 3.20 Mensajes salvar en NVRAM y su ACK (Fuente: [9])	72
Tabla 3.21 Mensajes enviar n bytes de datos a otro nodo y su ACK (Fuente: [9])	73
Tabla 3.22 Mensajes recibir n bytes de datos de otro nodo (Fuente: [9]).....	74
Tabla 3.23 Configurar puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])	75
Tabla 3.24 Adquirir configuración de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])	76
Tabla 3.25 Enviar estado de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9]).....	77
Tabla 3.26 Adquirir estado de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])	77
Tabla 3.27 Adquirir valor de puertos análogos y su ACK (Fuente: [9])	78
Tabla 3.28 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación local (Fuente: Autores).....	80
Tabla 3.29 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación remota tipo 1 (Fuente: Autores) . 81	
Tabla 3.30 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación remota tipo 2 (Fuente: Autores) . 82	
Tabla 4.1. Canales. (Fuente: Autores)	91
Tabla 4.2 Tipos de puertos digitales. (Fuente: Autores)	100

GLOSARIO

ACK: Acknowledgement. Es un mensaje que se envía para confirmar que un mensaje o un conjunto de mensajes han llegado.

AES: Advanced Encryption Standard. Es un esquema de cifrado por bloques adoptado como un estándar de cifrado por el gobierno de los Estados Unidos.

APL: Application Layer. Capa de Aplicación ZigBee

CAP: Contention Access Period. Periodo de Acceso por Contención. Es el período de tiempo que sigue inmediatamente después de un frame beacon durante el cual los dispositivos que deseen transmitir competirán para acceder al canal utilizando un mecanismo Slot CSMA-CA.

CFP: Contention Free Period: Periodo de Contención Libre. Es el período de tiempo durante el cual más de un dispositivo intenta tener acceso a los mismos recursos al mismo tiempo. En una LAN inalámbrica (red de área local), no se envía la señal durante un CFP.

Clúster: Es un contenedor para uno o más atributos y/o mensajes en una estructura de comando.

Coordinador: Es un Full Function Device (FFD) capaz de transmitir mensajes. Si un coordinador es el controlador principal de una Network Personal Área (PAN), es llamado el coordinador PAN.

CRC: Cyclic Redundancy Check. Comprobación de redundancia cíclica. Es un tipo de función que recibe un flujo de datos de cualquier longitud como entrada y devuelve un valor de longitud fija como salida.

CSMA-CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance. Acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones. Es un protocolo de control de redes de bajo nivel que permite que múltiples estaciones utilicen un mismo medio de transmisión.

Device: Dispositivo. Es cualquier entidad que contenga una aplicación de la interfaz Medium Access Control (MAC) y física del estándar IEEE 802.15.4 al medio inalámbrico. Un dispositivo puede ser Reduced Function Device (RFD) o un Full Function Device (FFD).

DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum. Espectro ensanchado por secuencia directa. Es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas de radiofrecuencia que más se utilizan.

Frame: El formato de bits agregados de una entidad de la subcapa Medium Access Control (MAC) que son transmitidos al mismo tiempo.

Full Function Device (FFD): Dispositivo de Funcionalidad Completa. Es un dispositivo capaz de operar como Coordinador.

GTS: Guaranteed Time Slot. Ranura de Tiempo Garantizado. Intervalo de tiempo continuamente repetido o un periodo de tiempo en el que dos dispositivos son capaces de interconectarse.

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers. Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos. Es una asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas.

MAC: Medium Access Control. Control de acceso al medio. El control de acceso al medio en comunicaciones, es el conjunto de mecanismos y protocolos por los que varios dispositivos de una red se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común (por lo general, un cable eléctrico u óptico, o en comunicaciones inalámbricas el rango de frecuencias asignado a su sistema).

PAN: Personal Área Network. Red de Área Personal. Es una red de comunicación entre distintos dispositivos (tanto computadoras, puntos de acceso a internet, teléfonos celulares, PDA, dispositivos de audio, impresoras) cercanos al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros y para uso personal, así como fuera de ella.

Protocolos: Conjunto de reglas que controlan la secuencia de mensajes que ocurren durante una comunicación entre entidades que forman una red.

Reduced Function Device (RFD): Dispositivo de Función Reducida. Es un dispositivo que no es capaz de operar como un Coordinador.

Topología: Tipo de estructura de la red.

UART: Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Transmisor-Receptor Asíncrono Universal. Este controla los puertos y dispositivos serie. Se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo. Existe un chip UART en cada puerto serie.

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DIEZ: Diseño de una Interfaz Educativa ZigBee

AUTORES: Jorge Orlando Cifuentes Cifuentes
Helber Antonio Hernández Célis

FACULTAD: Especialización en Telecomunicaciones

DIRECTOR: Fabio Alonso Guzmán

RESUMEN

El presente documento describe paso a paso el proceso de diseño de una herramienta educativa concebida para acercar la tecnología ZigBee a los estudiantes interesados en ella. Esta interfaz se ha denominado DIEZ, siglas de Diseño de una Interfaz Educativa ZigBee y tiene por objeto dar a conocer la esta nueva tecnología en el entorno académico, explorando sus ventajas, limitaciones y posibles aplicaciones.

El diseño lo conforma una sección en hardware y otra en software. El hardware está constituido por un modulo de desarrollo ZigBee de bajo costo, que permite una sencilla comunicación ZigBee – PC para simplificar el diseño de la interfaz.

El desarrollo de la Interfaz Educativa ZigBee, se estructuró de la siguiente manera: Inicialmente, para fundamentar el diseño, se elaboró un marco teórico del estándar ZigBee en el que se describe su desarrollo a través del tiempo, modo de funcionamiento, ventajas, desventajas y su comparación con otras soluciones inalámbricas existentes, como BlueTooth y Wi-Fi. Posteriormente, se relizó una búsqueda en el mercado nacional e internacional de módulos de desarrollo ZigBee de bajo costo y de fácil adquisición en el país (Colombia), para permitir la selección de los módulos más adecuados para el diseño.

Una vez seleccionados los módulos, se procedió a realizar el diseño de la interfaz para continuar con la etapa de programación. Por último se presentan la descripción de la Interfaz DIEZ, completamente terminada en su primera versión (1.0), las conclusiones de esta experiencia y recomendaciones para futuros trabajos.

PALABRAS CLAVES: ZigBee, Herramientas de Desarrollo, Redes de Sensores, Interfaz Educativa, Domótica, Puerto Serial

GENERAL SUMMARY FROM DEGREE PAPER

TITLE: DIEZ: Design of a ZigBee Educational Interface

AUTHORS: Jorge Orlando Cifuentes Cifuentes
Helber Antonio Hernández Célis

FACULTY: Especialización en Telecomunicaciones

DIRECTOR: Fabio Alonso Guzmán

SUMMARY

This document describes the design of the ZigBee interface educational DIEZ from the theoretical context of wireless technology ZigBee to the applicability of the interface in different educational contexts such as commercial, educational, entertainment and communication.

The design is built in a section on hardware and software. The hardware is constituted for a development module ZigBee of low-cost that enables easy communication Zigbee - PC to simplify the interface design.

The work consists in first part of a theoretical framework for wireless technology ZigBee that is described in its history, mode of operation, advantages, disadvantages, seeking to support the development of this project. After knowing the different parameters and features of technology ZigBee is seeking national and international manufacturers of modules and development tools ZigBee that meets the objective of the project. After having a theoretical support and a communication module ZigBee is progressing with the detailed description of the characteristics of the interface and educational software for communication between the user and the hardware, in this case, the ZigBee module, allowing the configuration of its basic parameters, the establishment and control of a small demonstration network ZigBee. It is here that define the requirements, programming and preliminary testing in Educational Interface ZigBee.

Within the last two chapters are testing the operation of the educational interface ZigBee in addition to presenting conclusions and recommendations for future research works and/or publications.

KEYWORDS: ZigBee, Development Tools, Network Sensors, Educational Interface, Domotics, Serial Port.

INTRODUCCION

Los avances recientes en los sistemas de comunicación inalámbricos aplicados a la industria, medicina, domótica, entre otros, han incentivado el desarrollo y estudio de dispositivos y tecnologías de comunicación inalámbrica de baja potencia, pequeños, económicos y multifuncionales que pueden monitorear y actuar a los cambios en los fenómenos físicos de sus ambientes circundantes, por medio de sensores y actuadores.

En el año 2003, IEEE publicó el estándar IEEE 802.15.4 orientado a redes de corto alcance, baja potencia y bajas tasas de transferencia de datos. Un año más tarde se aprobó el primer borrador de la especificación ZigBee, que incorporó las características más importantes del estándar IEEE 802.15.4 y le añadió varias mejoras.

El término ZigBee se utiliza para describir un protocolo inalámbrico estandarizado para la creación de redes de área personal, o "WPAN." El protocolo es la razón de ser de la alianza ZigBee, un grupo de más de 70 empresas que se han unido para crear y promover el nuevo estándar.

ZigBee es diferente a los otros estándares inalámbricos en el sentido de que ha sido diseñado para servir a un diverso mercado de aplicaciones que requieren bajo costo, baja potencia de conectividad inalámbrica con más sofisticación que previamente disponible en el precio descrito. El estándar se centra en la baja velocidad de datos, conectividad de bajo ciclo, un segmento del mercado no servido bien por los estándares existentes. La razón de la promoción de un nuevo protocolo como estándar es permitir la interoperabilidad entre dispositivos fabricados por diferentes compañías.

ZigBee es un estándar de hardware y software basado en el Estándar IEEE 802.15.4. Este importante estándar define el hardware y software, que se describe en términos de redes como las capas física y Control de Acceso al Medio (MAC). La alianza ZigBee ha añadido las especificaciones de las capas de Red y Aplicación (APL) para completar lo que se denomina stack ZigBee.

Las soluciones basadas en el estándar de redes ZigBee se centran en mercados y aplicaciones específicos. El estándar ZigBee está hecho pensando en el monitoreo y control de aplicaciones.

Por lo tanto, tales mercados como la automatización de edificios, atención personal de salud, control industrial, alumbrado y comercial encajan perfectamente.

Además, a causa de su baja velocidad de transmisión de datos y la demanda impulsada, los dispositivos como teclados, ratones y joysticks también encajan perfectamente. En todos los casos, los mercados específicos requieren tasa de datos baja pero exigen batería de vida larga, redes sofisticadas o ambas.

El presente proyecto pretende explorar las características de esta nueva tecnología que puede ser aprovechada en múltiples aplicaciones, colocándola al alcance de la academia para su estudio, investigación y desarrollo.

JUSTIFICACION

En un mundo cada vez más dependiente de la información, se hace necesario buscar los mecanismos para obtenerla y distribuirla con rapidez, eficacia y seguridad, procurando reducir al mínimo el tiempo de respuesta entre el cual se recibe, se toma una decisión según lo recibido y se emite una respuesta. Este es el caso de los bomberos o en general el personal de emergencia a quienes se les informa de un incendio en la ciudad; el tiempo que transcurre mientras se les informa de lo sucedido, el desplazamiento hasta el lugar y el control de la emergencia, es directamente proporcional al número de vidas que pueden salvar. De ahí la importancia de contar con la información a tiempo y donde la tecnología de las telecomunicaciones entra a jugar su papel más importante.

En las últimas décadas se han desarrollado innumerables aplicaciones para resolver este problema. Las redes de comunicaciones celulares, las redes inalámbricas, las redes satelitales, las redes cableadas, etc., todas en su mayoría fueron creadas para suplir las necesidades de comunicación en tiempo real de los individuos o personas, e indudablemente cumplieron su trabajo.

En este escenario, imaginemos ¿qué pasaba cuando una persona era la que comunicaba el incendio? En su estado de alteración, mientras se tranquilizaba para dar la información se perdían segundos valiosos, o en otros casos, la tan anunciada emergencia, era sólo una falsa alarma. Surgió entonces idea de utilizar sensores para monitorear ciertas variables críticas, ¿pero cómo mantener interconectados estos sensores por medio de las redes hasta ahora conocidas?

No fue difícil determinar que los protocolos hasta ahora desarrollados no estaban preparados para atender los requerimientos de una comunicación autónoma entre máquinas, ya que su diseño sólo había contemplado una comunicación persona-persona, por lo tanto fue necesario emprender innumerables estudios sobre las redes de sensores que arrojaron como resultado el desarrollo de un nuevo estándar conocido como “ZigBee”.

Internacionalmente existe un gran interés por la investigación en el área de las redes de sensores. Esto ha impulsado el desarrollo de varios estándares, con el fin de asegurar la

interoperabilidad de los dispositivos entre fabricantes, uno de estos estándares se conoce como ZigBee.

A nivel nacional, por ser un estándar relativamente nuevo, existe un desconocimiento sobre el estándar ZigBee y sus múltiples usos, enfocados a la industria, la academia, la medicina, la automatización y la domótica. En nuestro país existe un gran número de empresas desarrolladoras de aplicaciones OEM (Original Equipment Manufacturer), que por medio de esta tecnología tendrían la posibilidad de repotenciar sus actuales soluciones y desarrollar otras nuevas o mejores.

Pero, ¿Cómo crear interés en el desarrollo de aplicaciones basadas en esta tecnología?

Es un buen momento para que los actuales y nuevos ingenieros conozcan esta tecnología, sus enormes ventajas y limitaciones, su sinnúmero de aplicaciones y su perspectiva para el futuro. Hasta el momento, no existen herramientas que desde la formación académica motiven y permitan el acceso del ingeniero a la utilización de una tecnología de punta como “ZigBee”, desarrollando habilidades que al enfrentarse al mercado laboral o empresarial, le permitan la implementación de aplicaciones que puedan competir internacionalmente.

OBJETIVOS

- **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar una interfaz que permita dar a conocer la tecnología ZigBee a nivel académico, explorando sus ventajas, limitaciones y posibles aplicaciones.

- **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar un marco de referencia teórico que exponga claramente el funcionamiento de la tecnología ZigBee, su estado de desarrollo actual y las perspectivas para el futuro.
- Construir una tabla comparativa de la tecnología ZigBee frente a otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth, que incluya parámetros como tasa de transferencia, alcance, consumo de potencia, número de nodos soportados, complejidad de su implementación
- Proponer diferentes campos de aplicación de la tecnología ZigBee.
- Valorar los módulos ZigBee y herramientas de desarrollo existentes en el mercado y seleccionar el más adecuado para el desarrollo del proyecto.
- Diseñar e implementar una interfaz gráfica didáctica que permita configurar y controlar una red ZigBee real y de parámetros básicos, que pueda extenderse a múltiples aplicaciones y le permita al usuario explorar las ventajas, limitaciones y aplicaciones de esta nueva tecnología.

CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE DE LA TECNOLOGIA ZIGBEE

1.1 Cronología de la tecnología ZigBee [14]

- **1998:** En este año se conciben las redes de la familia ZigBee al identificarse falencias de otras tecnologías como Wi-Fi y Bluetooth para ciertos tipos de aplicaciones inalámbricas de baja tasa de transferencia y bajo consumo de potencia.
- **2003:** Se aprobó el estándar IEEE 802.15.4¹, estándar en el que se basa la especificación ZigBee. Además, en este mismo año se creó ZigBee Alliance²
- **2004:** ZigBee Alliance anunció una duplicación en su número de miembros en el último año a más de 100 compañías en 22 países. En este mismo año, el 14 de diciembre la especificación ZigBee, basada en el estándar IEEE 802.15.4 se aprobó.
- **2005:** El 13 de junio de éste año publicó la especificación ZigBee.
- **2006:** Se realizó y publicó la primera revisión de la especificación.
- **2007:** En noviembre de éste año se publicó el perfil HOME AUTOMATION³ de la especificación.
- **2008:** En mayo de éste año se publico el perfil SMART ENERGY⁴ de la especificación.

Como es evidente, la tecnología ZigBee es sumamente reciente, sin embargo con sólo 10 años en el mercado, ha logrado desarrollarse y posicionarse muy rápidamente debido principalmente a la gran cantidad de aplicaciones que promete.

¹ Estándar que define la capa física y la capa de control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal (WPAN)

² Entidad conformada por las principales empresas fabricantes de dispositivos ZigBee, que tiene como misión estandarizar y fomentar su utilización

³ El perfil Home Automation de la especificación ZigBee está orientado al campo de la automatización de hogares, mejor conocido como "Domótica"

⁴ El perfil Smart Energy de la especificación ZigBee está orientado a aplicaciones que requieren bajo consumo de potencia e incluye estrategias especiales para explotar al máximo esta característica

1.2 ZigBee y el Estándar IEEE 802.15.4

La Alianza ZigBee es una asociación de empresas que trabajan en conjunto para desarrollar los productos y normas para la conexión de redes inalámbricas fiables, rentables y de baja potencia [14]. La tecnología ZigBee se esta incrustando en una amplia gama de productos y aplicaciones a través de los consumidores industriales, comerciales y gubernamentales en los mercados de todo el mundo. ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4 que define las capas física y MAC para PAN (Personal Área Network)⁵ de bajo costo y baja tasa de transmisión. ZigBee define las especificaciones de la capa de red para las topologías de red (estrella, árbol y punto a punto), proporciona además un marco de referencia para la programación en la capa de aplicaciones.

La [Figura 1.1] muestra claramente cómo la especificación ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4, que define la capa física (PHY) y de acceso al medio (MAC). En la especificación ZigBee, en color naranja [Figura 1.1], se definen la capa de red y la capa de aplicación, que son la base de diversos perfiles de aplicación, en color amarillo [Figura 1.1], como por ejemplo el perfil Home Automation y el perfil Smart Energy.

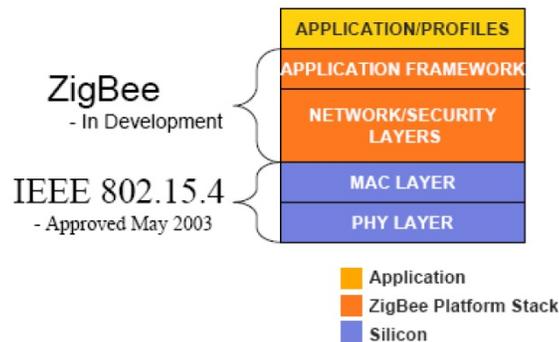


Figura 1.1 Estructura de capas del estándar IEEE 802.15.4 y la especificación ZigBee. (Fuente: [14])

A continuación se tratarán con más detalle el estándar IEEE 802.15.4 y la especificación ZigBee.

5 Personal Área Network: Redes de Área Personal.

1.2.1 Estándar IEEE 802.15.4

El estándar IEEE 802.15.4 define las características de la capa física y MAC de las LR-WPAN (Low-Rate Wireless Personal Área Networks)⁶. Las ventajas de una LR-WPAN son la facilidad de instalación, transferencia confiable de datos, operación de corto alcance, muy bajo costo, y una razonable duración de la batería, manteniendo al mismo tiempo una lista de protocolos simple y flexible.

1.2.1.1 Capa Física [8]

La capa física soporta tres bandas de frecuencias: una banda de 2450 MHz (16 canales), de 915 MHz (con 10 canales) y de 868 MHz (1 canal), todas ellas usan el modo de acceso DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)⁷. La banda de 2450 MHz emplea la modulación O-QPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying)⁸ mientras que para la banda de 868/915 Mhz aplica la modulación BPSK (Binary Phase Shift Keying)⁹. La Tabla 1.1 resume las principales características de las tres bandas. Además, la capa física soporta funcionalidades para cada canal, estimación de la relación de calidad, medición de detección de energía y evaluación del canal.

	BANDAS DE FRECUENCIA		
CARACTERISTICAS	2450 MHz	915 MHz	868 MHz
Rango de transmisión de datos	250 Kbps	40 Kbps	20 Kbps
Número de Canales	16	10	1
Modulación	O-QPSK	BPSK	BPSK
Bit por símbolo	4	1	1
Periodo del símbolo	16 μ s	24 μ s	49 μ s

Tabla 1.1 Especificaciones capa física (Fuente: Autores)

6 Low-Rate Wireless Personal Área Networks: Redes Inalámbricas de Área Personal de baja velocidad.

7 Direct Sequence Spread Spectrum: Espectro ensanchado por secuencia directa.

8 Offset Quadrature Phase Shift Keying: Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

9 Binary Phase Shift Keying: Modulación por desplazamiento de fase binaria.

1.2.1.2 Capa MAC [8]

La capa MAC define dos tipos de nodos: RFDs (Reduced Function Devices)¹⁰ y FFDs (Full Function Devices)¹¹. Los FFDs están equipados de un completo conjunto de funciones de la capa MAC, lo que les permite actuar como un coordinador de red o un dispositivo final de red. Cuando actúa como un coordinador de red, los FFDs envían beacons¹² que proporcionan la sincronización, comunicación y los servicios de unión de red. Los RFDs sólo actúan como dispositivos finales y están equipados con sensores/actuadores como los transductores, interruptores de luz, lámparas, etc. Ellos sólo podrán interactuar con un único FFD. En IEEE 802.15.4 se consideran dos principales topologías de red, la topología estrella y topología punto a punto (Ver Figura 1.2). En la topología estrella, se adopta un modelo de red maestro-esclavo. Un FFD toma el papel de coordinador PAN; los demás nodos pueden ser RFDs o FFDs y sólo se comunican con el coordinador PAN. En la topología punto a punto, un FFD puede comunicarse a otros FFDs dentro de un radio determinado y pueden retransmitir mensajes a otros FFDs fuera de su radio de cobertura a través de un FFD intermediario, formando una red de múltiples saltos. Un coordinador PAN es seleccionado para administrar el funcionamiento de la red.

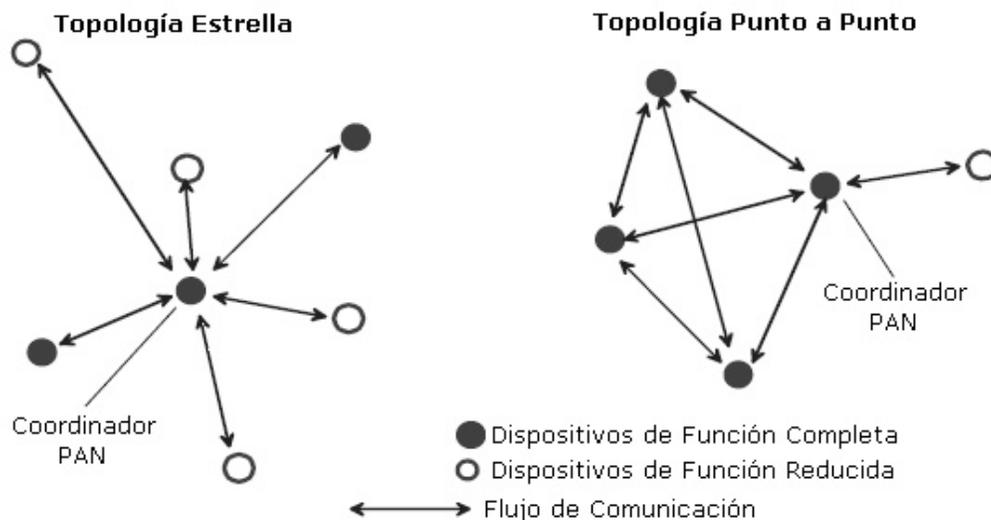


Figura 1.2 Ejemplos de Topología Estrella y Punto a Punto (Fuente: Autores)

10 Reduced Function Devices: Dispositivos de Función Reducida.

11 Full Function Devices: Dispositivos de Función Completa.

12 Beacon: Señal de guía

El coordinador PAN puede opera su PAN con un superframe o sin él. En el primer caso se inicia el superframe con un beacon que actúa para los efectos de sincronización y describir la estructura del superframe además de, enviar la información de control para el PAN. El superframe (Ver Figura 1.3) es dividido en una parte activa y una parte inactiva (donde el coordinador PAN puede dormir y ahorrar energía). La parte activa se divide en slots de tiempo de tamaño fijo y contiene un CAP (Contention Access Period)¹³, donde los nodos compiten por acceder al canal utilizando el protocolo CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)¹⁴ y un CFP (Contention Free Period)¹⁵, donde los nodos transmiten sin contendientes al canal en GTS (Guaranteed Time Slots)¹⁶ asignado y administrado por el coordinador PAN. Cuando un dispositivo final necesita enviar datos a un coordinador (no GTS) debe esperar por el beacon para sincronizar y luego competir por acceder al canal. Por otra parte, la comunicación de un coordinador a un dispositivo final es indirecta. El coordinador almacena el mensaje y anuncia la espera de entrega en el beacon. El dispositivo final generalmente duerme la mayoría del tiempo y despierta periódicamente a la espera del beacon para ver si tienen que recibir mensajes del coordinador. Cuando notan que el mensaje está disponible, lo piden explícitamente durante el CAP. Cuando un coordinador desea hablar a otro coordinador se sincroniza con su beacon y actúa como un dispositivo final.

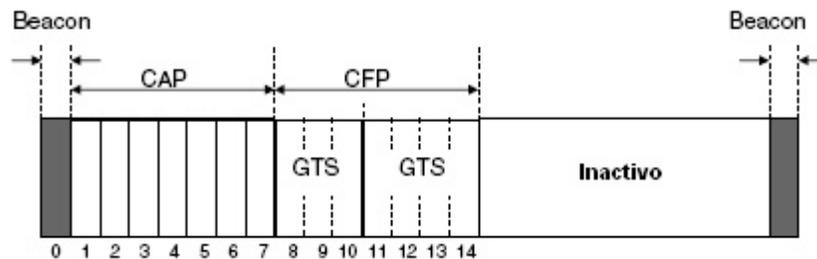


Figura 1.3. Superframe MAC (Fuente: Autores)

La otra opción para la comunicación PAN es realizarla sin un superframe. El coordinador PAN nunca envía beacons y la comunicación ocurre a base de un CSMA-CA sin Slots. El coordinador esta siempre listo para recibir datos de un dispositivo final, mientras que la transferencia de datos en la dirección contraria está basado en una encuesta: el dispositivo de final se despierta periódicamente y sondea al coordinador para los mensajes pendientes. El coordinador luego envía estos mensajes o señales de que ninguno está disponible. La comunicación coordinador a coordinador no tiene problema alguno ya que ambos nodos están activos todo el tiempo.

13 Contention Access Period: Periodo de acceso por contención

14 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance: Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evasión de Colisiones.

15 Contention Free Period: Período de contención libre.

16 Guaranteed Time Slots: Slots de Tiempo de Garantía

Además de la transferencia de datos, la capa MAC ofrece exploración del canal y funcionalidades de asociación/disociación. El procedimiento de exploración implica la exploración de varios canales lógicos mediante el envío de un mensaje de solicitud beacon y escuchando (exploración activa, para FFDs) o simplemente escuchar (exploración pasiva de, para RFDs) para beacons con el fin de localizar las PANS existentes y coordinadores. Las capas superiores deciden a que PAN unirse y posteriormente solicitan a la capa MAC iniciar un procedimiento de asociación para la PAN seleccionada. Esto implica el envío de una solicitud a un coordinador y esperar el correspondiente mensaje de aceptación. Si se acepta dentro de la PAN, el nodo recibe una dirección "corta" de 16-bit que se puede utilizar más adelante en lugar de la de dirección "extendida" IEEE de 64 bits.

1.2.1.2.1 Estructura de las Tramas MAC [8]

El formato general de las tramas MAC se diseñó para ser muy flexible y que se ajustara a las necesidades de las diferentes aplicaciones con diversas topologías de red, al mismo tiempo que se mantenía un protocolo simple.

- **Data Frame:** usado para todas las transferencias de datos.
- **Acknowledgment Frame:** usado para confirma la recepción exitosa de la trama.
- **MAC Command Frame:** usado para manejar todo el control de entidad MAC.
- **Beacon Frame:** usado por un Coordinador para transmitir "beacons"

1.2.1.2.1.1 Estructura Data Frame [8]

La trama general de MAC se la denomina PPDU (Phy Protocol Data Unit), Capa Física de la Unidad de Datos del Protocolo MAC (Ver Fig. 1.4). La trama empieza con un encabezado de sincronización (SHR, Synchronization Header), seguido de un encabezado de capa física para indicar la longitud del paquete (PHR, Phy Header), y seguidamente la capa física de la unidad de servicio de datos (PSDU, Phy Service Data Unit, PSDU).

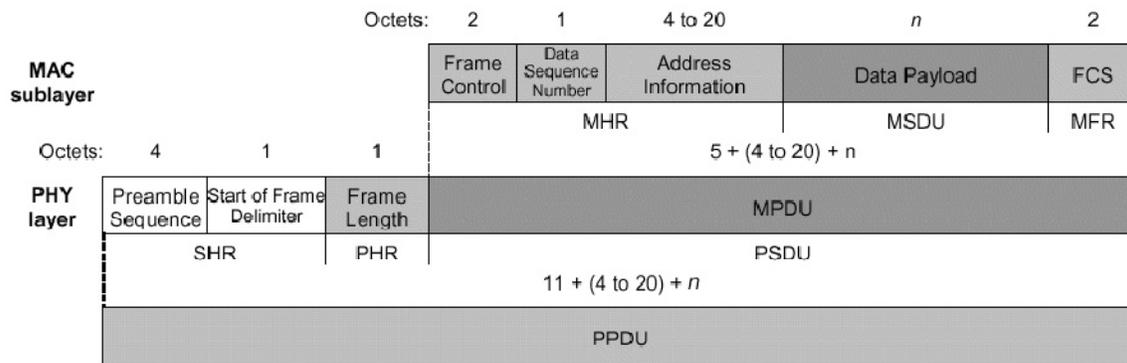


Figura 1.4. Estructura Data Frame MAC (Fuente: [7])

Dentro del encabezado de la capa física, se utilizan 7 bits para especificar la longitud de la carga de datos (en bytes). La longitud de paquetes va de 0 a 127 bytes. El tamaño típico de los paquetes para la mayoría de las aplicaciones domésticas, tales como el monitoreo y control de dispositivos de seguridad, iluminación, aire acondicionado, y otras aplicaciones va de 30 a 60 bytes, mientras que las aplicaciones como juegos interactivos y periféricos de PC, requerirán paquetes más largos. La duración máxima de paquetes es de 4.25 ms para la banda de 2.4 GHz, y de 26.6 ms para la banda de 915 MHz, y de 53.2 ms para la banda de 868 MHz.

La trama de Unidad de Datos del Protocolo MAC (MPDU, MAC Protocol Data Unit), se compone del encabezado MAC (MHR, MAC Header), Unidad de Servicio de Datos MAC (MSDU, MAC Service Data Unit) y termina con el chequeo de la trama (MFR Mac Footer). El primer campo de la trama de encabezado MHR es el campo de control, denominado Frame Control.

Frame Control, indica el tipo de trama MAC que se pretende transmitir, especifica el formato, el campo de dirección y controla los mensajes “ACK” (de enterado). En pocas palabras, la trama de control (Frame Control) especifica como es el resto de la trama de datos y que es lo que contiene.

Data Sequence Number, verifica la integridad de la trama MAC. Es una secuencia de números, al igual que tramas FCS. La secuencia de números en los encabezados enlaza a las tramas de acknowledgment con transmisiones anteriores. Una transmisión se considera exitosa solo cuando la trama de enterado (ACK) contiene la misma secuencia

de números que la secuencia anterior transmitida. Las tramas FCS ayudan a verificar la integridad de las tramas del MAC.

Address information, el tamaño de las direcciones puede variar entre 0 y 20 bytes. Por ejemplo, una trama de datos puede contener información de la fuente y del destinatario, mientras que la trama “ACK” (de enterado) no contiene ninguna información de ninguna dirección. Por otro lado una trama de guía solo tiene información de la dirección de la fuente. Esta flexibilidad en la estructura ayuda a incrementar la eficiencia del protocolo al mantener los paquetes lo más reducidos posibles.

Payload, es de longitud variable; sin embargo, la trama completa de MAC no debe de exceder los 127 bytes de información. Los datos que lleva “Payload” dependen del tipo de trama. El estándar IEEE 802.15.4 tiene cuatro diferentes tipos de tramas MAC: trama de guía, trama de datos, tramas “ACK” y trama de comandos. Solo las tramas de datos y de guía contienen información que proviene de capas superiores; las tramas de mensajes “ACK” y la de comandos MAC originados en el MAC son usadas para las comunicaciones MAC Punto a Punto.

FCS (Frame Check Sequency), es una trama de chequeo de 16 bits CRC (Cyclic redundancy Chech)

1.2.1.2.1.2 Estructura Acknowledgment Frame (ACK) [8]

La trama ACK (Ver Fig. 1.5) proporciona el intercambio de información activa desde el receptor al emisor de que el paquete fue recibido sin error. Este corto paquete aprovecha el tiempo de silencio (quiet time), especificado por la norma, inmediatamente después de la transmisión del paquete de datos.

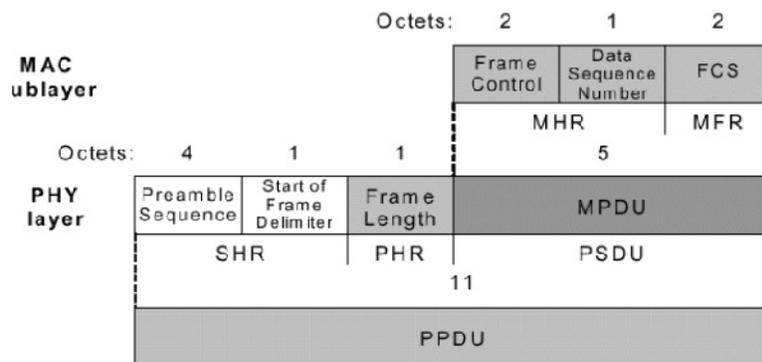


Figura 1.5. Formato ACK (Fuente: [7])

1.2.1.2.1.3 Estructura MAC Command Frame (Trama de Comandos Mac)

La trama de Comandos MAC (Ver Figura 1.6) es un mecanismo para el control o configuración a distancia de los dispositivos de los nodos. Permite que un director de la red centralizado, pueda configurar a los dispositivos individualmente sin importar lo grande que sea la red.

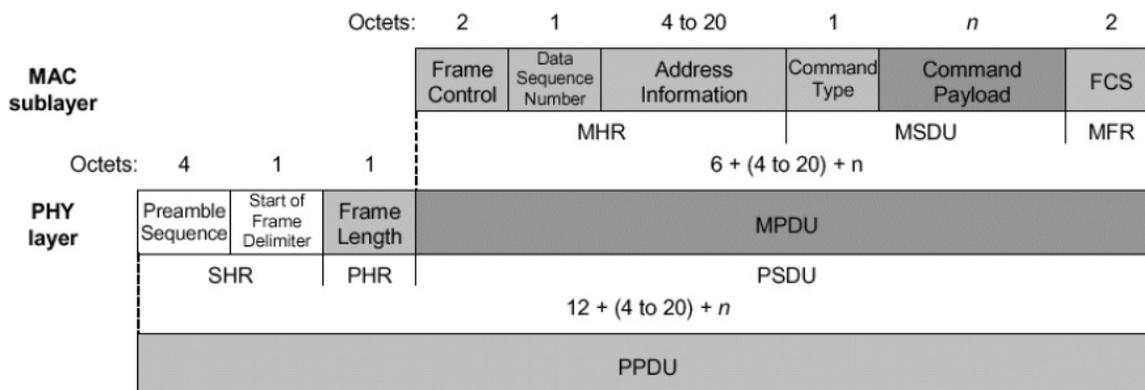


Figura 1.6. Formato Mac Command Frame (Fuente: [7])

En la estructura se puede ver que solo se añade el campo "Command Type" a la estructura de trama de Datos.

1.2.1.2.1.4 Estructura Beacon Frame

La trama Beacon (Ver Figura 1.7) añade un nuevo nivel de funcionalidad de la Red. Los dispositivos de los nodos pueden despertarse solamente cuando es transmitida una señal de guía o “beacon”, escuchar su dirección y si no la escucha volver al estado dormido, con el consecuente ahorro de energía. Las tramas Beacon son importantes en las redes “malla” y “árbol” para mantener todos los nodos sincronizados sin requerir que los nodos consuman energía de la batería, escuchando durante largos periodos de tiempo.

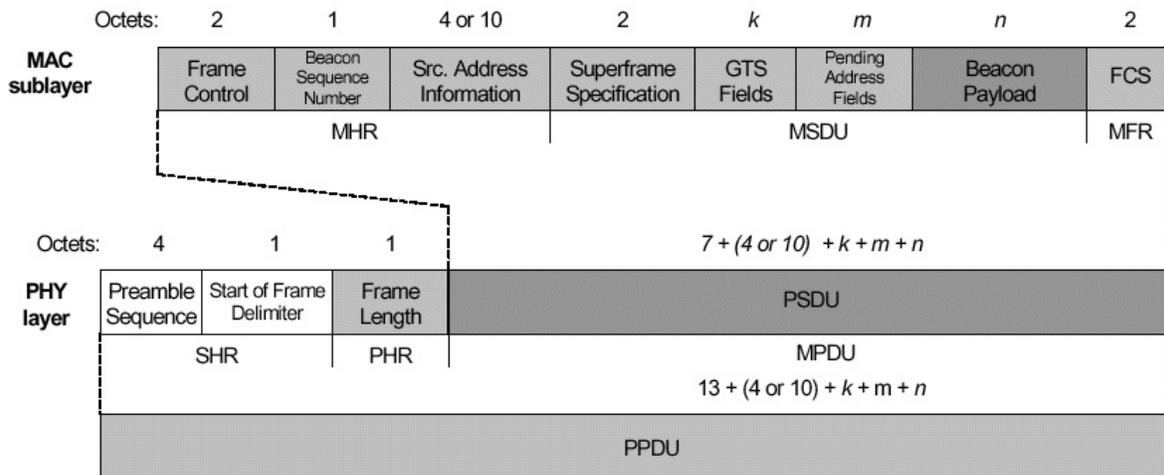


Figura 1.7. Formato Mac Command Frame (Fuente: [7])

1.3. El Estándar ZigBee [14]

ZigBee estandariza las capas superiores de la pila de protocolos. La NWK (Network Layer)¹⁷ se encarga de la organización y proveer el direccionamiento en una red de múltiples saltos (desarrollado en la parte superior de las funcionalidades de IEEE 802.15.4), la APL (Application Layer)¹⁸ tiene la intención de proporcionar un Framework para distribuir el desarrollo de aplicaciones y comunicación. El APL comprende el Application Framework, los ZDO (ZigBee Device Objects)¹⁹, y la APS (Application Sub Layer)²⁰. El Application Framework pueden tener hasta 240 Objetos de Aplicación, es decir, módulos de aplicación definidos por el usuario que forman parte de una aplicación ZigBee. El ZDO provee servicios que permiten a los APO (Applications Objects)²¹

17 Network Layer: Capa de Red

18 Application Layer: Capa de Aplicación.

19 ZigBee Device Objects: Objetos de Dispositivos ZigBee

20 Application Sub Layer: Sub Capa de Aplicación

21 Applications Objects: Objetos de Aplicación

descubrirse entre sí con otros y de organizarse dentro de una aplicación distribuida. La APS ofrece una interfaz a los datos y servicios de seguridad a los APOs y ZDO. Una visión general de la pila de protocolos ZigBee se muestra en la Figura 1.8.

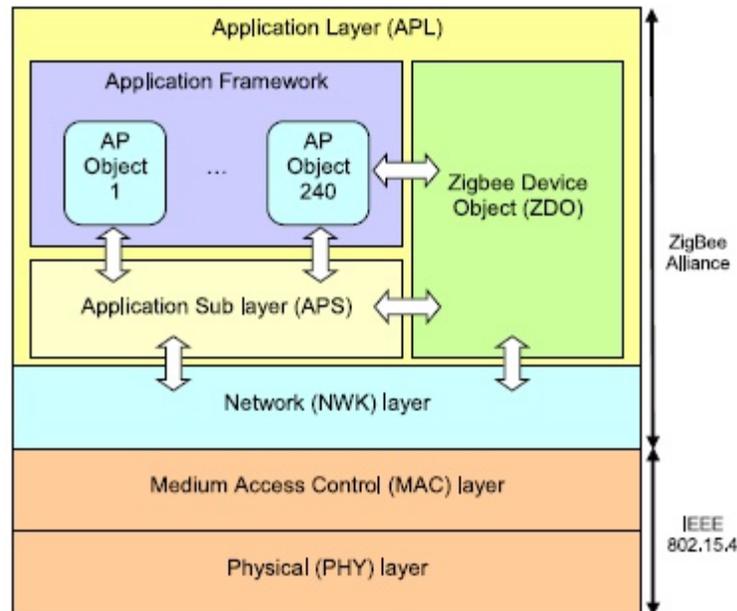


Figura 1.8. Arquitectura de la capa funcional ZigBee y pila de protocolos. (Fuente: [8])

1.3.1 Capa de Red

ZigBee identifica tres tipos de dispositivo. Un *end-device*²² ZigBee que corresponde a un IEEE RFD o FFD actuando como un dispositivo simple. Un *Router* ZigBee es un FFD con las capacidades de direccionamiento. El *coordinador* ZigBee (uno en la red) es un FFD administrando la red completa. Además de la topología estrella (que mapea la topología correspondiente en IEEE 802.15.4 naturalmente), la capa de red ZigBee también soporta topología más complicadas como el árbol y malla. La Figura 1.9 indica ejemplos de estas topologías. Entre las funciones que provee la capa de red están el del direccionamiento de múltiples saltos, el descubrimiento y mantenimiento de ruta, seguridad y asociación/disociación de una red, con la consiguiente asignación de dirección corta (16-bits) a dispositivos recién unidos.

²² End-device: Dispositivo final.

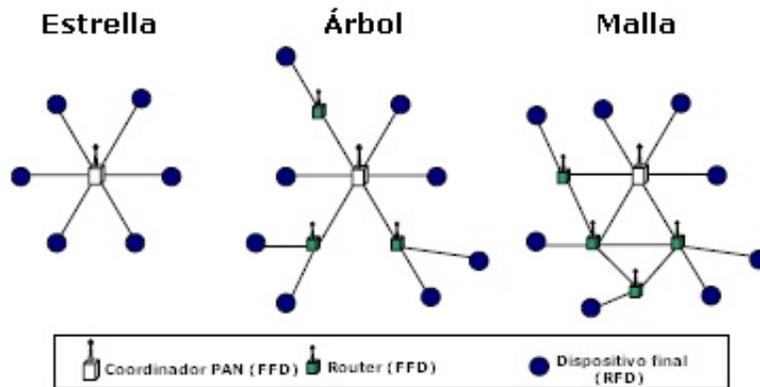


Figura.1.9. Topologías de red en ZigBee. (Fuente: Autores)

1.3.2. Capa de aplicación

Una aplicación ZigBee consta de un conjunto de APOs repartidos en varios nodos de la red. Un APO es una pieza de software (de un desarrollador de aplicaciones) que controla una unidad de hardware (transductor, switch, lámpara), disponible en el dispositivo. Cada APO es asignado un número local único que otros APOs pueden utilizar como una extensión a la dirección del dispositivo de red para interactuar con ella. Los ZDO es un especial objeto que ofrece servicios a los APOs: les permite descubrir los dispositivos en la red y los servicios que utilizan. También proporciona comunicación, gestión y seguridad la red de servicios. La APS proporciona servicios de transferencia datos a los APOs y los ZDO. La Figura 1.8 ilustra los diversos componentes en la capa de aplicaciones.

Una aplicación ZigBee debe ajustarse a un perfil de aplicación existente aceptada previamente por la alianza. Un perfil de aplicación define los formatos del mensaje y protocolos para interactuar entre APOs que colectivamente constituyen una aplicación distribuida. El perfil de aplicación del Framework permite a diferentes desarrolladores construir y vender dispositivos ZigBee que pueden interactuar unos con otros en un perfil de aplicación determinado. Cada APO encapsula un conjunto atributos (entidades de datos que representan estado interno, etcétera.) y provee funcionalidades (servicios) para poner / recuperar valores de estos atributos o estar notificado cuando cambia un valor de atributo. En el contexto de un perfil, un grupo de atributos relacionados que se denomina

"clúster" e identificado con un id numérico. Típicamente un clúster representa un tipo de interfaz (o parte de él) del APO a otros APOs.

1.4. Seguridad en ZigBee

Los servicios de seguridad proveídos para ZigBee incluyen los métodos para establecer claves, clave de transporte, protección del frame, y administración de dispositivos. La alianza ZigBee describe las funcionalidades de seguridad sobre la base de un modelo de confianza abierto para un dispositivo donde por las diferentes capas de comunicación y todas las aplicaciones funcionan un simple dispositivo de confianza cada uno.

Las especificaciones ZigBee proveen los diferentes medios para lograr los siguientes requisitos de seguridad:

- *Refresco*: Los dispositivos ZigBee mantienen actualizados contadores de refresco entrante y saliente para mantener la frescura de datos. Estos contadores se restablecen cada vez que una nueva clave es creada. Los dispositivos que se comunican una vez por segundo no desbordarán sus contadores de frescura durante 136 años.
- *Integridad del Mensaje*: Las especificaciones ZigBee proveen opciones de integración de datos de 0, 32, 64 o 128 bit para la transmisión de mensajes. La integridad por defecto es de 64 bit.
- *Autenticación*: la autenticación de nivel de red se logra mediante el uso de una clave de red común. Esto evita ataques desde fuera, mientras la adición es de muy poco costo de memoria. El nivel de autenticación del dispositivo se logra usando claves únicas de comunicación entre pares de dispositivos. Esto previene los ataques internos y externos pero tiene un alto costo de memoria.
- *Encriptación*: ZigBee usa encriptación AES de 128 bits. La protección de encriptación es posible en la capa de red o nivel de dispositivo. El nivel de la encriptación de red es conseguido usando una clave de red común. El nivel encriptación del dispositivo es logrado usando un enlace de claves únicas entre el par de dispositivos. Como algunas aplicaciones no necesita encriptación, la encriptación puede ser apagada sin afectar la frescura, la integridad, o la autenticación.

La arquitectura ZigBee incluye mecanismos de seguridad en las capas MAC, NWK y APS de la pila de protocolos. Además, la sub capa APS proporciona servicios para el establecimiento y mantenimiento de relaciones de seguridad.

Los ZDO (ZigBee Device Object)²³ gestionan las políticas seguridad y la configuración de seguridad de un dispositivo.

1.5. ZigBee vs otras tecnologías [15]

Existen muchas opciones inalámbricas disponibles para los diseñadores. Compararemos ZigBee con algunos de los más populares estándares que comparten la banda no licenciada de 2,4 GHz. Los parámetros que se enumeran en la tabla 2 incluyen el estándar MAC, máxima velocidad de transmisión de datos en el aire, corrientes típicas de transmisión y modo en espera, requerimientos de memoria para un dispositivo típico, aplicaciones específicas y opciones de red.

Bluetooth es un popular estándar utilizado para sustituir el alambre en aplicaciones. También se basa en un estándar PAN IEEE 802.15.1., Bluetooth opera con 1 Mbps de velocidad de transmisión de datos. Se tiene en cuenta que Bluetooth y ZigBee tienen corrientes similares de transmisión, pero ZigBee tiene en modo de espera una corriente significativamente baja. Esto se debe a que los dispositivos en redes Bluetooth se tienen que reportar frecuentemente dentro de la red para mantener la sincronización, por lo que no es fácil entrar a un modo de "reposo".

Wi-Fi es un estándar LAN inalámbrico, que requiere la actividad casi continua de los dispositivos en la red. La ventaja de este estándar es la enorme cantidad de datos que pueden moverse de punto a multi-punto. Las corrientes de transmisión además del modo en espera son altas. El hardware Wi-Fi está diseñado para no funcionar sin una importante fuente de energía.

23 ZigBee Device Objects: Objetos de Dispositivos ZigBee.

Se observa que, de los tres estándares inalámbricos, ZigBee es la única que ofrece la flexibilidad de la creación de redes en malla.

También se observa los reducidos requerimientos de memoria. Las aplicaciones ZigBee suelen ser simples. El poder está en la conexión de red y el hecho de que los dispositivos finales de ZigBee pueden "dormir" mientras mantienen la relación con la red.

Uno de los puntos clave de la Tabla 1.2 es mostrar que los estándares inalámbricos se construyen entorno a los llamados "modelos de uso" o "Aplicaciones". Ningún estándar cubre los requerimientos de todos los modelos de uso. Los diseñadores deben escoger el estándar que más se ajuste a los requisitos de las aplicaciones.

Característica	Wi-Fi (WLAN)	Bluetooth (WLAN/WPAN)	ZigBee (WPAN)
Estándar	802.11	802.15.1	802.15.4
Complejidad	Muy complejo	Complejo	Simple
Batería	Horas	Días	Años
Memoria	100+KB	100+KB	32-60 KB
Nodos	32	7	>65000
Tasa	Hasta 54Mbps	1Mbps	250 Kbps
Rango	100 m	10 m	70m-1500m
Seguridad	Autenticación	64, 128 bit	128 bit AES
Corriente de Tx	400 mA	40 mA	35 mA
Standby	20 mA	200 uA	3 uA
Topología	Punto a multipunto	Punto a multipunto	Mesh networks
Aplicaciones	Sensores, iluminación, periféricos	Audio, reemplazo del cable	Access points hogar- empresa

Tabla 1.2. Características tecnologías inalámbricas (Fuente: Autores)

1.5.1 ZigBee vs Bluetooth [15]

Examinando la comparación de los dos estándares más cercanos, ambos estándares están en la categoría de red de área personal. Como se observó anteriormente ambos tienen radios similares, pero no lo son en corrientes de transmisión. La diferencia entre los dos estándares está en su campo de aplicación.

Bluetooth apunta a una transferencia media de datos y servicio ininterrumpido, como transferencia de archivos y transmisión de audio en telecomunicaciones.

ZigBee por otro lado, apunta a baja transferencia de datos y ciclos de aplicaciones bajos. Los dispositivos finales no transmiten o reciben tan frecuentemente en este tipo de aplicaciones, y permiten una duración de la batería excepcional.

Por ejemplo, si un sensor transmite una vez durante un minuto para informar sobre su estado y esto 10 veces al día, cuando hay un evento tal como abrir una puerta. En este caso con un dispositivo Bluetooth duraría 100 días y con un dispositivo ZigBee duraría 9.8 años, sobrepasando el tiempo de caducidad de la batería. Evidentemente, ZigBee es una mejor opción para este tipo de aplicación controlada por eventos.

Veamos dos ejemplos de la vida de la batería, un ciclo de trabajo alto y uno bajo, donde se demuestra la amplia duración de la batería. Este escenario de análisis se basa en los datos publicados por un típico Radio Bluetooth y una solución ZigBee Freescale.

En el primer ejemplo, transmitiremos 5 bytes de de datos una vez cada 1,28 segundos. En este escenario, asumiendo una batería de 200 miliamperios hora, un dispositivo Bluetooth tendrá una duración de 15 días. Un equivalente dispositivo ZigBee tendrá una duración de aproximadamente 33 días.

En el segundo ejemplo, tenemos escenario de un evento de un sistema de sensores de seguridad. El sensor transmite una vez por minuto para reportar su estatus y otras 10 veces al día cuando hay algún tipo de evento como es la apertura de una puerta. En este caso, el Dispositivo Bluetooth tendrá una duración de 100 días. El dispositivo ZigBee

durara 9,8 años, superior a la vida útil de la batería Es evidente que ZigBee es una mejor opción para tal evento de aplicación.

Ejemplo 1 Ciclo de trabajo alto

- 5 bytes de transmisión de datos en intervalos de 1.28 segundos
- Asumiendo la disponibilidad de capacidad de la batería de 200 mAh
- Tiempo de vida de la batería con **Bluetooth: 15 días**
- Tiempo de vida de la batería con **Freescale ZigBee: 33 días**

Ejemplo 2 Evento de aplicaciones (Escenario de un sistema de seguridad)

- El coordinador de la red está prendido todo el tiempo (sin batería de poder)
- Sensor transmitiendo cada 60 segundos + 10 eventos por día
- Basado en baterías 2 AA
- Tiempo de vida de la batería en Bluetooth: 100 días
- Tiempo de vida de batería en Freescale ZigBee: 3559 días o 9.8 años.

Tabla 1.3. Comparación entre Bluetooth y ZigBee (Fuente: [7])

1.5.2 Rendimiento en la banda de 2,4 GHz

Otro punto para analizar es el rendimiento en la banda de 2,4 GHz ZigBee, como está definido en las especificaciones IEEE 802.15.4, usa la codificación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), y la modulación O-QPSK.

La Figura 1.10 muestra el rendimiento Bit Error Rate (BER) de varias tecnologías radio frente a la relación señal a ruido (SNR).

El rendimiento BER de Bluetooth, con su modulación FSK es señalado con la línea azul.

ZigBee, es mostrado por la línea verde con su DSSS y modulación O-QPSK.

2.4 GHz PHY Performance

802.11b, 802.15.x BER Comparison

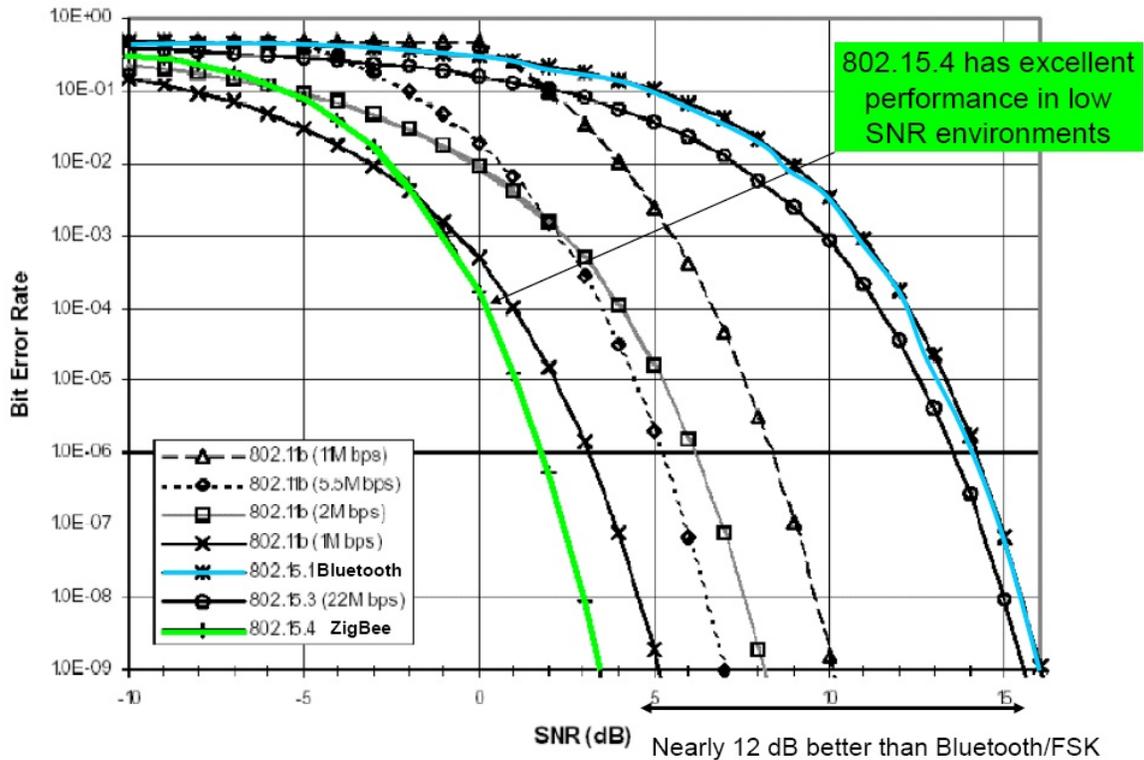


Figura 1.10. Rendimiento en la banda de 2,4 GHz (Fuente: [7])

Se observa que el BER de ZigBee es 12 dB mejor que el BER del Bluetooth que puede obtener en una proporción de relación señal a ruido. Esto traduce directamente al rango, con ZigBee dando 3 a 5 veces el rango para la misma potencia de salida. Ésta es otra manera en que el ZigBee ahorra la vida de batería.

1.6 Aplicaciones de las redes ZigBee

Las redes ZigBee son una de las tecnologías más versátiles hoy en día, se pueden utilizar en una gran variedad de aplicaciones en diferentes áreas (Figura 1.11).

- **Agricultura:**

Las redes ZigBee permiten de forma económica crear una gran cantidad de microestaciones meteorológicas, las cuales pueden cubrir áreas extremadamente

amplias, reportando en forma permanente y en tiempo real las condiciones de humedad, temperatura, luminosidad, entre otros. Esta información es recogida en un ordenador central para su análisis permitiendo adecuar el riego a las necesidades reales del cultivo, también para tomar acciones correctivas en caso de heladas, inundaciones, incendios, etc.

Además el almacenamiento de esta información permite crear perfiles estadísticos del comportamiento del cultivo-terreno-factores meteorológicos, los cuales ayudarán a tomar mejores decisiones de cómo manejar las cosechas.

- **Incendios:**

Igual que en las aplicaciones de Agricultura las redes ZigBee se pueden desplegar rápidamente en sitios donde se ha generado un incendio, reportando posibles nuevos conatos de incendio y monitoreando las zonas que ya han sido controladas.

- **Localización:**

Debido a los bajos costos de los dispositivos ZigBee, podemos utilizarlo para la ubicación de Personas y Activos en áreas de oficina, bodegas, Hospitales, entre otros.

- **Inventarios:**

Adjuntando el dispositivo a las cajas dentro de la bodega, podremos saber su ubicación y además almacenar la información del contenido de la caja o unidad de empaque, de tal forma que para conocer el inventario real de la bodega, sería necesaria simplemente una orden desde el computador para que cada nodo reporte su contenido.

- **Hospitales:**

El acondicionamiento de ZigBee a dispositivos de monitoreo de pacientes, permite continuar con la toma de datos, aún cuando el paciente se movilice dentro del área de cobertura de la red ZigBee.

- **Control Industrial:**

En la industria es indispensable el control de los procesos para garantizar la calidad del producto final. Ahora con la necesidad de mantener los estándares internacionales para la certificación ISO, es necesario poder medir y controlar en forma continua todas las

variables de producción. Con la tecnología ZigBee, es muy fácil y económico medir y controlar la mayor parte de los procesos industriales.

- **Equipos de Medición:**

Hoy en día la mayoría de los equipos de medición cuentan con salida serial o USB, sin embargo es costoso llevar estas señales a través de varios metros, aún más en zonas industriales.

Con la tecnología ZigBee podemos crear redes para direccionar los datos de sus equipos en doble vía, así en un solo servidor podrá tener hasta 64 equipos de medición.



Figura 1.11. Aplicaciones ZigBee (Fuente: [10])

CAPITULO II. MODULOS ZIGBEE

En este capítulo se consignó el proceso de selección de los módulos utilizados en la Interfaz Educativa ZigBee. Se realizó una comparación entre distintos módulos circuitos integrados ZigBee con el fin de conocer sus ventajas, limitantes y características, compararlos entre sí, y elegir el más adecuado para cumplir con los objetivos para el Diseño de la Interfaz Educativa ZigBee.

2.1 Circuito integrado CC2420 de Chipcon [10]

El CC2420 es un simple chip, compatible con IEEE 802.15.4 y un transmisor/receptor RF ZigBee. Proporciona interoperabilidad, solución flexible de bajo costo para aplicaciones que utilizan la banda de frecuencias no licenciada de 2,4 GHz. La herramienta de desarrollo CC2420 ZigBee es un complemento natural a los kits ya establecidos Chipcon CC2420. CC2420 incluye un modem digital DSSS de espectro ensanchado proporcionando la difusión de una ganancia de 9 dB y una tasa efectiva de datos de 250 Kbps.

2.1.1. Características claves

- Compatible con IEEE 802.15.4 2.4 GHz
- Transmisión de datos efectiva de 250 Kbps
- Bajo consumo de corriente (Recepción: 19.7 mA, Transmisión: 17.4 mA)
- Bajo voltaje de alimentación (2.1 – 3.6 V) con regulador integrado de voltaje
- Bajo voltaje de alimentación (1.6 – 2.0 V) con regulador externo de voltaje
- Potencia de salida programable
- Switch RF interno /
- Buffer de datos de 128(RX) + 128(TX) bytes
- Encriptación de Hardware en capa MAC (AES-128)
- Monitor de consumo de batería
- Cumple con normas ETSI (European Telecommunication Standards Institute)
- Herramientas de desarrollo disponibles pero de costo elevado

2.2. Circuito integrado MC13192 de Freescale [12]

El chip MC13192 es un transmisor/receptor de corto alcance, baja potencia, que trabaja en las bandas ISM²⁴. El MC13192 contiene un modem a nivel de la capa física diseñado para el estándar IEEE 802.15.4 que soporta las redes punto a punto, estrella, y redes malla.

2.2.1 Aplicaciones

- Control remoto y reemplazo de cables en sistemas industriales tales como las redes de sensores
- Automatización de fábricas y control de motores.
- Administración de energía.
- Monitoreo y seguimiento de activos
- Automatización y control de hogares (luces, temperatura, etc.)
- Dispositivos de interfaz humana (Mouse, teclado, etc.)
- Control remoto
- Juguetes inalámbricos

2.2.2 Características

- Soporta O-QPSK a 250kbps en canales a 5.0 MHz y codificación - decodificación FSS compatible con el estándar 802.15.4
- Opera sobre uno de los 16 canales seleccionables en la banda de los 2.4 GHz
- Sensibilidad de <-92 dBm (típico) en 1.0% tasa de error de paquetes
- Máxima potencia de salida de 0 dBm nominal, programable desde -27 dBm a 4 dBm
- Rango recomendable de alimentación: 2.0 a 3.4 V
- Tres modos de alimentación dormida se dan
 - 1 μ A corriente apagado
 - 1 μ A corriente de hibernación
 - 35 μ A corriente de transmisión
- Temperatura de operación: -40 °C a 85 °C

²⁴ Industrial, Scientific and Medical: Bandas libres para aplicaciones industriales, científicas, y médicas. Dentro de estas bandas está la banda de 2.4 GHz

2.2.3 Comunicación

La comunicación con el MCU host se hace de manera serial. Dos pines para transmisión y recepción y dos pines para control de la comunicación [Figura 2.1].

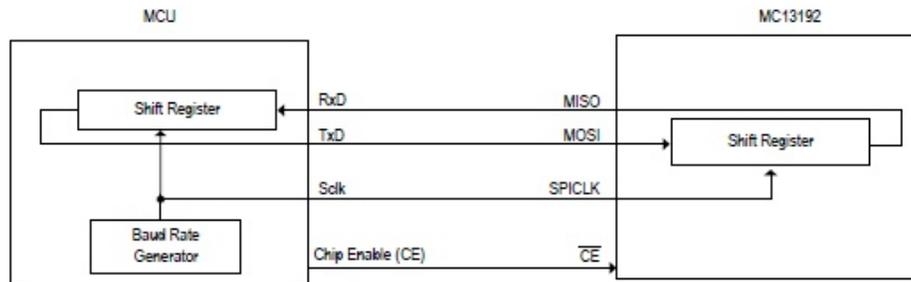


Figura 2.1 Comunicación serial (Fuente: [12])

2.3 Circuito integrado MRF24J40 de Microchip [13]

El MRF24J40 es un transmisor/receptor compatible con IEEE 802.15.4-2003 soportando MiWi²⁵, ZigBee y otros de protocolos propietarios. El MRF24J40 integra RF inalámbrica, capa física y capa MAC que pueden ser combinadas con un simple microprocesador aplicando baja velocidad de datos a una cantidad de aplicaciones que incluyen la automatización del hogar, electrónica de consumo, periféricos para PC, juguetes, automatización industrial y más. El dispositivo MRF24J40 integra un receptor, transmisor, VCO y PLL en un único circuito integrado.

2.3.1 Características

Features	MRF24J40
IEEE 802.15.4™ Specification Compliant	Yes
Integrated Oscillator Drive	20 MHz and 32.768 kHz
Reference Clock Output	20 MHz
Power-Saving Mode Support	Yes
Current Consumption	Typical 18 mA in RX and 22 mA in TX
Sleep Mode	2 μ A Typical
Serial Communications	SPI (4-wire)
Packages	40-Pin Leadless QFN 6x6 mm ²

Tabla 2.1. Características MRF24J40 (Fuente: [13])

²⁵ Versión mejorada del protocolo ZigBee desarrollado por Microchip. Es un protocolo de tipo propietario y utilizado solamente por dispositivos de esta compañía.

2.4 Módulos Xbee – Xbee PRO [11]

Los módulos RF XBee y XBee-PRO [Tabla 2.2] fueron diseñados para cumplir con el estándar IEEE 802.15.4 y las necesidades de las redes de sensores inalámbricos como son: necesidades de bajo costo y baja potencia. Estos módulos consumen un mínimo de energía y proporcionan la entrega de datos entre dispositivos. Operan dentro de la banda frecuencia ISM de 2,4 GHz

En este módulo el circuito integrado ya está montado sobre un circuito impreso, lo cual es una ventaja al realizar un prototipo pues no requiere equipo especializado para soldar el circuito integrado.

2.4.1. Características

XBee

- Alcance para ambientes interiores/zonas urbanas: Hasta 30 m
- Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo): hasta 100 m
- Potencia de Salida de Transmisión: 1 mW (0 dBm)
- Corriente Power-Down: < 10 μ A
- Frecuencia de Operación 2.4 GHz
- Velocidad de datos en RF: 250,000 bps

XBee-Pro

- Alcance para ambientes interiores / zonas urbanas: hasta 100 m
- Alcance en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo): Hasta 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

2.4.2. Aplicaciones

- Monitorización de sistemas remotos
- Monitorización de sistemas remotos
- Automatización de Casas (DOMOTICA)
- Aparatos domésticos & Alarmas de Incendio/CO2
- Colección de datos de un sensor en sistemas incorporados
- Sistemas de Seguridad & Controles de Iluminación

2.4.3. Especificaciones de los módulos

Especificaciones		XBee 	XBee-PRO 
Rendimiento	Alcance en ambientes interiores/zonas urbanas	hasta 100' (30 m)	hasta 300' (100 m)
	Alcance de RF en Línea de Visión para ambientes exteriores	hasta 300' (100 m)	hasta 4000' (1200 m)
	Potencia de Salida en Transmisión	1 mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm), 100 mW EIRP
	Régimen RF de datos	250,000 bps	250,000 bps
	Sensibilidad del Receptor	-92 dBm (1% PER)	-100 dBm (1% PER)
Requerimientos de Potencia	Suministro de Voltaje	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
	Corriente de Transmisión (típico)	45 mA @ 3.3 V	270 mA @ 3.3 V
	Corriente de Recepción (típico)	50 mA @ 3.3 V	55 mA @ 3.3 V
	Corriente Power-Down	< 10 µA	< 10 µA
Información General	Frecuencia	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
	Dimensiones	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
	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 Red y Seguridad	Topologías permitidas en la Red	Punto a Punto, Punto a Multipunto, Igual a Igual y Mesh	Punto a Punto, Punto a Multipunto, Igual a Igual y Mesh
	Número de Canales	16 Canales de Secuencia Directa (software seleccionable)	12 Canales de Secuencia Directa (software seleccionable)
	Capas de Filtración de la Red	PAN ID & Direcciones 64-bit	PAN ID & Direcciones 64-bit
Aprobaciones de la Agencia	FCC Parte 15.247	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
	Industry Canada (IC)	4214A-XBEE	4214A-XBEEPRO
	Europe	ETSI	ETSI

Tabla 2.2. Especificaciones XBEE (Fuente: [10])

2.4.4 Comunicación serial

Los módulos OEM RF XBee® / XBee-PRO comunican a un Host a través de una lógica asíncrona a nivel de puerto serie. A través de su puerto serie, el módulo puede comunicarse con cualquier lógica y tensión compatible UART, o a través un traductor de nivel a cualquier dispositivo serie (Por ejemplo: a través de una tarjeta RS-232 o interfaz USB).

Los dispositivos que tienen una interface UART pueden conectarse directamente a los pines del modulo RF como se muestra en la Figura 2.2.

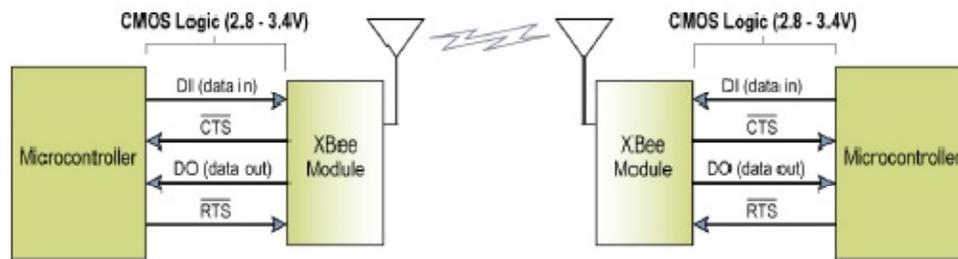


Figura 2.2 Diagrama de flujo del sistema de datos en un ambiente de interface UART (Fuente: [10])

2.5 Modulo Wi FreeStar de Radiotronix

El módulo Wi.FreeStar es un transmisor/receptor ZigBee - IEEE 802.15.4 de 2,4 GHz destinado para aplicaciones inalámbricas de muy bajo costo y con un protocolo de comunicación serial RS-232 pre-configurado. El diseño del módulo se basa en el transmisor/receptor de RF MC13192/3 de Freescale descrito anteriormente, y que además se basa en el estándar IEEE 802.15.4 y destinados para ser utilizados en aplicaciones de ZigBee.

Cuenta con un amplificador de potencia de 100 mW que provee un mayor rendimiento en las implementaciones bajo el estándar IEEE 802.15.4/ZigBee. Se aplica un protocolo de comunicaciones propietario basado en el estándar 802.15.4 y simplificado para reducir el costo y consumo de energía, entregando los datos de manera serial.

2.5.1. Estructura del modulo

El diseño del modulo Wi.FreeStar consta del MC13192, el microcontrolador MC9S08GT16CFD, el amplificador de potencia de 100 mW, y una antena integrada al circuito impreso [Figura 2.3]. El módulo esta certificado por FCC y CE para una rápida y sencilla integración en aplicaciones finales.

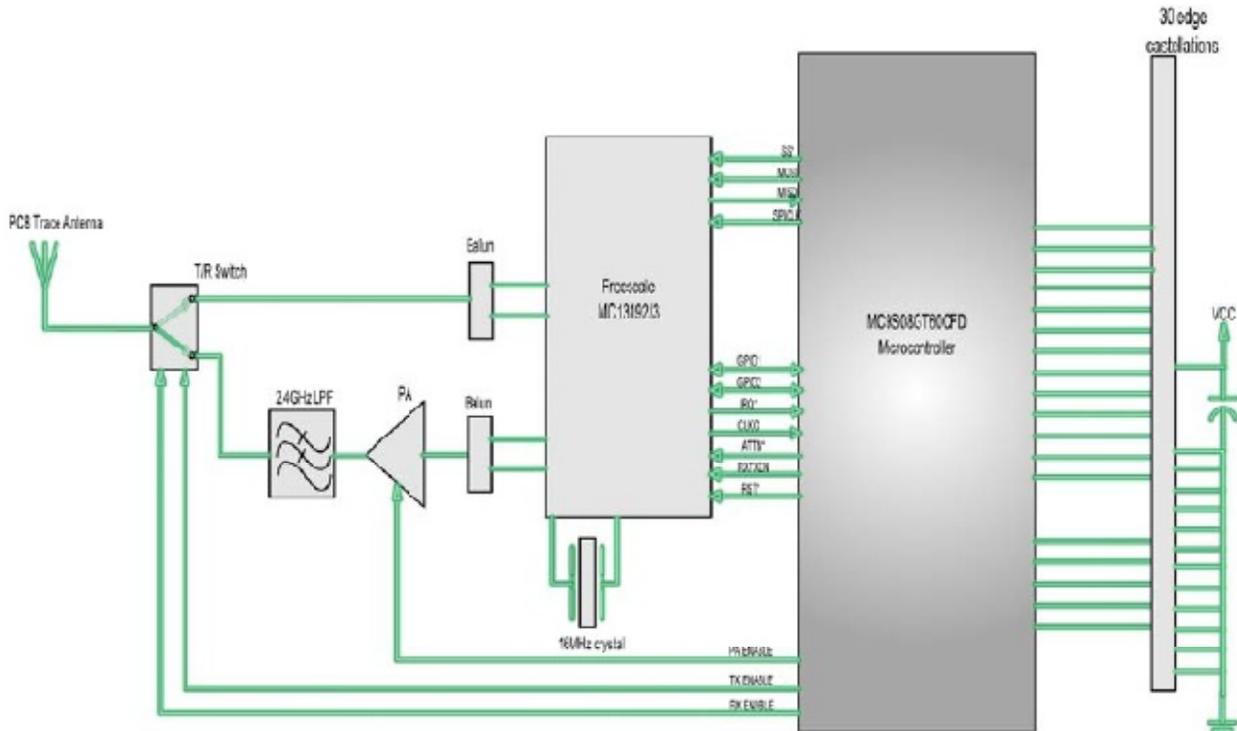


Figura 2.3. Diagrama de Bloques Wi FreeStar (Fuente: [6])

2.5.2 Características

- Redes:
 - Punto a Punto
 - Punto Multipunto
- Rango: Hasta 4000 pies
- Factor Forma muy pequeño: (1.4" x 1.0")/ (36.2mm x 24.8mm)
- Antena integrada en el PCB
- Certificados FCC, IC y CE
- DSSS
- CSMA-CA
- Dos entradas A/D de 10 bits
- Ocho pines I/O de Propósito General Digital
- Configuración basado en Windows y herramienta de pruebas

2.5.3 Aplicaciones

- Reemplazo directo del cable RD-232/422/485 (Requiere conversión externa RS-232 a circuitos CMOS de 3V)
- Seguimiento de activos
- Lectura automatizada
- Automatización Industrial y/o en Casa
- Aplicaciones RFID²⁶
- Redes de sensores
- Registro de datos a distancia
- Gestión de redes

2.5.4 Comunicación

La comunicación del módulo FreeStar se hace a través de 2 pines del circuito que entregan y reciben los datos de manera serial (MODTX y MODRX) [Figura 2.4]. Estos datos pueden ser leídos por cualquier interfaz serial, como por ejemplo el puerto serie de un PC o directamente desde un microcontrolador que pueda interpretarlos [Figura 2.5].

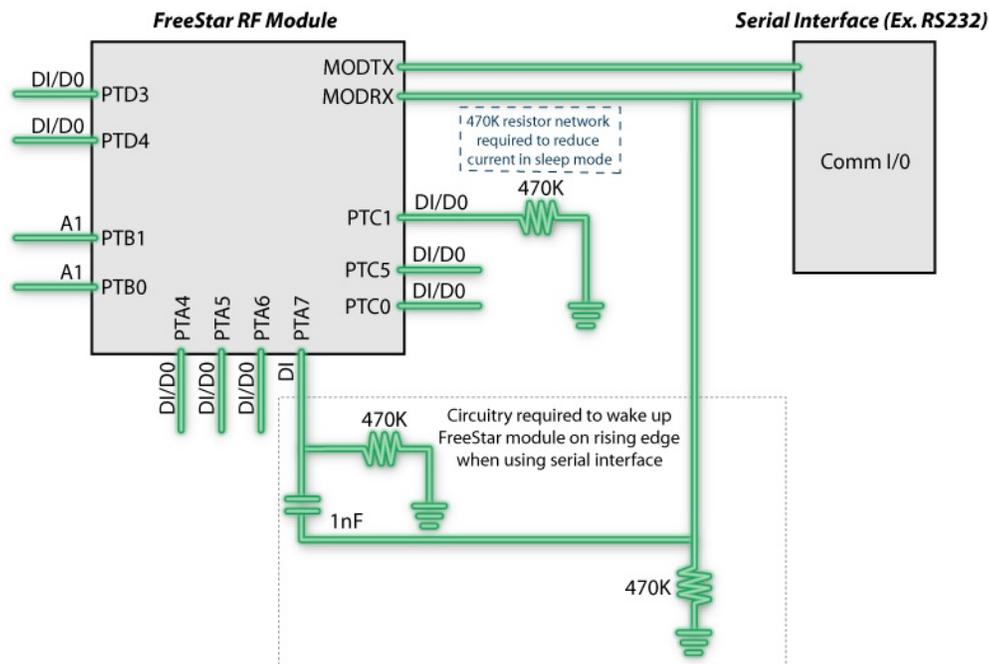


Figura. 2.4. Diagrama de ejemplo Conexión usando Interface Serial (Fuente: [6])

²⁶ Radio Frequency Identification

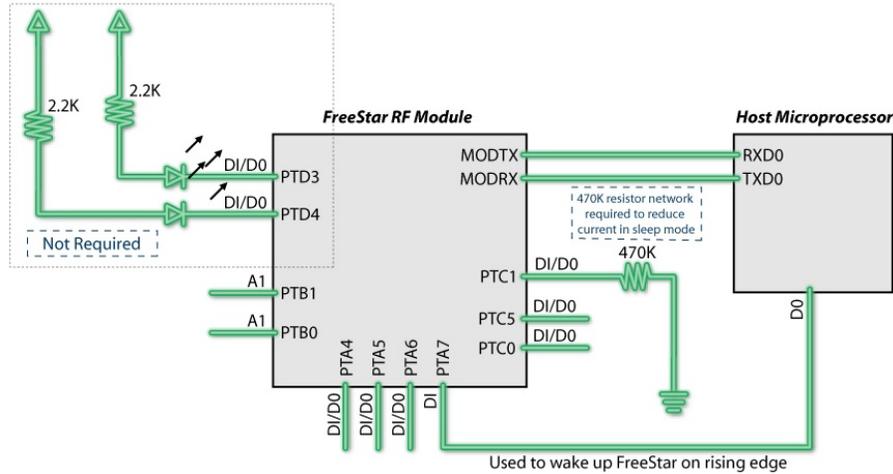


Figura 2.5. Diagrama de ejemplo Conexión usando Interface de procesador Host (Fuente: [6])

2.5.5 Especificaciones del módulo (Fuente: [6])

Frecuencia de transmisión	2400 a 2483.5 MHz
Potencia de Salida	10mW – 100mW (Controlado por Software)
Sensibilidad del Receptor	-92 dBm @ 1% PER
Tasa de datos de RF	250 Kbps
Tasa de datos del Host	19.2 Kbps
Canales RF	16 (El canal 16 se ha fijado en un nivel de potencia reducido)
Certificaciones EMC	Módulo de Certificación (Portable) FCC Parte 15.247 Certificado EN 300 328 1 / Aprobado por CE
Rango de Voltaje de Operación	2.4 a 3.6 V
Corriente de Transmisión a 10 mW)	125 mA
Corriente de Transmisión a 100 mW	150 mA
Consumo de Corriente en Recepción	<45 mA
Consumo de Corriente en Standby	<5 uA
Interface Host	Serial TTL
Temperatura de Operación	-40 a +85 °C
Temperatura de Almacenamiento	-55 a +125 °C

Tabla 2.3 Especificaciones del módulo WiFS100 de Radiotronics (Fuente: [8])

CAPITULO III: DISEÑO DE LA INTERFAZ EDUCATIVA ZIGBEE

La Interfaz Educativa ZigBee, pretende ser el primer acercamiento de sus usuarios, ingenieros, estudiantes y demás interesados, a la tecnología ZigBee, exponiendo claramente sus ventajas, limitaciones y aplicaciones, motivando a los actuales y futuros ingenieros a familiarizarse con ella y a implementar soluciones basadas en esta nueva herramienta.

3.1 Descripción general de la Interfaz:

La Interfaz Educativa ZigBee le permitirá al usuario explorar de manera sencilla, ventajas y limitaciones de esta tecnología, por ejemplo:

- **Simplicidad de configuración de la red**
El usuario podrá configurar la red ZigBee y sus nodos de la manera más sencilla posible.
- **Alcance de la transmisión y recepción**
El usuario podrá establecer los niveles de potencia de cada uno de los nodos de la red con el fin de explorar su alcance en ambientes Indoor y Outdoor.
- **Consumo de potencia**
El usuario podrá comprobar el consumo de potencia de cada uno de los nodos.
- **Escalabilidad de la red**
El usuario podrá añadir uno a uno nodos a la red sin necesidad de la reconfiguración de la misma.
- **Simplicidad en la comunicación entre dispositivos**
El usuario podrá comprobar la facilidad y confiabilidad de la comunicación entre los dispositivos ZigBee

- **Posibles aplicaciones de la tecnología**

El usuario podrá explorar y crear nuevas posibles aplicaciones que puedan ir de la mano con la tecnología ZigBee.

- **Control total de la red ZigBee**

El usuario podrá controlar y monitorear constantemente el comportamiento de la red ZigBee configurada.

La Interfaz Educativa ZigBee también permitirá la configuración paso a paso de cada uno de los nodos con sus respectivos parámetros tales como:

- Dirección del dispositivo: Identifica al nodo como tal en la red para su enlace de comunicación.
- ID de la red: Identifica la red a la cual está asociado el dispositivo.
- Canal: Establece el canal de transmisión utilizado por el dispositivo para la comunicación
- Potencia de transmisión: Establece el nivel de potencia del nodo.

Además, la Interfaz Educativa ZigBee tendrá la capacidad de interactuar con aplicaciones de una red ZigBee, que ponen a prueba la red configurada, y le dan la oportunidad al usuario de interactuar con otros usuarios o nodos a través de la red ZigBee. Se proponen las siguientes aplicaciones:

- **Aplicación de Comunicaciones**

Permitirá la interacción de los usuarios a través de la red ZigBee por medio de una aplicación sencilla de comunicaciones como por ejemplo un chat.

- **Aplicación Domótica**

El usuario podrá experimentar con una de las aplicaciones más comunes de la tecnología ZigBee, la automatización de electrodomésticos en los hogares.

3.2 Componentes de la Interfaz Educativa ZigBee

La interfaz se compone de dos partes: una en hardware (Figura 3.1), que incluye el circuito integrado ZigBee (Nodos) y otra en software, que le permite al usuario interactuar fácilmente con este dispositivo y controlarlo.

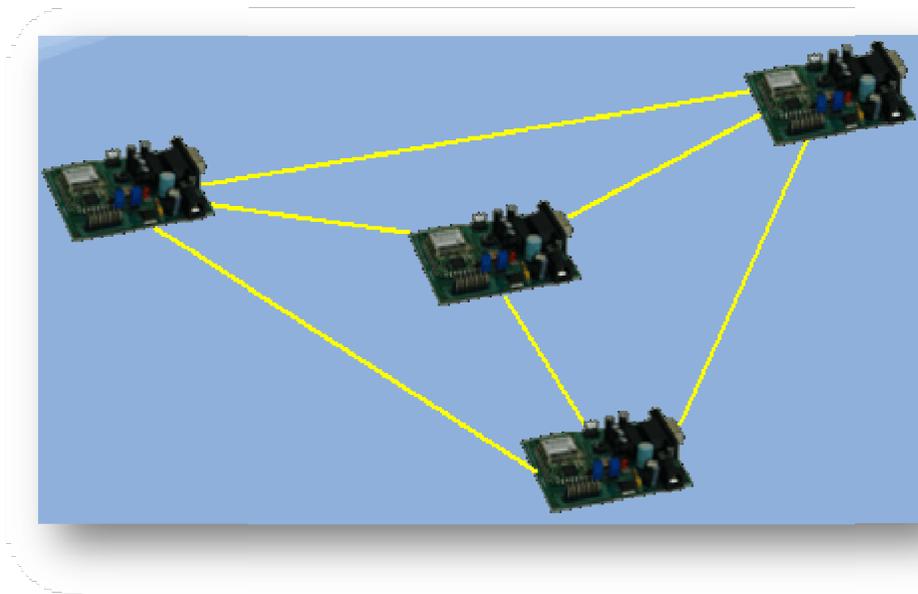


Figura 3.1 Interconexión de los Nodos de la Interfaz Educativa ZigBee. (Fuente: Autores)

3.2.1 Hardware:

En el capítulo anterior se detectó que el módulo más adecuado para la Interfaz Educativa ZigBee es el de Radiotronix, teniendo en cuenta su costo, su facilidad de comunicación con el PC y su sencilla importación al país.

Luego de una búsqueda sistemática, se encontró una empresa en Colombia que había trabajado con este tipo de módulos, la empresa Muzca Technology con sede en Medellín. Por medio de esta empresa, se adquirió la herramienta WIFS24EV desarrollada sobre la tecnología ZigBee WIFS24-100T de Radiotronix.

Se trata de una tarjeta de desarrollo que incluye una interfaz RS-232 y que posibilita la comunicación bidireccional entre el módulo ZigBee Wi.FS24 de Radiotronix y el PC.

La herramienta WIFS24EV de Muzca Technology está desarrollada sobre la tecnología ZigBee WIFS24-100T de Radiotronix. La herramienta se concibe con la filosofía del más bajo costo y está orientada a estudiantes, docentes y fabricantes OEM (*Owner Equipment Manufacturer*).

El usuario puede establecer comunicaciones punto a punto o multipunto, controlando el módulo ZigBee vía puerto RS232, desde un PC o un microcontrolador. De esta manera, cada uno de los nodos de la Interfaz Educativa ZigBee está conformado por un módulo WIFS24EV conectado a un host, sea un PC o un microcontrolador. En la Interfaz Educativa ZigBee, el host va a ser un PC.

A continuación se presenta el diagrama esquemático de la herramienta de desarrollo que permite la interconexión PC-módulo ZigBee (Figura 3.2).

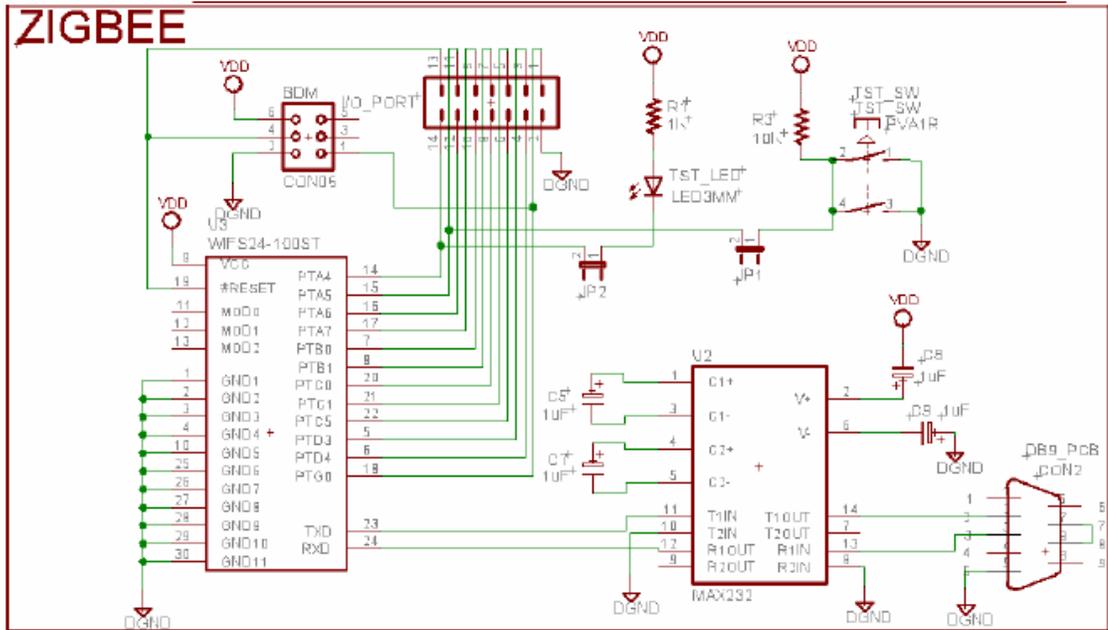


Figura 3.2 Esquemático Herramienta de desarrollo WIFS24EV (Fuente: [5])

Como se puede apreciar, para su construcción no se requieren elementos difíciles de conseguir en el mercado, por lo tanto se decidió solicitar el envío solamente de los módulos ZigBee WIFS24-100T de Radiotrinix y los circuitos impresos de la herramienta de desarrollo. Los autores del proyecto se encargaron de realizar los montajes correspondientes, siguiendo las indicaciones de las siguientes figuras. [Figura 3.3], [Figura 3.4], [Figura 3.5].

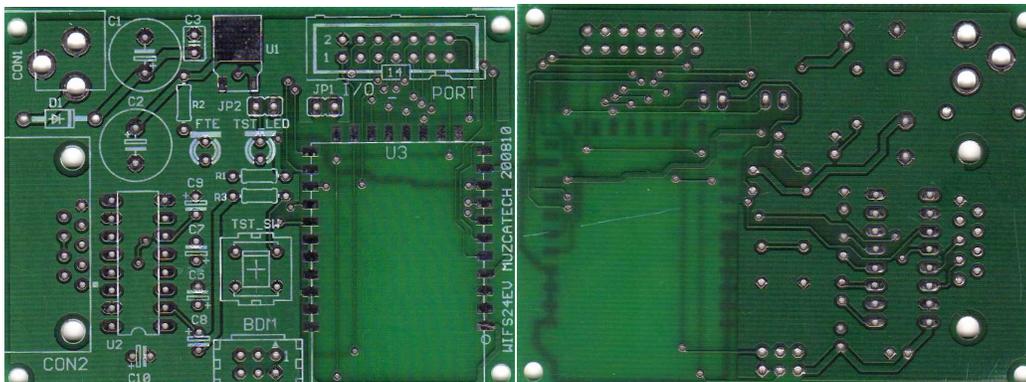


Figura 3.3 De izquierda a derecha: Cara superior e inferior del circuito impreso de la herramienta WIFS24EV. (Fuente: Autores)

A continuación se presenta la lista de componentes de la interfaz (Figura 3.4). Como se observa en el listado, los componentes de la tarjeta son muy comunes y sencillos de conseguir: condensadores, resistencias, diodos y conectores, y sólo incluye 3 circuitos integrados: Regulador de 3.3v (U1), MAX232²⁷(U2) y por supuesto el módulo ZigBee Wi.FS24 (U3).

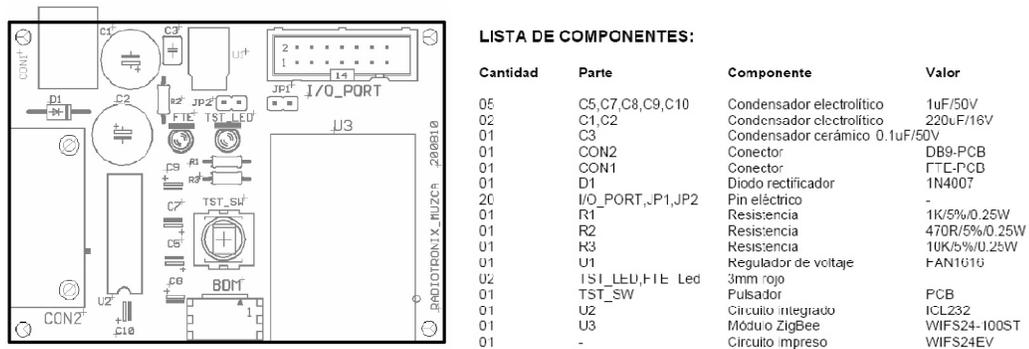


Figura 3.4 Listado y ubicación de los componentes en el circuito (Fuente: [5])



Figura 3.5. Herramienta de desarrollo WIFS24EV terminada con todos los elementos (Fuente: [5])

²⁷ Conversor de niveles TTL a RS-232 y viceversa

3.2.1.1 Características eléctricas

Las características de voltaje y corriente de operación de la herramienta son las siguientes [Tabla 3.1].

DESCRIPCIÓN	MÍNIMO	TÍPICO	MÁXIMO	UDS
Voltaje entrada CD	5	9	12	V
Voltaje de operación lógica	-	3.3	-	V
Capacidad corriente total	-	-	500	mA

Tabla 3.1. Características eléctricas de la herramienta WIFS24 EV [Fuente: [5]]

3.2.1.2 Descripción de pines y funciones

Los pines de la herramienta de desarrollo se describen a continuación.

Pines I/O: 14 pines distribuidos como se muestra en la siguiente tabla [Tabla 3.2], que pertenecen al conector I/O_PORT.

PIN	SEÑAL	COMENTARIO
1	PTG0	BKGD/MS
2	GND	Tierra digital
3	PTD3	General I/O
4	PTD4	General I/O
5	PTC1	General I/O – RXD2
6	PTC5	Reservado
7	PIB1	ADC_1
8	PTC0	General I/O – TXD2
9	PTA7	General I/O – KBI1P7
10	PTB0	ADC_0
11	PTA5	General I/O – KBI1P5
12	PTA6	General I/O – KBI1P6
13	#RESET	Reset del módulo
14	PTA4	General I/O – KBI1P4

Tabla 3.2. Descripción de los pines del módulo

- **Fuente de CD:** 3.3VCD @ 500mA.
- **Programación:** Puerto BDM. Se sugiere utilizar la herramienta USBMULTILINK de Pemicro y software CodeWarrior 6.1 de Freescale.
- **Accesorios:** La herramienta contiene dos pulsadores y dos LED, que cumplen las siguientes funciones:

LED TST_LED: Conectado al pin PTA4 mediante el JUMPER JP2, para uso general y programa de prueba. El pin se puede liberar del LED eliminando el JUMPER JP2 y de esta manera queda asignado al pin PTA4 del conector I/O_PORT.

LED FTE: Monitor de la fuente de 3.3VCD del sistema.

PULSADOR TST_SW: Conectado al pin PTA5 mediante el JUMPER JP1, para uso general y programa de prueba. El pin se puede liberar del PULSADOR eliminando el JUMPER JP1 y de esta manera queda asignado al pin PTA5 del conector I/O_PORT.

PULSADOR RESET: Se encuentra implementado en el módulo ZigBee (U3).

3.2.2 Software

El software está diseñado para que el usuario pueda interactuar con otros usuarios por medio de una red ZigBee de manera sencilla y sin necesidad de conocer detalles sobre el protocolo de comunicaciones, concentrándose propiamente en la aplicación.

El árbol de menús de la aplicación es el siguiente:

- Configuración de la Aplicación
 - Puerto Serial: Permite escoger el número de puerto serial al cual está conectado el Nodo.
 - Velocidad: Permite configurar la velocidad de transmisión del puerto serial en bits por segundo.

- Configuración de los módulos
 - PAN ID: Indica el número de la red al cual está asociado el nodo (0-16383)
 - Dirección del Nodo: Dependiendo del número de nodos requeridos en la red, puede ser corto (2 bytes) o largo (8 bytes)
 - Canal: Se permiten hasta 16 canales diferentes [Tabla 3.3].

Canal	Frecuencia
11	2405 MHz
12	2410 MHz
13	2415 MHz
14	2420 MHz
15	2425 MHz
16	2430 MHz
17	2435 MHz
18	2440 MHz
19	2445 MHz
20	2450 MHz
21	2455 MHz
22	2460 MHz
23	2465 MHz
24	2470 MHz
25	2475 MHz
26	2480 MHz

Tabla 3.3. Canales. (Fuente: Autores)

- Potencia de Transmisión: Se puede configurar el nivel de potencia de transmisión de cada uno de los nodos. La escala va de 1 a 31, donde 1 es el nivel mínimo de potencia y 31 el nivel máximo.
- Configuración de la Red
 - Configuración de la ID de la red: Es el número que identifica la red, al cual se deben asociar los nodos para comunicarse entre sí.
- Aplicaciones
 - Aplicaciones de Comunicaciones: Las aplicaciones de comunicaciones le permiten al usuario interactuar con otros nodos pertenecientes a la red.
 - Chat ZigBee: Esta aplicación permite enviar y recibir mensajes cortos entre nodos de la red
 - Pizarra ZigBee: Esta aplicación permite enviar dibujos de un nodo a otro, variando el intervalo de transmisión de datos.
 - Aplicaciones de Domótica
 - Casa ZigBee: Esta aplicación permite simular la aplicación de un hogar dotado con tecnología ZigBee. Permite cargar el plano de cualquier casa e interactuar por medio de la red ZigBee con los sensores instalados en ella.

- Puertos I/O Digitales y Análogos
 - Adquisición y configuración Remota: Es posible configurar y/o adquirir la configuración de los puertos digitales y análogos de cualquiera de los nodos que conforman la red ZigBee.
 - Adquisición y configuración Local: Es posible configurar y/o adquirir la configuración de los puertos digitales y análogos del nodo local, es decir, el que está directamente conectado al PC.
- Sniffer ZigBee: Permite capturar y posteriormente analizar todos los paquetes que circulan por la red ZigBee para su estudio y seguimiento.
- Estadísticas: En este módulo se proporciona al usuario el comportamiento de la red en cuanto a paquetes enviados, ACK Enviados, Paquetes Recibidos y ACK Recibidos.

3.3 Comunicación de los módulos ZigBee con el PC

La comunicación de los módulos ZigBee se realiza por puerto serial con los siguientes parámetros de configuración [Tabla 3.4]:

Host RS-232 Serial Interface Communications Protocol Parameters	
Parameter	Parameter Description
Baud Rate	19.2k
Start Bits	1
Data Bits	8
Stop Bits	1
Parity	None

Tabla 3.4. Parámetros del protocolo de comunicación serial RS-232 (Fuente: [9])

3.3.1 Estructura de la trama de la Interfaz Educativa ZigBee

La estructura de la trama de bytes seriales está dividida en “Header”, “Payload” y “Trailer”.

[Tabla 3.5]

Header: Es el encabezado de la trama y su longitud es de 3 bytes. El primer byte corresponde al “Start Byte” o byte de inicio de trama, el segundo a la longitud de la trama y el último al tipo de trama.

Payload: Es el contenido de la trama y su longitud es variable, dependiendo del tipo de trama.

Trailer: Es la cola de la trama y su longitud es de 2 bytes. El primer bytes contiene el checksum de todos los bytes anteriores y el segundo bytes es el byte final que delimita la trama.

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte 0x01	Length	Type	Data	Checksum	End Byte 0x04
	1	1	1	n	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	The first byte in any data packet is a 0x01 (SOH).
Length	The total length of the entire packet in bytes
Type	The packet type byte designates the type of packet.
Data	n bytes of data which pertains to the type of the packet.
Checksum	Eight bit Checksum of bytes from the Start Byte through the Data. The checksum is the result of adding the bytes of interest.
End Byte	The last byte in any packet is a 0xC4 (EOM).

Tabla 3.5 Estructura de paquetes (Fuente: [9])

3.3.2 Mensajes enviados del host al módulo

A continuación se listan todos los mensajes que se pueden enviar desde el host al nodo ZigBee directamente conectado por el puerto serial [Tabla 3.6].

Communication Packets Sent From Host To Transceiver

Message Type	Message Length	Message Description
0x01	7	Set PAN ID.
0x02	5	Query PAN ID.
0x03	15	Set transceiver address.
0x04	5	Query transceiver address.
0x05	6	Set RF channel.
0x06	5	Query RF channel.
0x07	6	Enable/Disable receive all RF messages.
0x08	5	Query receive all RF messages status.
0x09	6	Enable/Disable RF acknowledgements and retries.
0x0A	5	Query RF acknowledgements and retries status.
0x0B	7	Set radio features and options.
0x0C	5	Query radio features and options.
0x0D	5	Query statistics.
0x0E	5	Clear statistics.
0x0F	6	Set transmit power level.
0x10	5	Query transmit power level.
0x11	5	Save configuration values to non-volatile memory.
0x12	5	Query firmware version.
0x13	6	Set low power mode.
0x14	(10+n) or (16+n)	Send n RF data bytes to destination transceiver ID.
0x15	-	Not available.
0x16	-	Not available.
0x17	-	Not available.
0x18	5	Reset request.
0x19	5 + n	Send message to application.
0x1A	-	Not available.
0x1B	15	Initiate firmware download.
0x1C	79	Transfer firmware block.
0x1D	13	Terminate firmware download.
0x1E	8	Set digital pin configuration.
0x1F	5	Query digital pin configuration.
0x20	6	Set digital pin state.
0x21	5	Query digital pin state.
0x22	5	Query analog pin values.
0x23	7	Set analog pin sleep state.
0x24	5	Query analog pin sleep state.
0x25	8	Set digital pin sleep state.
0x26	5	Query digital pin sleep state.
0x27	6	Set debug mode.
0x28	6	Set LED functionality.
0x29	-	Not available.
0x2A	21	Set programmable settings.
0x2B	5	Query programmable settings.

Tabla 3.6 Mensajes enviados desde el host al nodo ZigBee (Fuente: [9])

3.3.3 Mensajes enviados del nodo ZigBee al host

Ha que destacar que cada uno de los mensajes que se envían desde el host al módulo está acompañado de un ACK que le confirma al host que efectivamente sí se recibió el mensaje enviado. Estos mensajes ACK se listan a continuación [Tabla 3.7] y se generan como respuesta de los mensajes de la tabla anterior.

Communication Packets Sent From Transceiver To Host

Message Type	Message Length	Message Description
0x81	5	Set PAN ID acknowledged.
0x82	7	Respond with PAN ID.
0x83	5	Set transceiver address acknowledged.
0x84	15	Respond with transceiver address.
0x85	5	Set RF channel acknowledged.
0x86	6	Respond with RF channel.
0x87	5	Enable/Disable receive all RF messages acknowledged.
0x88	6	Respond with receive all RF messages status.
0x89	5	Enable/Disable RF acknowledgements and retries acknowledged.
0x8A	6	Respond with RF acknowledgements and retries status.
0x8B	5	Set radio features and options acknowledged.
0x8C	7	Respond with radio features and options.
0x8D	21	Respond with statistics.
0x8E	5	Clear statistics acknowledged.
0x8F	5	Set transmit power level acknowledged.
0x90	6	Respond with transmit power level.
0x91	5	Save configuration values to non-volatile memory acknowledged.
0x92	11 + n	Respond with firmware version.
0x93	5	Set low power mode acknowledged.
0x94	8	Send n RF data bytes to destination transceiver ID ack/nack.
0x95	(13+n) to (25+n)	Received n RF data bytes from transceiver ID.
0x96	-	Not available.
0x97	-	Not available.
0x98	5	Reset request acknowledged.
0x99	5	Sent message to application acknowledged.
0x9A	5 + n	Received message from application.
0x9B	14	Initiate firmware download acknowledged.
0x9C	16	Transfer firmware block acknowledged.
0x9D	13	Terminate download acknowledged.
0x9E	5	Set digital pin configuration acknowledged.
0x9F	8	Respond with digital pin configuration.
0xA0	5	Set digital pin state acknowledged.
0xA1	6	Respond with digital pin state.
0xA2	9	Respond with analog pin values.
0xA3	5	Set analog pin sleep state acknowledged.
0xA4	7	Respond with analog pin sleep state.
0xA5	5	Set digital pin sleep state acknowledged.
0xA6	8	Respond with digital pin sleep state.
0xA7	5	Set debug mode acknowledged.
0xA8	5	Set LED functionality acknowledged.
0xA9	(13+n) to (25+n)	Received n RF data bytes from source transceiver ID sent to destination transceiver ID.
0xAA	7	Set programmable settings ack/nack.
0xAB	21	Respond with programmable settings.

Tabla 3.7 Mensajes ACK enviados desde el nodo ZigBee al host (Fuente: [9])

3.3.4 Mensajes utilizados en la Interfaz Educativa ZigBee

Según el diseño de la interfaz planteada inicialmente, no se requiere la configuración de todos los mensajes posibles, por lo tanto se escogieron los que sí son requeridos para su programación en la interfaz [9]. A continuación se lista la estructura de cada uno de estos mensajes acompañado de su mensaje respuesta o ACK.

3.3.4.1 Configurar/Adquirir PAN ID [Tablas 3.8 y 3.9]

A continuación se presenta el mensaje para configurar el PAN ID²⁸ al que pertenecerá el módulo ZigBee (mensaje tipo 0x01) y su respectivo mensaje ACK (mensaje tipo 0x81).

0x01 – Set PAN ID (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x07)	Type (0x01)	PAN ID	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	2	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x07.
Type	0x01 – Set PAN ID.
PAN ID	Two byte PAN ID (LSB to MSB) of the network this transceiver should operate on. Note that only the 14 least significant bits are valid.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x81 – Set PAN ID Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x81)	Checksum (0x87)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x81 – Set PAN ID Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.8 Mensajes enviar PAN ID y su ACK (Fuente: [9])

²⁸ Número identificador de la red a la cual estará asociado el módulo ZigBee

El siguiente mensaje se utiliza para adquirir el PAN ID del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x02) y su respuesta (mensaje tipo 0x82)

0x02 - Query PAN ID (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x02)	Checksum (0x08)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x02 - Query PAN ID.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x82 - Respond With PAN ID (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x07)	Type (0x82)	PAN ID	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	2	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x07.
Type	0x82 - Respond With PAN ID.
PAN ID	Two byte PAN ID (LSB to MSB) of the network this transceiver is operating on. Note that only the 14 least significant bits are valid.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.9 Mensajes adquirir PAN ID y su ACK (Fuente: [9])

3.3.4.2 Configurar dirección del nodo [Tablas 3.10 y 3.11]

A continuación se presenta el mensaje para configurar la dirección en la red del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x03) y su respectivo mensaje ACK (mensaje tipo 0x83).

0x03 - Set Transceiver Address (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload		Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x0F)	Type (0x03)	Transceiver Long Address	Transceiver Short Address	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	8	2	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x0F.
Type	0x03 - Set Transceiver Address.
Transceiver Long Address	Eight byte transceiver long address (LSB to MSB).
Transceiver Short Address	Two byte transceiver short address (LSB to MSB).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x83 - Set Transceiver Address Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x83)	Checksum (0x89)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x83 - Set Transceiver Address Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.10 Mensajes configurar dirección de nodo y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje se utiliza para adquirir la dirección del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x04 y su respuesta (mensaje tipo 0x84)

0x04 - Query Transceiver Address (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x04)	Checksum (0x0A)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x04 - Query Transceiver Address.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x84 - Respond With Transceiver Address (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload		Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x0F)	Type (0x84)	Transceiver Long Address	Transceiver Short Address	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	8	2	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x0F.
Type	0x8F – Respond With Transceiver Address.
Transceiver Long Address	Eight byte transceiver long address (LSB to MSB).
Transceiver Short Address	Two byte transceiver short address (LSB to MSB).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.11 Mensajes adquirir dirección de nodo y su ACK (Fuente: [9])

3.3.4.3 Configurar Canal RF [Tablas 3.12 y 3.13]

A continuación se presenta el mensaje para configurar el canal RF del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x05) y su respectivo mensaje ACK (mensaje tipo 0x85).

0x05 - Set RF Channel (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0x05)	RF Channel (11-26)	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06.
Type	0x05 - Set RF Channel.
RF Channel	The RF channel that the transceiver will operate on (11-26).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x85 - Set RF Channel Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x85)	Checksum (0x8B)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x85 - Set RF Channel Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.12 Mensajes configurar canal RF y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje se utiliza para adquirir el canal RF del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x06) y su respuesta (mensaje tipo 0x86)

0x06 - Query RF Channel (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x06)	Checksum (0x0C)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x06 - Query RF Channel.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x86 - Respond With RF Channel (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x08)	Type (0x86)	RF Channel (11-26)	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x08.
Type	0x86 - Respond With RF Channel.
RF Channel	The RF channel that the transceiver will operate on (11-26).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.13 Mensajes adquirir canal RF y su ACK (Fuente: [9])

3.3.4.4 Habilitar/Deshabilitar mensajes RF (Sniffer) [Tablas 3.14 y 3.15]

Este tipo de mensaje se utilizó para la aplicación sniffer, ya que permite habilitar o deshabilitar un nodo para que escuche todo el tráfico de la red. (Mensajes tipo 0x07 y 0x87)

0x07 - Enable/Disable Receive All RF Messages (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0x07)	Enable/Disable (0x00-0x01)	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06.
Type	0x07 - Enable/Disable Receive All RF Messages.
Enable/Disable	Enable (0x01) or disable (0x00) receive all RF messages.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x87 - Enable Enable/Disable Receive All RF Messages Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x87)	Checksum (0x8D)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x87 - Enable/Disable Receive All RF Messages Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.14 Mensajes habilitar/deshabilitar recibir todos los mensajes RF y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente tipo de mensaje es el que se recibe cuando está activo el modo “Recibir todos los mensajes” en el nodo. (Mensaje tipo 0xA9)

0xA9 - Received n RF Data Bytes From Source Transceiver ID Sent To Destination Transceiver ID (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload							Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length	Type 0xA9	Packet ID	Target/Sender	LQI	Addr Mode	Dest Txcovr Address	Source Txcovr Address	n Data Bytes	Csum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1	1	2 or 8	2 or 8	n	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	Between thirteen and twenty-five plus the number of data bytes ((13 to 25) +n).
Type	0xA9 - Received n RF data bytes from source transceiver ID sent to destination transceiver ID.
Packet ID	Packet ID.
Target/Sender	Upper nibble is the target of the message and lower nibble is the source (0 = app, 1 = host).
LQI	Link Quality Indicator which gives feed back to the strength of the received packet.
Address Mode	Upper nibble describes the destination transceiver address and lower nibble describes the source transceiver address (0 = short 2 byte address, 1 = long 8 bytes address).
Destination Transceiver Address	Two or eight byte destination transceiver address (LSB to MSB). The number of bytes (2 - short or 8 - long) is determined by the upper nibble of the Address Mode field.
Source TransceiverAddress	Two or eight byte source transceiver long address (LSB to MSB). The number of bytes (2 - short or 8 - long) is determined by the upper nibble of the Address Mode field.
n Data Bytes	Data bytes received over the RF link (n bytes).
Csum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.15 Mensajes que llegan de otros nodos cuando está habilitado Recive All. (Fuente: [9])

3.3.4.5 Estadísticas [Tablas 3.16 y 3.17]

A continuación se presenta el mensaje para adquirir las estadísticas del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x0D) y su respectivo mensaje de respuesta, con los datos solicitados (mensaje tipo 0x8D). Se reciben los siguientes datos: Paquetes enviados, Paquetes recibidos, ACK enviados y ACK recibidos.

0x0D - Query Statistics (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x0D)	Checksum (0x13)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x0D - Query Statistics.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x8D - Respond With Statistics (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload				Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x15)	Type (0x8D)	Packets Sent	Acks Sent	Packets Received	Acks Received	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	4	4	4	4	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x15.
Type	0x8D - Respond With Statistics.
Packets Sent	Four byte value for RF packets sent (LSB to MSB).
Acks Sent	Four byte value for RF acknowledgements sent (LSB to MSB).
Packets Received	Four byte value for RF packets received (LSB to MSB).
Acks Received	Four byte value for RF acknowledgements received (LSB to MSB).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.16 Mensajes descargar estadísticas y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje se utiliza para borrar el conteo de estadísticas en el módulo ZigBee (mensaje tipo 0x0E y su respuesta (mensaje tipo 0x8E)

0x0E - Clear Statistics (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x0E)	Checksum (0x14)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x0E - Clear Statistics.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x8E - Clear Statistics Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x8E)	Checksum (0x94)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x8E - Clear Statistics Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.17 Mensajes borrar estadísticas y su ACK (Fuente: [9])

3.3.4.6 Configurar nivel de potencia [Tablas 3.18 y 3.19]

A continuación se presenta el mensaje para configurar el nivel de potencia del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x0F) y su respectivo mensaje ACK (mensaje tipo 0x8F).

0x0F - Set Transmit Power Level (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0x0F)	RF Power Level	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06
Type	0x0F - Set RF Power Level.
RF Power Level	RF transmitter power level.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x8F - Set Transmit Power Level Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x8F)	Checksum (0x05)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x8F - Set Transmit Power Level Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.18 Mensajes configurar nivel de potencia y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje se utiliza para adquirir la el nivel de potencia del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x10 y su respuesta (mensaje tipo 0x90)

0x10 - Query Transmit Power Level (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x10)	Checksum (0x16)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x10 - Query Transmit Power Level.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x90 - Respond With Transmit Power Level (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0x90)	RF Power Level	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06.
Type	0x90 - Respond With Transmit Power Level.
RF Power Level	RF transmitter power level.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.19 Mensajes adquirir nivel de potencia y su ACK (Fuente: [9])

3.3.4.7 Salvar configuración en la NVRAM [Tabla 3.20]

A continuación se presenta el mensaje para salvar la configuración del módulo en la NVRAM²⁹. Es preciso guardar toda la configuración anteriormente realizada si se va a desconectar el módulo ZigBee de su alimentación para que no se pierda. Para guardar los datos en NVRAM se utiliza (mensaje tipo 0x11) y su respectivo mensaje ACK (mensaje tipo 0x91).

0x11 – Save Configuration Values To Non-Volatile Memory (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x11)	Checksum (0x17)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x11 – Save Configuration Values To Non-Volatile Memory.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x91 – Save Configuration Values To Non-Volatile Memory Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x91)	Checksum (0x97)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x91 – Save Configuration Values To Non-Volatile Memory Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.20 Mensajes salvar en NVRAM y su ACK (Fuente: [9])

²⁹ NVRAM: Memoria RAM no volátil, es decir, que no perderá los datos al apagar el equipo.

3.3.4.8 Enviar/Recibir bytes desde o hacia otro nodo [Tablas 3.21 y 3.22]

Este tipo de trama se utilizó para la programación de las aplicaciones de comunicaciones y domótica, ya que permite enviar datos hacia cualquier nodo de la red. El software de la Interfaz DIEZ se encarga de procesar esos datos.

A continuación se presenta el mensaje para enviar n bytes de datos a otro nodo remoto. Es posible enviar hasta 96 bytes. (mensaje tipo 0x14) y su respuesta (mensaje tipo 0x94)

0x14 - Sent n RF Data Bytes To Destination Transceiver ID (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload				Trailer		
	Start Byte (0x01)	Length	Type (0x14)	Packet ID	Target/ Sender	Addr Mode	Dest Txcevr Address	n Data Bytes	Checksum	End Byte (0x04)
1	1	1	1	1	1	1	2 or 8	n	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	Ten or sixteen plus the number of data bytes ((10 or 16) +n).
Type	0x14 - Sent n RF Data Bytes To Destination Transceiver ID.
Packet ID	Packet ID.
Target/Sender	Upper nibble is the target of the message and lower nibble is the source (0 = app, 1 = host).
Address Mode	Upper nibble describes the destination transceiver address and lower nibble is not used and should be set to 0 (0 = short 2 byte address, 1 = long 8 bytes address).
Destination Transceiver Address	Two or eight byte destination transceiver address (LSB to MSB). The number of bytes (2 - short or 8 - long) is determined by the upper nibble of the Address Mode field.
n Data Bytes	Data to be sent over the RF link (n bytes).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0x94 - Sent n RF Data Bytes To Destination Transceiver ID Ack/Nack (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x08)	Type (0x94)	Packet ID	Ack/Nack (0x00-0x01)	Number Of Retries	Checksum	End Byte (0x04)
1	1	1	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x08.
Type	0x94 - Sent n RF Data Bytes To Destination Transceiver ID Ack/Nack.
Packet ID	Packet ID.
Ack/Nack	Nack = 0x00, Ack = 0x01.
Number Of Retries	Number of retries it took to get the packet through the RF.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.21 Mensajes enviar n bytes de datos a otro nodo y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje (mensaje tipo 0x95) es el que recibe el nodo destino, y contiene los n bytes enviados desde el nodo origen.

0x95 - Received n RF Data Bytes From Transceiver ID (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload							Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length	Type (0x95)	Packet ID	Target/Sender	LQI	Addr Mode	Dest Txcvr Address	Source Txcvr Address	n Data Bytes	Csum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1	1	2 or 8	2 or 8	n	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	Between thirteen and twenty-five plus the number of data bytes ((13 to 25) +n).
Type	0x95 - Received n RF Data Bytes From Transceiver ID.
Packet ID	Packet ID.
Target/Sender	Upper nibble is the target of the message and lower nibble is the source (0 = app, 1 = host).
LQI	Link Quality Indicator which gives feedback to the strength of the received packet.
Address Mode	Upper nibble describes the destination transceiver address and lower nibble describes the source transceiver address (0 = short 2 byte address, 1 = long 8 bytes address).
Destination Transceiver Address	Two or eight byte destination transceiver address (LSB to MSB). The number of bytes (2 - short or 8 - long) is determined by the upper nibble of the Address Mode field.
Source TransceiverAddress	Two or eight byte source transceiver long address (LSB to MSB). The number of bytes (2 - short or 8 - long) is determined by the upper nibble of the Address Mode field.
n Data Bytes	Data bytes received over the RF link (n bytes).
Csum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.22 Mensajes recibir n bytes de datos de otro nodo (Fuente: [9])

3.3.4.9 Configuración de puertos [Tablas 3.23 - 3.27]

A continuación se presenta el mensaje para configurar los 8 puertos digitales de cada módulo (mensaje 0x1E) y su ACK (mensaje 0x9E). Es posible configurarlos como entrada con pullup, entrada sin pullup, salida inicialmente en 0, salida inicialmente en 1.

- El byte direction indica si el puerto está configurado como entrada o como salida.
- El byte Pullup, indica, en caso de que el puerto esté configurado como entrada, si está o no activa la resistencia de pullup en ese mismo puerto
- El byte Output Value indica, en caso de que el puerto esté configurado como salida, si este puerto está inicialmente en 0 o en 1.

0x1E – Set Digital Pin Configuration (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x08)	Type (0x1E)	Direction	Pullup	Output Value	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x08.
Type	0x1E – Set Digital Pin Configuration.
Direction	This is a bitmask that contains the pin direction (0 = input, 1 = output) for all of the digital I/O pins (refer to Table 1 for bit positions).
Pullup	This is a bitmask that determines whether the internal pullup resistor is used (0 = disabled, 1 = enabled) for any pins that are configured as inputs (refer to Table 1 for bit positions).
Output Value	This is a bitmask that contains the initialized output value (0 = low, 1 = high) for any pins that are configured as outputs (refer to Table 1 for bit positions).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Pin Number	Bit Position (LSB to MSB)	Pin Description
0	0b00000001	MC9S08GT60 micro pin PTD3 (pin 23)
1	0b00000010	MC9S08GT60 micro pin PTD4 (pin 24)
2	0b00000100	MC9S08GT60 micro pin PTA4 (pin 39)
3	0b00001000	MC9S08GT60 micro pin PTA5 (pin 40)
4	0b00010000	MC9S08GT60 micro pin PTA6 (pin 41)
5	0b00100000	MC9S08GT60 micro pin PTC0 (pin 2)
6	0b01000000	MC9S08GT60 micro pin PTC1 (pin 3)
7	0b10000000	MC9S08GT60 micro pin PTC5 (pin 7)

Table 1

0x9E – Set Digital Pin Configuration Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x9E)	Checksum (0xA4)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x9E – Set Digital Pin Configuration Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.23 Configurar puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje se utiliza para adquirir la configuración de los puertos digitales del módulo ZigBee (mensaje tipo 0x1) y su respuesta (mensaje tipo 0x9F)

0x1F – Query Digital Pin Configuration (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x1F)	Checksum (0x25)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x1F – Query Digital Pin Configuration.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0x9F – Respond With Digital Pin Configuration (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x08)	Type (0x9F)	Direction	Pullup	Output Value	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x08.
Type	0x9F – Respond With Digital Pin Configuration.
Direction	This is a bitmask that contains the pin direction (0 = input, 1 = output) for all of the digital I/O pins (refer to Table 1 for bit positions).
Pullup	This is a bitmask that determines whether the internal pullup resistor is used (0 = disabled, 1 = enabled) for any pins that are configured as inputs (refer to Table 1 for bit positions).
Output Value	This is a bitmask that contains the initialized output value (0 = low, 1 = high) for any pins that are configured as outputs (refer to Table 1 for bit positions).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.24 Adquirir configuración de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])

A continuación se presenta el mensaje utilizado para cambiar el estado de los puertos configurados como salida en el módulo ZigBee (mensaje 0x20) y su respectivo ACK (Mensaje 0xA0)

0x20 – Set Digital Pin State (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0x20)	State	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06.
Type	0x20 – Set Digital Pin State.
State	This is a bitmask that contains the output value (0 = low, 1 = high) for any pins that are configured as outputs (refer to Table 1 for bit positions).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

0xA0 – Set Digital Pin State Acknowledged (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0xA0)	Checksum (0xA6)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0xA0 – Set Digital Pin State Acknowledged.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.25 Enviar estado de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])

El siguiente mensaje es utilizado para adquirir el estado de los puertos digitales del módulo. (Mensaje 0x21) y su mensaje respuesta con el estado de los puertos (mensaje 0xA1).

0x21 – Query Digital Pin State (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x21)	Checksum (0x27)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x21 – Query Digital Pin State.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0xA1 – Respond With Digital Pin State (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload	Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x06)	Type (0xA1)	Pin State	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x06.
Type	0xA1 – Respond With Digital Pin State.
Pin State	This is a bitmask that contains the input value (0 = low, 1 = high) for any pins that are configured as inputs (refer to Table 1 for bit positions). Pins not configured as inputs will be represented as low (0).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.26 Adquirir estado de puertos digitales y su ACK (Fuente: [9])

A continuación se presenta el mensaje utilizado para adquirir el estado de los puertos análogos del módulo. (Mensaje 0x22) y su mensaje respuesta con el estado de los puertos (mensaje 0xA2).

0x22 – Query Analog Pin Values (Host -> RF Transceiver)

Size (bytes)	Header			Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x05)	Type (0x22)	Checksum (0x28)	End Byte (0x04)
	1	1	1	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x05.
Type	0x22 – Query Analog Pin Values.
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Type.
End Byte	0x04 (EOM).

0xA2 – Respond With Analog Pin Values (RF Transceiver -> Host)

Size (bytes)	Header			Payload		Trailer	
	Start Byte (0x01)	Length (0x09)	Type (0xA2)	Analog Value PTB0	Analog Value PTB1	Checksum	End Byte (0x04)
	1	1	1	2	2	1	1

Field Name	Field Description
Start Byte	0x01 (SOH).
Length	0x09.
Type	0xA2 – Respond With Analog Pin Values.
Analog Value PTB0	The 10 bit unsigned ADC reading value for analog input PTB0 (LSB to MSB).
Analog Value PTB1	The 10 bit unsigned ADC reading value for analog input PTB1 (LSB to MSB).
Checksum	Checksum of bytes from the Start Byte through the Payload.
End Byte	0x04 (EOM).

Tabla 3.27 Adquirir valor de puertos análogos y su ACK (Fuente: [9])

3.4 Programación de la Interfaz Educativa ZigBee

Se escogió Microsoft Visual Basic 6.0 para la programación del software por su facilidad para el manejo del puerto serial y para la creación de una interfaz gráfica sencilla y amigable. En el próximo capítulo se describirá paso a paso el uso de la Interfaz.

Teniendo en cuenta el protocolo de comunicaciones descrito en la sección anterior, se elaboraron las siguientes gráficas (Figura 3.6, 3.7, 3.8) y tablas (Tabla 3.28, 3.29, 3.30)

3.4.1 Tipos de comunicación utilizados en la Interfaz Educativa ZigBee

En esta sección se agruparon los mensajes en 3 clases, dependiendo del tipo de comunicación en la que se utilizan. Se listan los identificadores utilizados para cada una de las aplicaciones, los mismos que se tuvieron en cuenta a la hora de programar la aplicación.

3.4.1.1 Comunicación con un nodo local (Figura 3.6, Tabla 3.28)

Este primer tipo de comunicación desde el host o PC al transceiver ZigBee involucra todos los mensajes de configuración del nodo, envío y adquisición de datos de control en el transceiver que está directamente conectado al PC desde donde se envían o solicitan los datos.

En la Figura 3.6, el PC o host, envía una solicitud al transceiver ZigBee por medio del puerto serial, una vez atendida la solicitud el transceiver envía una respuesta, que puede contener los datos solicitados, o simplemente servir de acuse de recibo para confirmarle al usuario que tal tarea efectivamente se llevó a cabo como lo solicitó.



Figura 3.6 Modo de comunicación local (Fuente: Autores)

Descripción	Solicitud	Respuesta
Conf.³⁰. PAN ID	0x01+PANid_L+PANid_H	0x81
Adq.³¹ PAN ID	0x02	0x82+PANid_L+PANid_H
Conf. Dir.³². nodo	0x03+LA ³³ 1...+LA8+SA ³⁴ 1+SA2	0x83
Adq. Dir. nodo	0x04	0x84+ LA1...+LA8+SA1+SA2
Conf. Canal RF	0x05+Canal	0x85
Adq. Canal RF	0x06	0x86+Canal
Recibir todos (Sniffer)	0x07+(habilitar/deshabilitar)	0x87
Adq. Estadísticas	0x0D	0x8D+Paq. Tx + ACK Tx + Paq. Rx + ACK Rx
Borrar Estadísticas	0x0E	0x8E
Conf. Potencia	0x0F+RF Level	0x8F
Adq. Potencia	0x10	0x90+RF Level
Salvar conf. NVRAM	0x11	0x91
Envia config I/O	0x1E+Direction+Pullup+Output	0x9E
Adquiere Config I/O	0x1F	0x9F+Direction+Pullup+Output
Modifica Estado I/O	0x20+State	0xA0
Adquiere Estado I/O	0x21	0xA1+State
Adquiere puertos análogos	0x22	0xA2+ValuePTB0+ValuePTB1

Tabla 3.28 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación local (Fuente: Autores)

³⁰ Configurar

³¹ Adquirir

³² Dirección

³³ Long Address

³⁴ Short Address

3.3.5.2 Comunicación con un nodo remoto tipo 1 (Figura 3.7, Tabla 3.29)

En el primer tipo de comunicación con un nodo remoto los mensajes viajan desde un transceiver origen hasta un transceiver destino. Son generados en el PC o host como mensajes tipo 0x14 y son interpretados en su destino también por el host, como mensajes del tipo 0x95. Una vez es interpretado y procesado el mensaje por el host, este debe enviar un ACK de tipo 0x14 al origen para confirmar el recibo del mensaje. En la aplicación, a la llegada de este tipo de mensajes se enciende un led, que le proporciona al usuario una indicación visual de la entrega del mensaje.

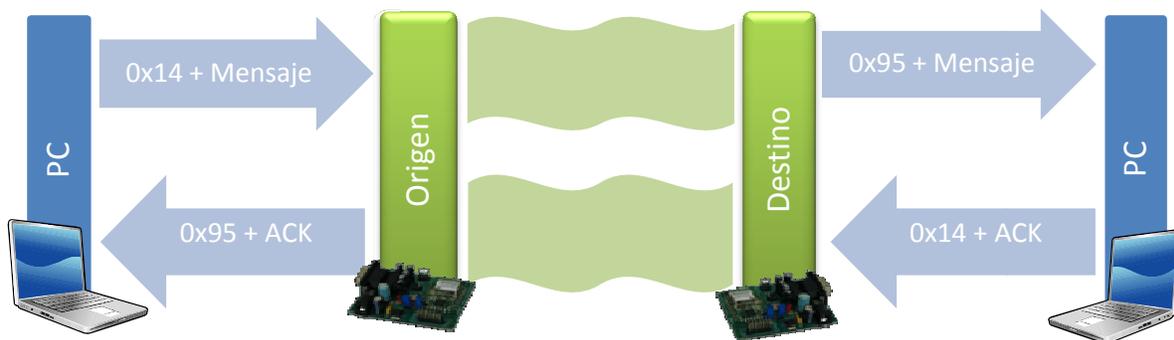


Figura 3.7 Modo de comunicación remota tipo 1 (Fuente: Autores)

Descripción	Mensaje	ACK
Chat	C+Mensaje	D
Dibujo	F+CoordX,CoordY	----
Envía Plano Domótica	V+A+NamePlano	W+A
Envía XY Sensor1	V+B+XYBombillo1	W+B
...
Envía XY Sensor 19	V+T+XYHumo	W+Y
Sensor 1 ON/OFF	V+Y+A+(1 ó 0)	W+Y+A+(1 ó 0)
...
Sensor 19 ON/OFF	V+Y+S+(1 ó 0)	W+Y+S+(1 ó 0)

Tabla 3.29 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación remota tipo 1 (Fuente: Autores)

3.3.5.3 Comunicación con un nodo remoto tipo 2 (Figura 3.8, Tabla 3.30)

Este tipo de comunicación, además de involucrar un nodo remoto, incluye una solicitud hacia este para adquirir o enviar algún tipo de información, sea de puertos digitales o análogos. Por medio de este tipo de comunicación es posible cambiar la configuración y leer el estado de los puertos digitales de un nodo remoto. De la misma manera, es posible leer el valor de los puertos análogos en un nodo remoto.

El PC origen envía la solicitud al destino dentro de un mensaje tipo 0x14. En el PC destino, se procesa esta información y se realiza la solicitud deseada al transceiver destino por medio del puerto serial. El transceiver responde al PC destino con la información solicitada, este la procesa y le envía al nodo origen esta misma información o simplemente un ACK dentro de un mensaje tipo 0x14, indicando que se procesó la solicitud enviada.

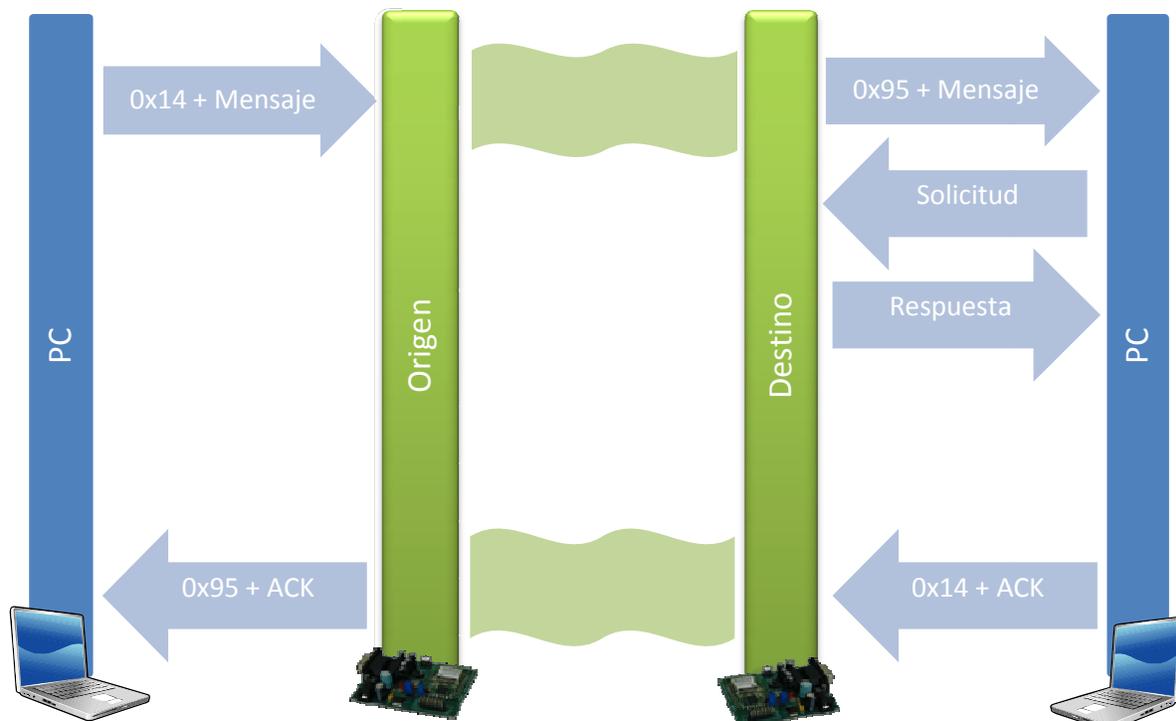


Figura 3.8 Modo de comunicación remota tipo 2 (Fuente: Autores)

Descripción	Mensaje	Solicitud	Respuesta	ACK
Envia config I/O	I+Pto1Cfg+...+Pto8Cfg	1E+Direction+Pullup+Output	0x9E	T
Adquiere Config I/O	J	0x1F	0x9F+Direction+Pullup+Output	M+Pto1Cfg+...+Pto8Cfg
Modifica Estado I/O	K+Pto1Estado+...+Pto8Estado	0x20+State	0xA0	U
Adquiere Estado I/O	L	0x21	0xA1+State	S+Pto1Estado+...+Pto8Estado
Adquiere puertos análogos	Q	0x22	0xA2+ValuePTB0+ValuePTB1	R+AnalogVal1_L+AnalogVal1_H+AnalogVal2_L+AnalogVal2_H

Tabla 3.30 Tipos de mensajes involucrados en la comunicación remota tipo 2 (Fuente: Autores)

CAPITULO IV: LA INTERFAZ EDUCATIVA ZIGBEE (DIEZ)

A continuación se presenta la descripción detallada de la aplicación DIEZ: Interfaz Educativa ZigBee desarrollada como resultado del presente trabajo.

4.1 Requerimientos del Sistema

Los requerimientos técnicos mínimos del equipo donde se instale la Interfaz DIEZ son:

- Sistema Operativo Windows 98 o Windows XP, Windows Server. La aplicación no es operativa en Windows Vista.
- Como mínimo procesador Pentium III o equivalente, con 256 MB de RAM y 100 MB libres de espacio en disco.
- Instalación en modo administrador con usuario sin restricciones.
- Puerto serial libre. En caso de no contar con un puerto serial libre, se requiere un puerto USB libre y un cable convertidor USB-Serial que esté en la capacidad de crear un puerto serie virtual. Para las pruebas se utilizaron 2 tipos de convertidores que funcionaron correctamente de las marcas TrendNet y Omega, se recomienda utilizar este mismo tipo de cables, dado que se probó con otros que no funcionaron correctamente.
- Mínimo 2 nodos ZigBee para realizar la comunicación entre ellos.
- Batería de 9V o adaptador de 9V para cada nodo ZigBee

4.2 Conexión del sistema

Como se observa en la [Figura 4.1], cada nodo ZigBee se debe conectar a puerto serial del PC y a la alimentación DC de 9V, con batería o directamente de la red, por medio de un adaptador.

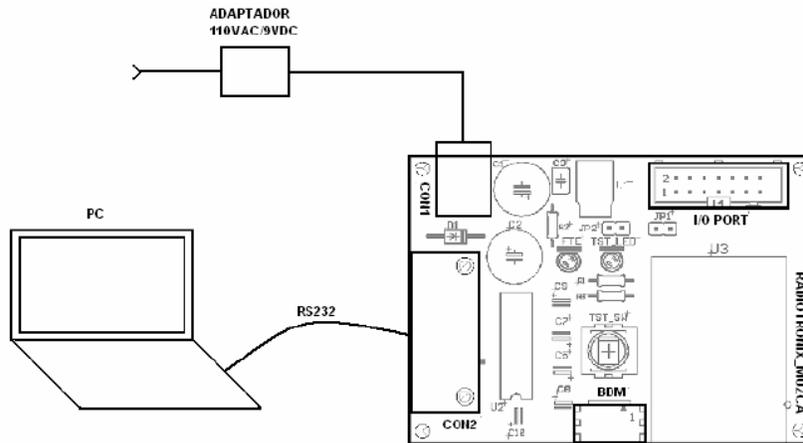


Figura 4.1 Conexión de los módulos. (Fuente: [5])

4.3 Instalación de la aplicación

Para instalar correctamente la aplicación es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Inserte el CD de instalación en la unidad de CD-ROM
2. Utilice el Explorador de Windows para mirar los archivos contenidos en el CD
3. Ubique el puntero del mouse sobre el icono "Setup" y haga doble clic. [Figura 4.2]



Figura 4.2 Contenido del Instalador. (Fuente: Autores)

4. A continuación observará el siguiente cuadro de diálogo. Haga clic en "Aceptar". [Figura 4.3]

Instalación de Interfaz Educativa ZigBee (DIEZ)

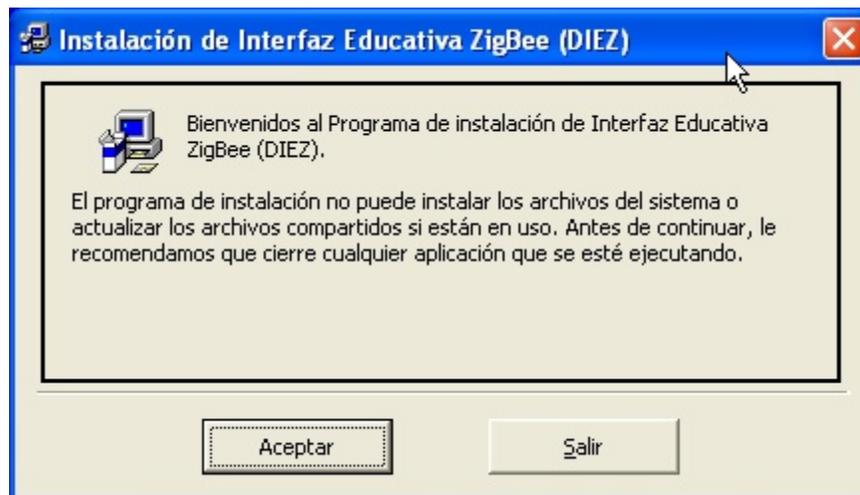
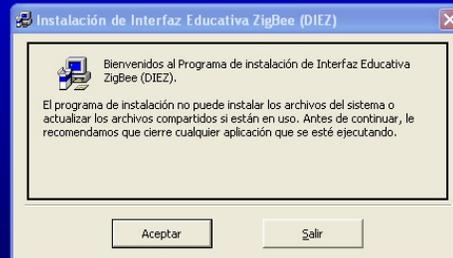


Figura 4.3 Ingresar a la instalación. (Fuente: Autores)

5. Se le mostrara la ubicación donde quedara instalado el software, si desea cambiar la ubicación haga clic en “Cambiar Directorio”.

Una vez definido el directorio de instalación, haga clic en el botón superior para iniciar la instalación [Figura 4.4].

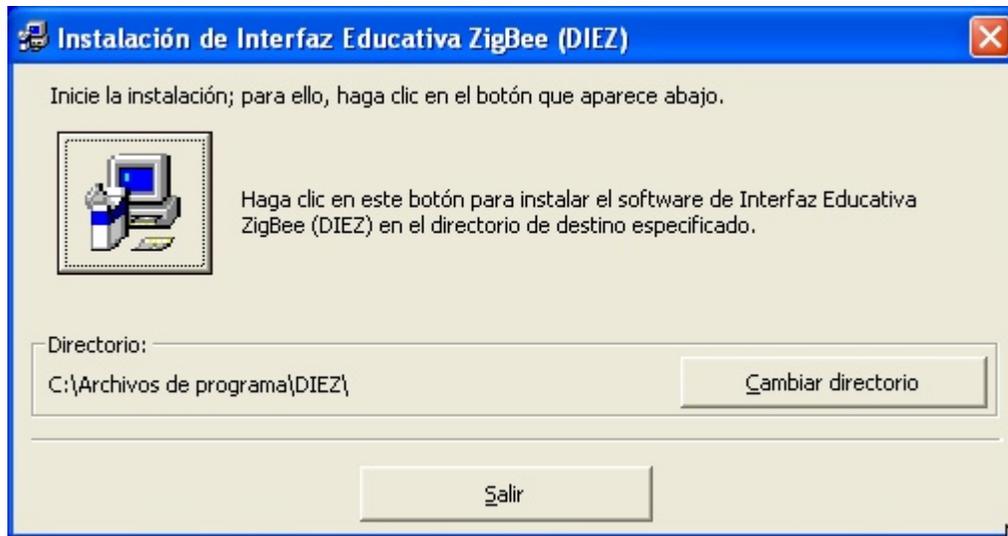


Figura 4.4 Inicio de la Instalación. (Fuente: Autores)

6. Se mostrara el directorio que se creara en el menú Inicio [Figura 4.5].

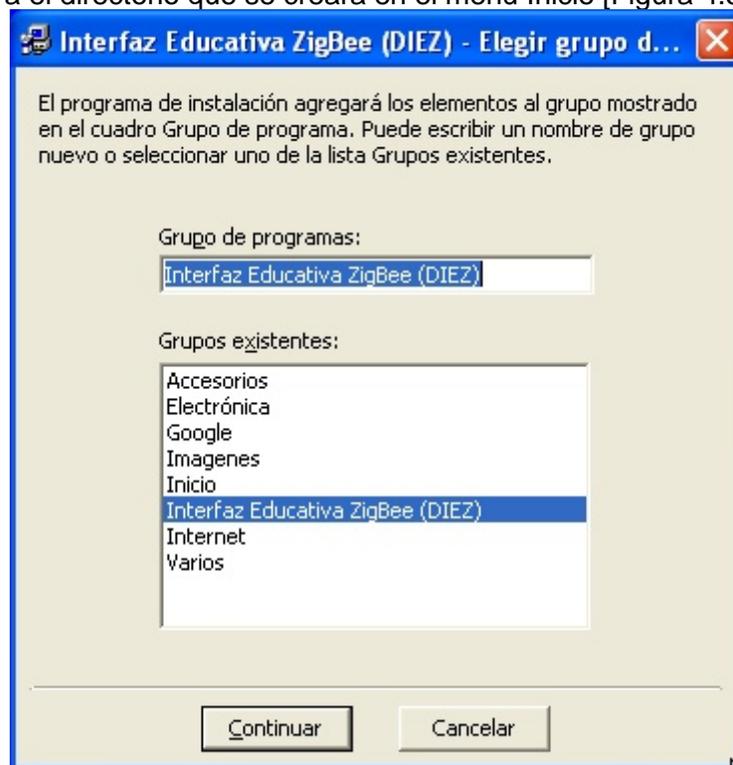


Figura 4.5 Directorio del menú de Inicio. (Fuente: Autores)

Finalmente se le indicara que el software ha sido instalado correctamente.

Para iniciar el software en el del debe ubicarlo en inicio>Todos los Programas>Interfaz Educativa ZigBee (DIEZ).

4.4 Manual de operación de la Interfaz DIEZ

4.4.1 Ventana Principal

Una vez instalada y ejecutada la interfaz, la aplicación le presenta al usuario la siguiente ventana inicial [Figura 4.6].

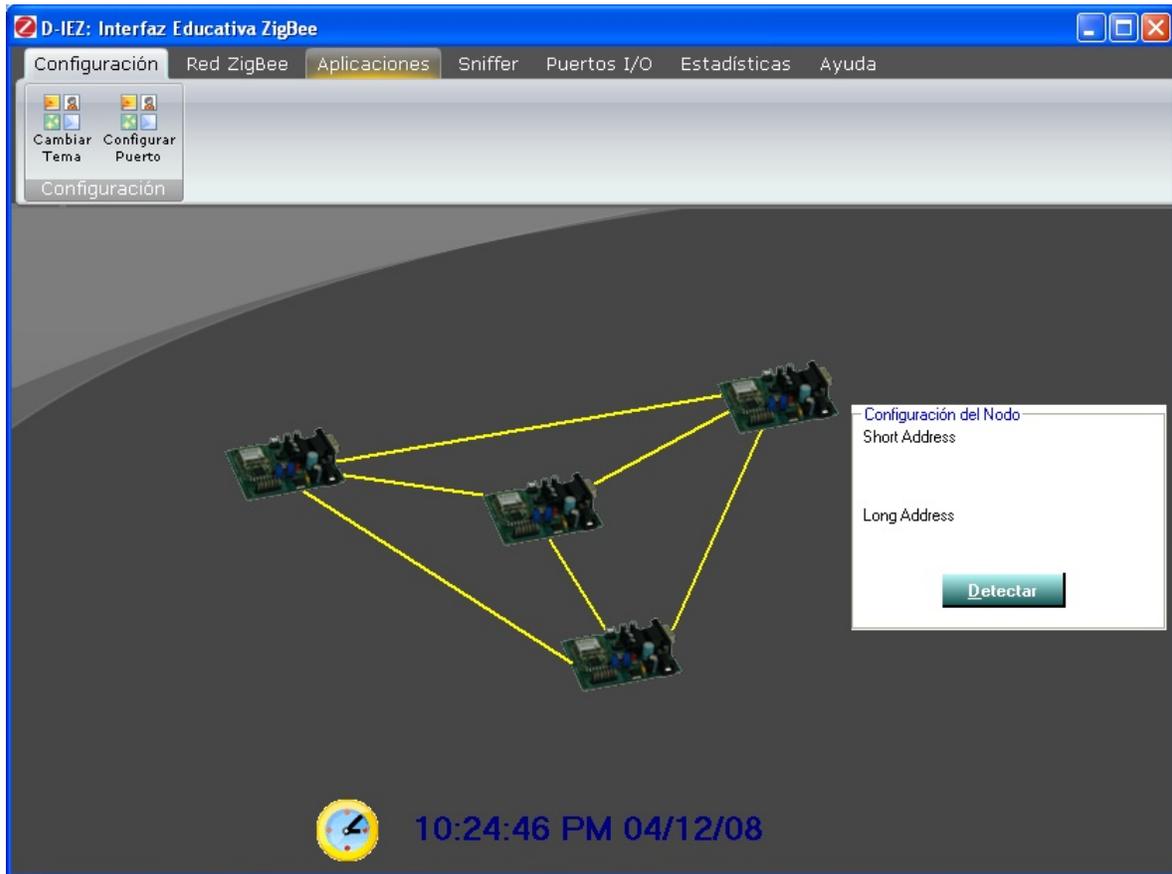


Figura 4.6 Ventana Inicial de la Interfaz DIEZ. (Fuente: Autores)

En la parte superior de la pantalla se muestra el menú de la aplicación, que incluye los siguientes ítems:

Configuración: Permite configurar el número del puerto serial por medio del cual la aplicación se comunicará con el nodo ZigBee. Además, en este módulo se puede establecer skin o piel de la interfaz a gusto del usuario.

Red ZigBee: En este módulo se configura la red y el nodo ZigBee conectado por puerto serial al equipo host.

Aplicaciones: El módulo de aplicaciones está dividido en 2 categorías, la primera orientada a las comunicaciones y la segunda orientada a la domótica.

Sniffer: En este módulo es posible capturar todos los paquetes que circulan en la red ZigBee y analizar su estructura y contenido.

Puertos I/O: Por medio del módulo de puertos I/O, el usuario puede configurar y leer los puertos análogos y digitales de cualquier módulo ZigBee conectado a la red remotamente o localmente, cuando se lee o configura algún puerto del módulo ZigBee directamente conectado al host.

Estadísticas: Las estadísticas muestra la cantidad de paquetes enviados y recibidos por el módulo ZigBee directamente conectado al host.

Ayuda: El módulo de ayuda le ofrece al usuario de la Interfaz DIEZ una guía de operación de la misma.

4.4.1.1. Detección del Nodo ZigBee

Como primera medida después de abrir la Interfaz DIEZ, se debe hacer clic en el botón “Detectar” del recuadro “Configuración del Nodo”, para comprobar que el nodo ZigBee se encuentre correctamente conectado al host. En caso de que el software detecte el nodo, deberá presentar sus direcciones corta y larga. En caso contrario, en recuadro se indicará que no se detectó ningún nodo conectado y se deberá proceder a revisar la conexión del módulo ZigBee al host [Figura 4.7].

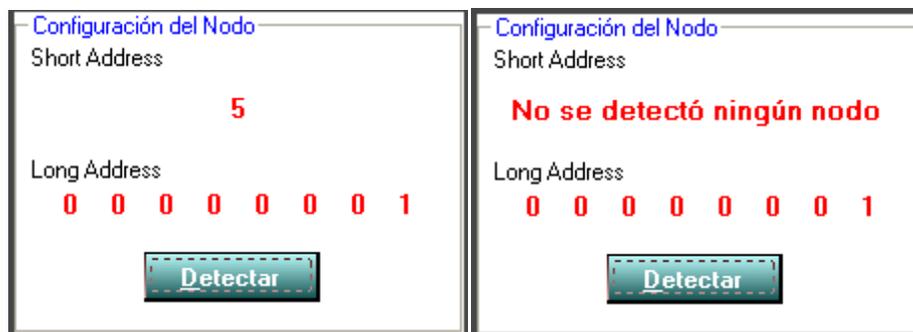


Figura 4.7 Detección y no detección del nodo ZigBee. (Fuente: Autores)

Las posibles fallas que conllevan a la no detección del módulo ZigBee suelen ser las siguientes:

- a. El módulo ZigBee se encuentra desconectado.
- b. El led rojo del módulo ZigBee no parpadea cada 2 segundos. Este led, que tiene la funcionalidad de “Heartbeat” indica visualmente la correcta operación del ZigBee y tal como se traduce al español, sería el latido del corazón del módulo ZigBee, si este led no está parpadeando constantemente, es posible que el módulo ZigBee tenga problemas.
- c. El cable serial está mal conectado al PC o al módulo ZigBee.
- d. El puerto serial está mal seleccionado. Es necesario identificarlo correctamente en el Administrador de Dispositivos de Windows.
- e. La velocidad del puerto serial está mal configurada
- f. El cable convertidor USB-Serial presenta fallas o no es compatible con la aplicación.³⁵

4.4.2 Configuración del Puerto Serial

Para ingresar a esta sección, haga clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre la pestaña “Configuración” y posteriormente en “Configurar Puerto”. En este módulo se realiza la configuración de la aplicación para que a través de esta el usuario se pueda comunicar con el nodo ZigBee conectado al host por el puerto serial. Los parámetros a configurar son:

- **Puerto Serial:** Se debe seleccionar el número de puerto serial al cual está conectado el Nodo.³⁶
- **Velocidad:** Permite configurar la velocidad de transmisión del puerto serial en bits por segundo.

³⁵ Se recuerda que, en caso de requerirse un cable convertidor USB-Serial se recomiendan las marcas TrendNet y Omega, utilizadas y puestas a prueba en el desarrollo de la aplicación.

³⁶ Se recomienda comprobar los puertos seriales disponibles en el Administrador de Dispositivos de Windows, especialmente si se está utilizando un cable serial, ya que el número de puerto asignado a estos dispositivos depende del puerto USB al que se conecte.

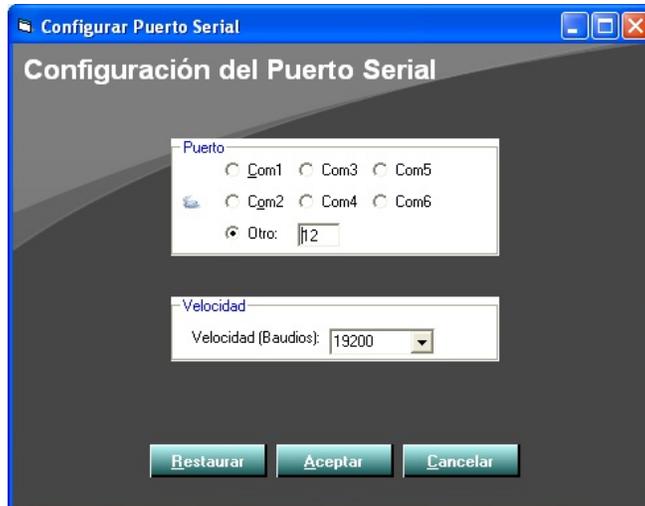


Figura 4.8 Configuración del puerto serial. (Fuente: Autores)

Una vez configurados los parámetros, hacer clic en “Aceptar” para guardarlos [Figura 4.8]

4.4.3 Configuración del Nodo ZigBee

Para ingresar a esta sección se debe hacer clic en la pestaña “Red ZigBee” y posteriormente en “Agregar Nodo”. Se desplegará la siguiente ventana en la que se podrán configurar todos los parámetros del nodo ZigBee [Figura 4.9].



Figura 4.9 Módulo de Configuración del Nodo a agregar. (Fuente: Autores)

- **PAN ID:** Indica el número de la red al cual está asociado el nodo (0-16383)
- **Dirección del Nodo:** Dependiendo del número de nodos requeridos en la red, puede ser corto (2 bytes) o largo (8 bytes)
- **Canal:** Como ya se había mencionado anteriormente, la frecuencia de trabajo de los módulos ZigBee está alrededor de los 2.4 GHZ, en este caso desde los 2.405 GHz hasta los 2485 GHz. Esta banda se divide en 16 canales de 5MHz cada uno [Tabla 4.1]. Es necesario aclarar que los nodos deben estar en el mismo canal para comunicarse.

Canal	Frecuencia
11	2405 MHz
12	2410 MHz
13	2415 MHz
14	2420 MHz
15	2425 MHz
16	2430 MHz
17	2435 MHz
18	2440 MHz
19	2445 MHz
20	2450 MHz
21	2455 MHz
22	2460 MHz
23	2465 MHz
24	2470 MHz
25	2475 MHz
26	2480 MHz

Tabla 4.1. Canales. (Fuente: Autores)

- **Potencia de Transmisión:** Se puede configurar el nivel de potencia de transmisión de cada uno de los nodos. La escala va de 1 a 31, donde 1 es el nivel mínimo de potencia y 31 el nivel máximo.

Botones “Enviar”

Los parámetros se deben configurar uno a uno seleccionando o ingresando la opción deseada y haga clic en el botón izquierdo del mouse con el putero sobre el botón “Enviar”. El protocolo de comunicaciones seriales programado en los módulos ZigBee siempre envía un ACK al puerto serial en respuesta a cualquier comunicación exitosa; esta característica se aprovecha para darle funcionalidad a los leds indicadores que se encienden cuando reciben esta respuesta. Por lo tanto, si el parámetro se configuró correctamente, inmediatamente después de hacer clic en el botón izquierdo del mouse

con el puntero sobre el botón “Aceptar” se debe encender el LED correspondiente. Todos los LEDs presentes en la interfaz contemplan esta característica e indican si la comunicación fue o no exitosa.

Botones “Adquirir”

En caso de no conocer la configuración de un Nodo ZigBee, es posible revisar sus parámetros previamente configurados, por medio de los botones “Adquirir”. Al hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre cualquiera de los botones “Adquirir”, el Nodo ZigBee enviará los datos del parámetro correspondiente a la Interfaz y se presentarán en pantalla, al tiempo que se encenderá el LED indicador.

Botón “Salvar configuración en la NVRAM”

Mientras no se haga clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre este botón, la configuración de los parámetros se grabará en la memoria RAM de cada uno de los módulos ZigBee, es decir si se apagan, esta configuración se perderá. Por esta razón, en caso de necesitar guardar esta configuración para usos posteriores, se dispuso de este botón que le ordena al módulo ZigBee guardar todo lo de la memoria RAM en la memoria no volátil.

4.4.4 Aplicación ZigBee Chat

Las aplicaciones de comunicaciones le permiten al usuario interactuar con otros nodos pertenecientes a la red. Esta aplicación, por ejemplo, permite enviar y recibir mensajes cortos entre nodos de la red. Para Ingresar al Chat ZigBee, haga clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre la pestaña “Aplicaciones” y luego en la sección “Comunicaciones”, sobre el botón “Chat”.



Figura 4.10 Chat ZigBee. (Fuente: Autores)

Enviar un mensaje a un nodo remoto

Primero que todo se debe ingresar la dirección del nodo ZigBee destino, indicando si se va a utilizar el direccionamiento corto o largo [Figura 4.10].

Posteriormente se debe escribir el mensaje en el recuadro “Mensaje a enviar” y hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Enviar” o presionar la tecla “Intro”. El mensaje enviado aparecerá en el recuadro superior, donde aparecerá toda la conversación con los otros nodos ZigBee. Si el mensaje efectivamente fue entregado a su destinatario el LED se encenderá, de lo contrario será necesario enviarlo de nuevo. Para limpiar la ventana de conversación, hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Limpiar”.

En el nodo destino, la ventana del chat se desplegará automáticamente una vez se reciba el mensaje. Se indicará la dirección del nodo fuente del mensaje. Para contestarlo, el usuario simplemente debe ingresar la dirección en el campo correspondiente y hacer clic en “Enviar”.

4.4.5. Aplicación Dibujo ZigBee

La pizarra o dibujo ZigBee [Figura 4.11] es una aplicación en la que el usuario puede enviarle un dibujo a otro nodo ZigBee de la red, variando el intervalo de transmisión de datos. Para enviar un dibujo a otro nodo se debe ingresar la dirección de destino, el intervalo de transmisión dado en milisegundos³⁷ y hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Activar”, el LED se encenderá. Una vez activada la aplicación se debe realizar el dibujo dentro del recuadro blanco, el nodo ZigBee enviará datos al destino sólo cuando se esté dibujando. Se envían las coordenadas del cursor al momento de hacer clic, y con una frecuencia que corresponde al intervalo de transmisión ingresado.

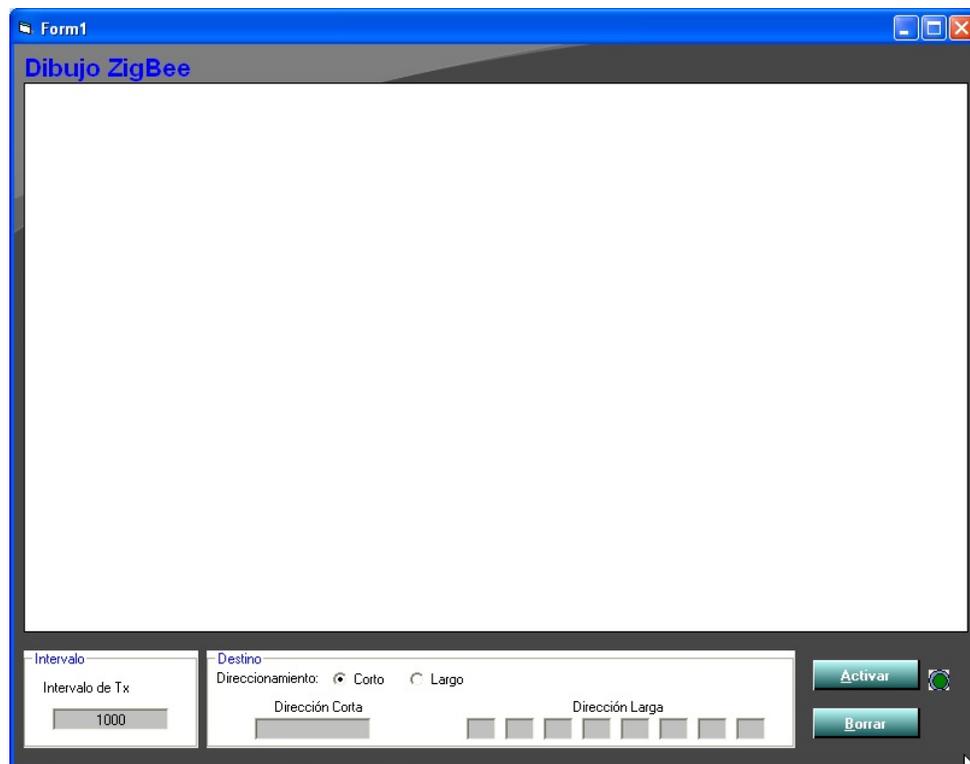


Figura 4.11 Pizarra ZigBee. (Fuente: Autores)

Para apagar la aplicación, hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Apagar”. El LED se apagará.

³⁷ Por defecto 1000 ms

4.4.6 Aplicación Domótica

La aplicación Casa ZigBee [Figura 4.12] permite simular el entorno de un hogar dotado con tecnología ZigBee. Es posible cargar el plano de cualquier casa e interactuar por medio de la red ZigBee con los sensores y actuadores instalados en ella.



Figura 4.12 Aplicación Domótica. (Fuente: Autores)

Cargar plano de Casa ZigBee

Para cargar un nuevo plano en la aplicación, haga clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón "Cargar Plano..." y escoja el archivo deseado. Para facilitar nuevos agregados, el formato de los planos puede ser de imagen .jpg

Ubicación de los nodos

En la simulación se cuenta con varios actuadores ZigBee que encienden o apagan las luces de la casa y ciertos electrodomésticos. Cada uno de estos componentes se puede ubicar en cualquier lugar de la casa sólo con arrastrarlo desde el menú inferior hasta el lugar deseado.

Nodo destino

Se debe establecer el nodo destino que se quiere controlar remotamente, introduciendo su dirección. El nodo destino debe estar conectado a un PC en el que debe estar corriendo la Interfaz DIEZ.

Activar la simulación

Para activar la simulación, haga clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Activar”. Si la aplicación logra una comunicación exitosa con el nodo destino, el LED se encenderá y en la interfaz destino, automáticamente se cargará el mismo plano seleccionado en el host. Es importante anotar que en las dos aplicaciones (transmisor y receptor) se debe contar con el archivo correspondiente al plano, nombrado de la misma manera y en la misma ubicación.

Ubicación de los nodos

En el nodo origen se deben ubicar los nodos en el plano de la casa según se desee. Esto se realiza arrastrando con el puntero del mouse cada nodo desde la parte inferior hasta la ubicación deseada. Una vez ubicados todos los nodos, se procede a enviar su ubicación al nodo destino por medio del Panel de Control [Figura 4.13], que se abrirá automáticamente una vez se haya enviado el plano, o manualmente, si se ha hecho click en el botón “Panel”.



Figura 4.13 Panel de Control (Fuente: Autores)

Panel de control e interacción con la simulación

Por medio del Panel de Control es posible enviar la ubicación de cada uno de los nodos en caso de que se desee cambiar, haciendo clic en los botones “Ubicar”. El led indicador ubicado al costado de cada botón, se encenderá si el sensor fue ubicado correctamente en el nodo destino. Además, es posible apagar o encender remotamente cada uno de los sensores haciendo doble clic sobre la imagen del sensor. También es posible encender y apagar cualquier sensor haciendo doble clic directamente sobre su imagen en el plano de la aplicación. En la simulación los sensores sólo encenderán en el nodo origen una vez hayan encendido en el destino.

4.4.7 Puertos I/O Digitales y Análogos

Para utilizar este módulo es necesario haber hecho previamente clic sobre el botón “Detectar” de la pantalla inicial, ya que se necesita saber previamente la dirección del nodo conectado directamente al host para determinar si se va a realizar un trabajo de puertos local o remoto.

Si ya se ha hecho clic con el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Detectar” en la pantalla inicial, como se sugirió anteriormente, en el campo dirección corta y dirección larga aparecerá la dirección del nodo local³⁸ en los campos correspondientes.

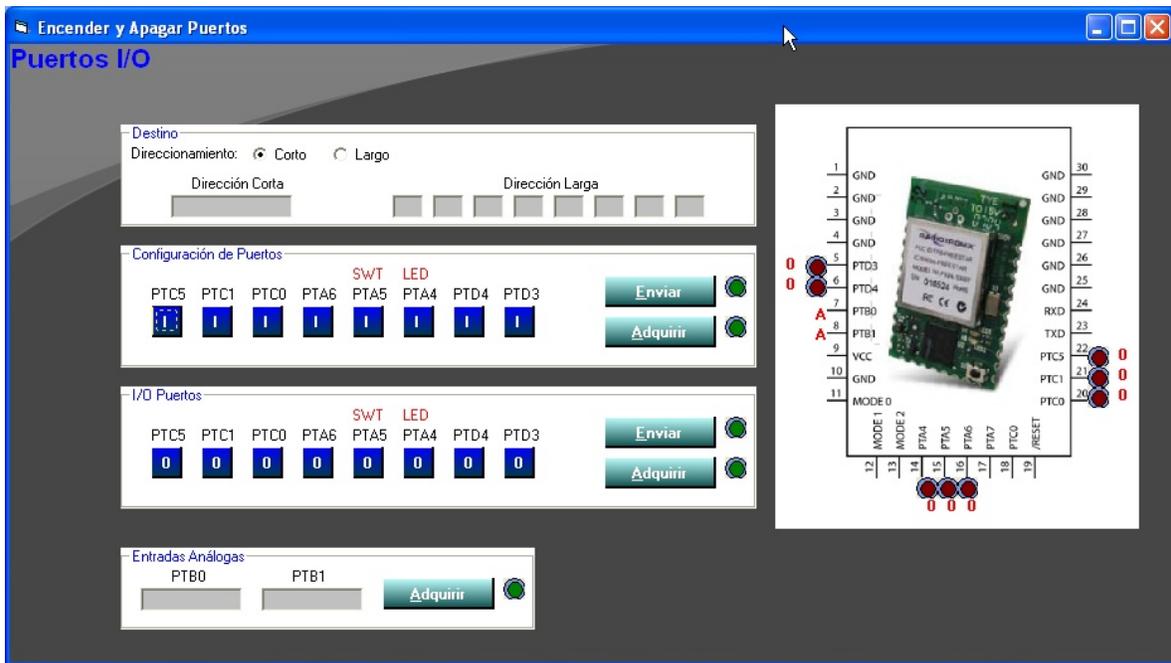


Figura 4.14 Puertos I/O Digitales y Análogos

Por medio de esta ventana [Figura 4.14] es posible configurar, controlar y monitorear los puertos digitales y análogos de cualquier módulo ZigBee de la red, incluyendo los del mismo nodo. La imagen de la derecha permite observar la configuración de cada puerto del módulo ZigBee y su estado (ON/OFF).

- Adquisición y configuración Remota: Es posible configurar y/o adquirir la configuración de los puertos digitales y análogos de cualquiera de los nodos que

³⁸ Se le llama nodo local al que está directamente conectado al host o PC desde el que se está trabajando

conforman la red ZigBee. El ACK de la configuración/adquisición remota exitosa de los puertos es indicado por un led amarillo.

- Adquisición y configuración Local: Es posible configurar y/o adquirir la configuración de los puertos digitales y análogos del nodo local, es decir, el que está directamente conectado al PC. El ACK de la configuración/adquisición local exitosa de los puertos es indicado por un led verde.

4.4.7.1 Puertos del módulo ZigBee

El módulo ZigBee Wl.FS24 cuenta con 8 puertos digitales y 2 puertos análogos [Figura 4.16] [Figura 4.17].



Figura 4.15 Puertos Digitales



Figura 4.16 Puertos Análogos

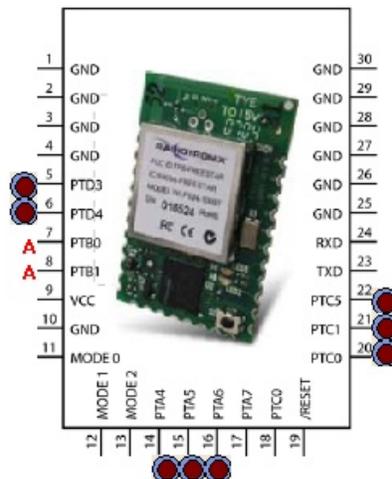


Figura 4.17 Ubicación física de los puertos

Además, cada módulo ZigBee cuenta con un LED de prueba conectado entre VDD (3.3 V) y el puerto PTA4 (pin14), así como un micropulsador que si se oprime envía a tierra el puerto PTA5 (pin 15). Estos dos elementos son clave para realizar pruebas de

comunicación y adquisición de datos entre los módulos si necesidad de conectar elementos externos a los puertos.

Tipos de configuración de los puertos digitales

Los puertos digitales pueden ser configurados como [Tabla 4.2]:

Símbolo	Tipo de puerto digital
O	Salida inicialmente en 1
o	Salida inicialmente en 0
I	Entrada con resistencia de Pullup ³⁹
i	Entrada sin resistencia de Pullup

Tabla 4.2 Tipos de puertos digitales. (Fuente: Autores)

Configurar el tipo puertos digitales de un nodo ZigBee

Inicialmente debemos ingresar la dirección del destino. Posteriormente, hacer clic repetidamente sobre el botón azul de cada puerto hasta que aparezca el tipo de puerto deseado según los símbolos de la tabla anterior. En la imagen de la derecha se indicará gráficamente cómo quedarán configurados estos puertos. Hacer clic en el botón “Enviar”, si la configuración fue exitosa, el LED se encenderá de color amarillo o verde, dependiendo si se realizó una configuración local o remota.

Adquirir el tipo de puertos digitales de un nodo ZigBee

Ingresar la dirección deseada del nodo del cual se quiere averiguar su configuración. Hacer clic con el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Adquirir”. Si la adquisición fue exitosa, el LED encenderá amarillo o verde, dependiendo si se adquirió la información desde un nodo local o remoto y se cargará tanto en los botones azules como en la gráfica de la derecha.

³⁹ También conocida como resistencia de polarización, usada en los circuitos lógicos para asegurar que los voltajes en las entradas se mantengan, aún si se desconectan los dispositivos externos.

Cambiar el estado de los puertos digitales de un nodo ZigBee

Por medio de este botón es posible cambiar el estado de los puertos configurados como salidas, para activar remotamente algún actuador o sensor conectado a ese puerto, por ejemplo interruptores. Al oprimir los botones azules cambiará el estado del puerto alternativamente, cuando se tenga la combinación deseada, hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Enviar”. Si el envío de la orden fue exitoso, el LED encenderá.

Adquirir el estado de los puertos digitales de un nodo ZigBee

Este tipo de aplicación es útil para leer si un puerto configurado como entrada está en 0 o en 1. Para leer las entradas, sólo hace falta hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Adquirir”, ingresando previamente la dirección del nodo destino. Si se descargó correctamente la información el LED encenderá y los datos se cargarán en los botones azules y en la imagen de la derecha.

Adquirir el estado de los puertos análogos de un nodo ZigBee

Para adquirir el valor análogo de los dos puertos análogos de cualquiera de los nodos interconectados entre sí, es necesario introducir la dirección del nodo objetivo y hacer clic con el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón “Adquirir”. Si los datos fueron descargados correctamente se cargarán en pantalla y el LED encenderá. Estos puertos son útiles en caso de requerir alguna aplicación con sensores análogos de temperatura o cualquier tipo de sensor que mida un parámetro variando proporcionalmente el valor de su resistencia.

4.4.9 Estadísticas

En este módulo [Figura 4.19] se proporciona al usuario el comportamiento de la red en cuanto a paquetes enviados, ACK Enviados, Paquetes Recibidos y ACK Recibidos.

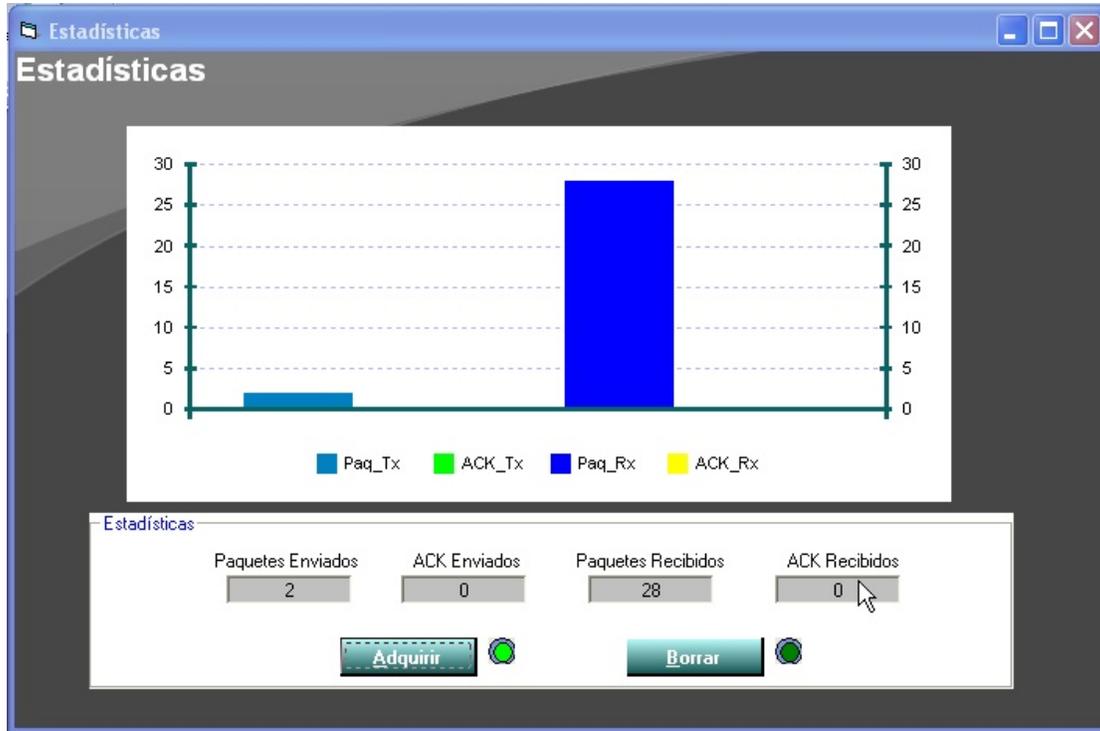


Figura 4.19 Estadísticas. (Fuente: Autores)

Cada nodo ZigBee tiene la capacidad de grabar en su memoria una estadística limitada de sus paquetes enviados y recibidos. Para descargar esta información, hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón "Adquirir", la información se cargará y se graficará automáticamente.

Para borrar la estadística almacenada en memoria dentro del nodo ZigBee, hacer clic en el botón izquierdo del mouse con el puntero sobre el botón "Borrar".

Para los dos casos, cuando el proceso se completó exitosamente, encenderá el led correspondiente.

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y PROXIMOS TRABAJOS

- El escenario de las comunicaciones se está trasladando desde las grandes escalas, con enlaces de kilómetros, antenas gigantes y pocos nodos, a un entorno de pequeña escala, con enlaces de tan sólo metros, dispositivos minúsculos y una gran cantidad de nodos, todos comunicados entre sí, conformando una gran red enmarañada y aparentemente desordenada pero muy estable y eficiente. ¿Cuáles serán los escenarios de los próximos años?, ¿redes microscópicas?, ¿nanoredes?
- Se concluye del presente trabajo la facilidad para el manejo de los módulos ZigBee, su relativamente sencilla adquisición en el país y su moderado costo. Las herramientas para aprovechar esta tecnología al máximo existen en nuestro entorno y el desarrollo de nuevas aplicaciones sólo debe estar limitada por la creatividad de los nuevos ingenieros más no por el acceso a las nuevas herramientas.
- Se recomienda para próximos desarrollos o trabajos, diseñar una herramienta de desarrollo propia, basada en la idea básica de Muzca Techonology, que para los requerimientos iniciales del presente proyecto fue adecuada, pero en el desarrollo del mismo se le encontraron algunos detalles por mejorar, como por ejemplo: el incorporar la posibilidad de insertar y remover los módulos ZigBee de la herramienta, sin necesidad de soldarlos y la necesidad de incluir uno o dos potenciómetros para variar las entradas análogas.
- Es posible adaptar la Interfaz DIEZ para el trabajo independiente del PC, reemplazando el host que se comunica con el ZigBee y traduce los comandos

seriales por un microcontrolador. Esto le daría una aplicabilidad mucho más amplia a la interfaz y promovería el desarrollo de nuevas aplicaciones.

- Debido a que se presentaron algunas dificultades para establecer la comunicación vía puerto serial utilizando los famosos convertidores USB-Serial, se recomienda para próximos trabajos, contemplar la posibilidad de aplicar el puerto USB, pues es evidente que a medida que pasa el tiempo, el puerto serial se vuelve cada vez más obsoleto y los USB, más pequeños, rápidos y por ende de mayor acogida por los fabricantes, están presentes en casi cualquier dispositivo, inclusive, no solamente en los PC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MALDONADO DELGADO Diego Armando. *Caracterización de dispositivos de redes de sensores inalámbricos en ambientes Indoor y Outdoor*, 2007. 126 p. Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Electrónico. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

- [2] RUGELES URIBE Jose de Jesús. *Diseño, implementación y caracterización de un prototipo de red ZigBee en ambientes abiertos y cerrados*, 2007. 12. Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Magister en Ingeniería. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

- [3] BAUTISTA TORRES Liliana Esperanza, GOMEZ LOPEZ Carolina Melissa. *Arquitectura de Redes de Sensores Inalámbricas WSN's: Estado del Arte*, 2008. 69 p. Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de Especialista en Telecomunicaciones. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Electrónica. Escuela de Ingenierías y Administración.

- [4] ZigBee Alliance. *Portal principal*. Se puede acceder mediante en enlace <<http://www.ZigBee.org>>

- [5] Muzca Technology. *Hoja de datos herramienta WIFS24EV*. Se puede acceder mediante en enlace <<http://muzcatech.com>>

- [6] Radiotronix. *Hoja de datos del módulo ZigBee WIFS24*. Se puede acceder mediante en enlace <<http://www.radiotronix.com>>

- [7] Freescale Semiconductor. *ZigBee Overview Reference CD*. 2005

- [8] Paolo Baronti, Prashant Pillai, Vince W.C. Chook, Stefano Chessa, Alberto Gotta, Y. Fun Hu. *Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15.4 and ZigBee standards*. Science Direct. 2006.
- [9] Radiotronix. *WI.Freestar Module Host Interface Protocol*. 2004. Se puede acceder mediante en enlace <<http://www.radiotronix.com>>
- [10] Palm Solutions. *Servicios completos de automatización y control en redes ZigBee*. Se puede acceder mediante en enlace <<http://www.all4palm.com/ZigBee.htm> >
- [11] Digi. *Hoja de datos módulos Xbee y Xbee pro*. Se puede acceder mediante en enlace <<http://www.libelium.com/squidbee/upload/3/31/Data-sheet-max-stream.pdf>>
- [12] Freescale Semiconductor. *Hoja de datos MC13192 2.4 GHz Low Power Transceiver for the IEEE® 802.15.4 Standard*
- [13] Microchip Technology Inc. *Hoja de datos MRF24J40 IEEE 802.15.4™ 2.4 GHz RF Transceiver*.
- [14] GISLASON Drew. *ZigBee Wireless Networking*, 2007. 427 p. Editorial Newnes
- [15] LABIOD Houda, AFIFI Hossan, DE SANTIS Costantino. *Wi-Fi Bluetooth ZigBee and Wimax*. 2007. 327p. Editorial Springer