

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto Fin de Carrera

**ESTUDIO SOBRE TECNOLOGÍAS DE RED
INALÁMBRICAS DE ÁREA PERSONAL.
INSTALACIÓN, CONFIGURACIÓN Y
MONITORIZACIÓN DE UNA RED ZIGBEE**

(Study about wireless personal area network technologies.
Installing, configuring and monitoring a ZigBee network)

Para acceder al Título de

INGENIERO DE TELECOMUNICACIÓN

Autor: Abel García Pérez

Septiembre - 2017

Índice general

1. Introducción	5
2. Estado del arte	7
2.1. Introducción	7
2.2. Clasificación de las redes inalámbricas	8
2.2.1. Alcance y capacidad	8
2.2.2. Medio de transmisión	10
2.3. Redes inalámbricas de área personal	11
2.3.1. HomeRF	12
2.3.2. NFC y RFID	13
2.3.3. Bluetooth	16
2.3.4. IrDA	19
2.3.5. Insteon	20
2.3.6. ZigBee	21
2.3.7. Cuadro comparativo	23
2.3.8. Conclusiones	24
3. ZigBee	27
3.1. Introducción y características principales	27
3.2. Estándares de ZigBee	28
3.3. Tipos de dispositivos	29
3.4. Estudio técnico	29
3.4.1. Arquitectura	30
3.4.2. Empaquetamiento y Direccionamiento	33
3.5. Futuro	36
4. Análisis del mercado	37
4.1. Modelos	37
4.1.1. Four Faith F8325 ZigBee	37
4.1.2. Rexsense RD-5000	38
4.1.3. Develco Squid.Link	38

4.1.4.	NetComm NTC-6200	39
4.1.5.	NetComm NTC-1100	39
4.1.6.	DIGI ConnectPort X4	40
4.1.7.	Dell EDGE Gateway 3000 Series	40
4.2.	Cuadros comparativos	42
4.2.1.	Tecnología WAN	42
4.2.2.	Software de Gestión	42
4.3.	Interfaz ZigBee	42
4.4.	Elección del modelo	43
5.	Escenario	45
5.1.	Gateway DIGI ConnectPort X4 H ZB, Edge	45
5.2.	XBee Sensor ZB Bat /L/T/H	47
5.3.	Instalación y configuración de la red	49
6.	Conclusiones y líneas de trabajo futuras	65

Capítulo 1

Introducción

En este proyecto fin de carrera se aborda el problema de la monitorización de condiciones ambientales en sitios en que, por su entorno, no se puede cablear ni realizar obra civil para la instalación de los sensores.

Para afrontar el problema se ha hecho necesario realizar un estudio de las redes inalámbricas centrado en las de área personal para poder tener un conocimiento más profundo de las distintas soluciones disponibles. Este capítulo es el que se denomina estado del arte.

Valorando las diferentes tecnologías y medios de transmisión se ha decidido que la tecnología ZigBee era la más adecuada para resolver el problema por razones de coste de implementación, alcance, escalabilidad y durabilidad de las baterías de los sensores y por ello se ha procedido a realizar un estudio más en profundidad del protocolo dentro del capítulo de ZigBee.

A continuación se ha procedido a hacer un análisis del mercado evaluando diferentes modelos que permitan gestionar la red de sensores ZigBee de manera remota. Para ello se ha elegido un gateway ZigBee - Edge que permite tasas de bit suficientes para la monitorización de condiciones ambientales y optimiza el envío de datos en términos de coste y energía.

En el capítulo de escenario se plantea un caso práctico partiendo de la implementación que realizó una empresa para la monitorización de las condiciones ambientales dentro de una iglesia protegida en la que no se podía hacer ningún tipo de obra. Por razones de tiempo y practicidad en su momento se decidió disponibilizar los datos en su propia nube pasando por la nube del fabricante del gateway. En este proyecto se ha hecho el estudio para poder dar soporte de a la configuración de los sistemas y la adquisición de los datos sin pasar por la nube del fabricante, lo que mejora a la larga los costes de explotación.

Por último se hace una valoración del trabajo desarrollado exponiendo algunas conclusiones extraídas del proyecto y qué factores se pueden mejorar

para poder hacer más atractiva la solución.

Capítulo 2

Estado del arte

2.1. Introducción

En este capítulo se estudiará el estado del arte de las tecnologías inalámbricas. Estos sistemas surgen de la necesidad de transferir información en entornos donde no es posible interconectar el transmisor y el receptor por un medio físico como cable o fibra óptica, empleándose la tecnología inalámbrica. Su avance en los últimos años ha provocado que no sólo se usen en los entornos donde el cableado es complejo, sino que se prefiere su uso en casi cualquier circunstancia. Su principal ventaja es sobre todo su versatilidad y fácil reconfiguración sin ser necesario realizar una inversión elevada en comparación con la obra, por ejemplo, de tener que cablear un edificio, una industria o un amplio espacio abierto. La confianza depositada por las corporaciones se ve refrendada por el aumento de las capacidades de transferencia de datos que ofrecen, su fiabilidad y la impenetrabilidad de los sistemas de codificación que emplean para guardarse de robos o protegerse contra el ruido. Se presenta un esquema muy básico de este tipo de sistemas en la figura 2.1.



Figura 2.1: Diagrama de un sistema inalámbrico

2.2. Clasificación de las redes inalámbricas

Para diferenciar las redes se pueden emplear dos criterios principalmente:

- Según su alcance y capacidad.
- Según el medio de transmisión.

A continuación se describirá cada posible sistema basándose en estos dos criterios.

2.2.1. Alcance y capacidad

La clasificación por alcance y capacidad es la más clara ya que para realizarla simplemente se necesita observar la distancia máxima de funcionamiento del sistema sin fallos y la tasa de bit que nos proporciona. Evidentemente los sistemas de mayor alcance cubren áreas mayores y, por tanto, se diseñan pensando en dar cobertura a una mayor población de usuarios, es decir, tienen tasas de bit mayores. En contrapartida el coste asociado a un sistema de largo alcance es mayor.

En la figura 2.2 se puede observar los diferentes sistemas según su alcance y capacidad, junto con algunos ejemplos de los estándares más populares. Cada tipo de red abarca a las otras que ocupan áreas y poseen tasas de bit menores, dando a entender que donde funcionan las tecnologías de la parte interna del gráfico también funcionan las de la parte externa, pero no a la inversa.

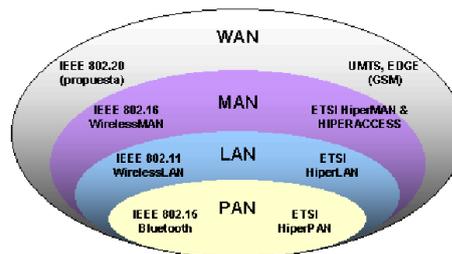


Figura 2.2: Clasificación de las redes inalámbricas

De este modo se dispone de los siguientes tipos de sistemas, a saber:

- WWAN (Wireless Wide Area Networks) entre las que se encuentran GSM, GPRS, UMTS y LTE. Aprovechan las bandas de frecuencia más habituales entre 700 y 2500 MHz para la telefonía celular, aunque hay bandas reservadas en el rango de los 3500, 3700 y 5200 MHz. Ordenados del más antiguo (GSM) al más nuevo (LTE) cada sistema ha ido aumentando las tasas de bit y, por lo tanto, permite un mayor rango de aplicaciones a los usuarios. En la actualidad se está desarrollando el estándar 5G que mejorará los otros cuatro antes mencionados.
- WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) cuyo principal representante es WiMAX basado en el estándar 802.16 del IEEE aunque también existen otros estándares como LMDS. WiMAX es el más popular y utiliza bandas en 2,3 GHz, 2,5 GHz y 5,4 GHz orientado fundamentalmente al tráfico de datos. Su desarrollo parecía que se podía ver truncado tras la aparición del LTE que permite velocidades similares empleando los canales destinados a la telefonía celular. En España hay algunos operadores que han apostado fuertemente por esta tecnología en País Vasco o Murcia para dar acceso a internet en núcleos urbanos con una infraestructura propia.
- WLAN (Wireless Local Area Networks) donde destaca sobre todos el protocolo 802.11 popularizado a través de la alianza Wi-Fi que ha pasado a darle nombre a los sistemas que lo emplean. Hace uso de las bandas de 2,4 y 5,4 GHz y en su último estándar en desarrollo (802.11ay) alcanza tasas brutas de bit que rondan los 176 Gbps. El estándar más popular comercializado actualmente es el 802.11ac y ronda los 1,3 Gbps y un alcance operativo en el rango de hasta los 500m.
- WPAN (Wireless Personal Area Networks) entre este grupo de protocolos hay más competencia ya que ninguno hasta ahora ha logrado cubrir todas las necesidades que se pueden dar en entornos más reducidos donde la demanda de ancho de banda o el alcance del sistema pueden ser afrontados desde perspectivas muy diversas. Entre estos protocolos destacan los sistemas HomeRF, Bluetooth, RFID, IrDA y ZigBee.

2.2.2. Medio de transmisión

Otra posible clasificación de un sistema inalámbrico se puede realizar basándose en el medio de transmisión. En la figura 2.3 se presenta la división de las ondas según frecuencia y longitud.

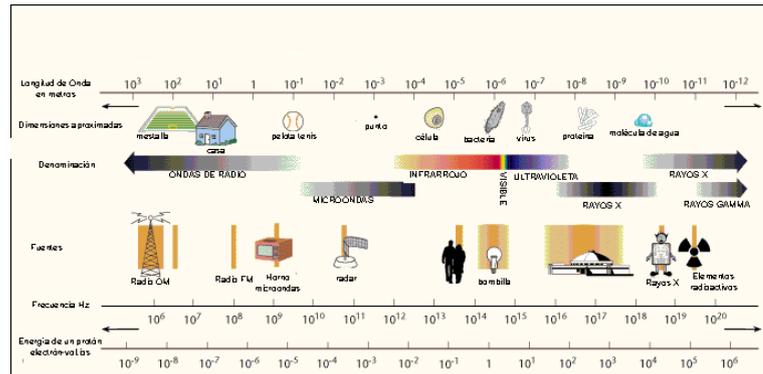


Figura 2.3: Espectro radioeléctrico

Dependiendo del entorno, la red inalámbrica tendrá unas características u otras y según el rango de frecuencias utilizado para transmitir, el medio de transmisión puede ser ondas de radio, microondas (terrestres o por satélite), o infrarrojos, y cada uno será el más adecuado según el fin que se desee conseguir:

- Ondas de radio. Este rango comprende el espectro radioeléctrico de 3 Hz a 3 GHz. Los sistemas que utilizan este tipo de ondas electromagnéticas son omnidireccionales no siendo necesarias la utilización de antenas parabólicas ni por tanto la alineación de emisor y receptor. La transmisión no es sensible a las atenuaciones producidas por la lluvia ya que se opera en frecuencias no demasiado elevadas.
- Microondas que pueden ser a su vez divididas en:
 - Microondas terrestres. Las microondas comprenden las frecuencias desde 1 hasta 300 GHz. Se utilizan antenas parabólicas y se consigue una cobertura de kilómetros, siendo un inconveniente que

el emisor y el receptor deben estar perfectamente alineados para obtener un rendimiento óptimo. Por esta circunstancia se acostumbra a utilizar este tipo de transmisión sólo en enlaces punto a punto en distancias cortas. La atenuación producida por la lluvia es más importante ya que se opera a una frecuencia más elevada.

- Microondas por satélite. Cada satélite opera en unas bandas denominadas C, Ku y Ka que se especifican en la siguiente tabla.

Banda	Frecuencia ascendente (GHz)	Frecuencia descendente (GHz)
C	5,925 - 6,425	3,7 - 4,2
Ku	14,0 - 14,5	11,7 - 12,2
Ka	27,5 - 30,5	17,7 - 21,7

Mediante estos sistemas se hacen enlaces entre dos o más estaciones terrestres, llamadas estaciones base, a través de un satélite. Éste recibe la señal en una banda de frecuencia, la amplifica y la retransmite en otra banda, denominadas señal ascendente y señal descendente respectivamente.

Las fronteras frecuenciales de las microondas con los infrarrojos y las ondas de radio de alta frecuencia se mezclan bastante, así que puede haber interferencias con las comunicaciones en determinadas regiones del espectro.

- Infrarrojos. Los infrarrojos van desde 300 GHz hasta 384 Thz. Los sistemas que usan esta banda del espectro enlazan transmisores y receptores que modulan la luz infrarroja no coherente. Para ello deben estar alineados directamente o con una reflexión en una superficie ya que no pueden atravesar los obstáculos que se encuentran por el medio, siendo estas restricciones las más limitantes en su uso.

2.3. Redes inalámbricas de área personal

Desde el punto de vista del estudio que se va a realizar en este proyecto, los diferentes tipos de redes inalámbricas de área personal son las que tienen mayor interés para poder ser analizadas y comparadas debido a que más adelante se tratará de desarrollar una aplicación a uno de los sistemas de este ámbito. Se analizarán los sistemas sin tener en cuenta el medio de transmisión para no cerrar la comparación a un sólo tipo de tecnología.

A continuación se explicarán detalladamente los principales sistemas de comunicación inalámbrica para redes de área personal.

2.3.1. HomeRF

Dentro de los sistemas de área personal, uno de los más destacados es el HomeRF. Este sistema nació de la alianza entre más de 100 empresas del sector de las telecomunicaciones, que dio lugar a este estándar basado en el Teléfono Inalámbrico Digital Mejorado (Digital Enhanced Cordless Telephone, DECT), que es un equivalente al estándar de los teléfonos celulares GSM pero con el fin de ser empleado en teléfonos inalámbricos de ámbito doméstico.

Los creadores de este estándar pretendían diseñar un aparato central en cada casa que conectara los teléfonos y además proporcionar un ancho de banda de datos entre los ordenadores, transportándose la voz y los datos por separado.

El grupo de investigación se disolvió en Enero de 2003 y actualmente el archivo de almacenamiento de los datos resultantes de las investigaciones realizadas está a cargo de Palo Wireless. En un primer momento se alcanzó el estándar HomeRF que más tarde sería mejorado pasando a denominarse HomeRF2.

Las características del primer sistema son las siguientes:

- Modulación FSK (Frequency Shift Keying).
- Velocidad de datos variables de entre 800 Kbps y 1.6Mbps.
- Utiliza la banda de 2.4 Ghz (banda ISM).
- Usa 75 canales de 1 Mhz para la voz.

El HomeRF2 mejoraba algunas prestaciones entre las que destacaban:

- Velocidad de entre 5 y 10 Mbps.
- 15 canales de 5 MHz para voz

Cabe resaltar que el estándar HomeRF posee multitud de capacidades de voz como identificador de llamadas, llamadas en espera, regreso de llamadas e intercomunicación dentro del hogar. Se debe a que surge como mejora del sistema DECT que está orientado totalmente al tráfico de voz, por lo que afronta el tráfico de datos partiendo de una perspectiva totalmente diferente al resto de los sistemas que se estudiarán, es decir, pasar de tráfico de voz a tráfico de datos.

Esta tecnología sigue en uso y aún se pueden encontrar productos comerciales a pesar de que ya hace tiempo que se dejó de desarrollar. Además de considerarse que el tráfico de datos había tocado techo se vió desplazada por la competencia con Wi-Fi en las redes de datos de ámbito doméstico y por la tecnología bluetooth dentro de los dispositivos móviles de corto alcance.

2.3.2. NFC y RFID

Estos estándares surgen uno a partir del otro. A continuación se describirán las principales características de cada uno.

RFID

El NFC es a su vez una extensión del protocolo ISO/IEC 14443 el cual es un estándar de tarjetas de proximidad también denominado RFID[1] (identificación por radiofrecuencia), así que se iniciará el estudio por RFID.

El estándar propone un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remoto que usa dispositivos denominados etiquetas, tarjetas, transpondedores o tags RFID.

Este sistema puede hacer uso de dos bandas en baja frecuencia (125-134 KHz y 140-148,5 KHz), la banda de alta frecuencia de 13,56 MHz y también la banda ISM de 2,4 GHz. Debido a que no exige distancias de trabajo muy lejanas, normalmente por debajo de los 3 m, utiliza potencias muy bajas. Éstas varían según el uso y sólo están restringidas por la normativa de salud de niveles de potencia del transmisor en el país que se desee implementar, no superando habitualmente 1 Wattio.

Las etiquetas o tags RFID son unos dispositivos pequeños, similares a una pegatina, que pueden ser adheridas o incorporadas a un producto, un animal o una persona. Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID. Las etiquetas pasivas no necesitan alimentación eléctrica interna, mientras que las activas sí lo requieren. Una de las ventajas del uso de radiofrecuencia (en lugar, por ejemplo, de infrarrojos) es que no se requiere visión directa entre emisor y receptor. Un sistema RFID consta de los siguientes tres componentes:

- Etiqueta RFID o transpondedor: compuesta por una antena, un transductor radio y un material encapsulado o chip. El propósito de la antena es permitirle al chip, el cual contiene los datos, transmitir la información de identificación de la etiqueta.

Según el tipo de memoria que utilicen, su uso final y su capacidad, las etiquetas se pueden clasificar como:

- Solo lectura: el código de identificación que contiene es único y es personalizado durante la fabricación de la etiqueta.
- De lectura y escritura: la información de identificación puede ser modificada por el lector.

- Anticolisión. Se trata de etiquetas especiales que permiten que un lector identifique varias al mismo tiempo (habitualmente las etiquetas deben entrar una a una en la zona de cobertura del lector).
- Lector de RFID o transceptor: compuesto por una antena, un transceptor y un decodificador. El lector envía periódicamente señales para ver si hay alguna etiqueta en sus inmediaciones. Cuando capta una señal de una etiqueta, la cual contiene la información de identificación, extrae la misma y se la pasa al subsistema de procesamiento de datos.
- Subsistema de procesamiento de datos o Middleware RFID: proporciona los medios de procesado y almacenamiento de los datos de identificación de los tags una vez han sido recibidos.

El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto (similar a un número de serie único) mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (automatic identification, o identificación automática).

El modo de funcionamiento de los sistemas RFID es simple. La etiqueta RFID, que contiene los datos de identificación del objeto al que se encuentra adherido, genera una señal de radiofrecuencia con dichos datos. Esta señal puede ser captada por un lector RFID, el cual se encarga de leer la información y pasarla en formato digital a la aplicación específica que utiliza RFID.

Este sistema ya ha sido ampliamente utilizado en los sistemas antirrobo de los comercios, en los microchips de identificación canina y en las tarjetas de telepago en los peajes entre otras aplicaciones. Fundamentalmente el bajo coste de los dispositivos pasivos permite que sean colocados en multitud de bienes de consumo favoreciendo su expansión. En la actualidad, una de las principales vías de desarrollo futuro sigue la elaboración de aplicaciones más complejas que permitan el control de inventarios de gran tamaño.

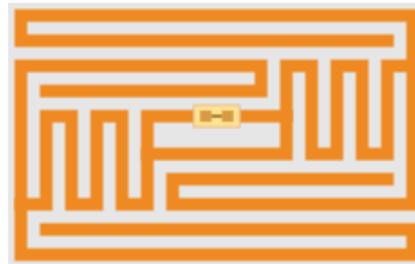


Figura 2.4: Ejemplo de tag RFID

NFC

Dentro de los sistemas de comunicaciones inalámbricas que a día de hoy tienen bastante aceptación se encuentra el Near Field Communication. Éste es un sistema basado en una interfaz inalámbrica cuya comunicación se realiza entre dos entidades de igual a igual (peer-to-peer) y se establece una conexión inalámbrica entre las aplicaciones de la red y los dispositivos electrónicos.[2].

Trabaja en la banda de los 13,56 Mhz, esto provoca que no se aplique ninguna restricción además de las de control de potencia y no requiera ninguna licencia para su uso. Su alcance de funcionamiento está por debajo de los 20 cm y, dependiendo de la funcionalidad y de los dispositivos, la potencia del transmisor es variable, normalmente por debajo de 1 mW. En la figura 2.5 se muestra un esquema de la inducción del campo magnético de NFC.

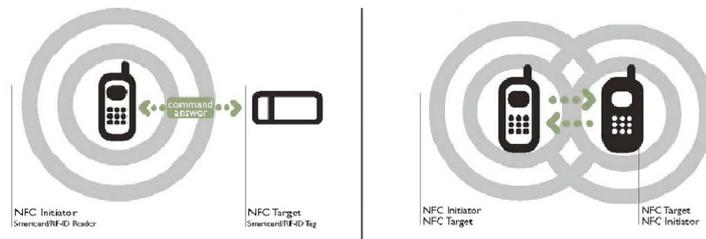


Figura 2.5: Esquema funcionamiento NFC

Una característica fundamental de estos sistemas es que siempre hay uno que inicia la conversación, que a su vez será quien monitorice la misma durante todo el proceso aunque este rol sea intercambiable entre las dos partes implicadas, lo que da lugar a que se le englobe dentro de los sistemas P2P.

El estándar de ECMA international NFCIP-1, que es el estándar sobre tecnología NFC a nivel mundial, soporta dos modos de funcionamiento y todos los dispositivos que se atengan al mismo deben soportar ambos modos:

- Activo: ambos dispositivos generan su propio campo electromagnético, que utilizarán para transmitir sus datos.
- Pasivo: sólo un dispositivo genera el campo electromagnético y el otro se aprovecha de la modulación de la carga para poder transferir los datos. El iniciador de la comunicación es el encargado de generar el campo electromagnético.

El protocolo NFCIP-1 puede funcionar a diversas velocidades 106, 212 o 424 Kbit/s. Según el entorno en el que se trabaje las dos partes pueden ponerse de acuerdo sobre a qué velocidad trabajar y reajustar el parámetro en cualquier instante de la comunicación.

Actualmente la tecnología NFC ya se ha integrado en los teléfonos móviles de alta gama. El fin es proveer a los usuarios de un identificador totalmente fiable, seguro y que se lleve continuamente encima con la posibilidad de realizar pagos y recargas al instante simplemente acercando el terminal móvil a la base administradora del servicio. Se está tratando de pasar de las tarjetas con las que se puede montar en el metro, el autobús o ser empleados en los remotes de las estaciones de esquí a un dispositivo único e integrado en el que sólo se tengan que activar las funcionalidades para comenzar a utilizarlo además de sustituir a las tarjetas de crédito físicas.

2.3.3. Bluetooth

Algunos de los dispositivos más utilizados en múltiples sistemas domésticos que emplean tecnología inalámbrica son los sistemas Bluetooth [3].

Posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz.

Los principales objetivos con los que se pretendió desarrollar esta tecnología fueron:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar cables y conectores entre éstos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDAs, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y personales, impresoras o cámaras digitales.

Los dispositivos que lo implementan pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro del radio de alcance por radiofrecuencia, de forma que no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en estancias separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como 'Clase 1', 'Clase 2', 'Clase 3' o 'Clase 4' según su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras.

Clase	Pot. máx. (mW)	Pot. máx. (dBm)	Alcance (aprox)
Clase 1	100 mW	20 dBm	100 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	25 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	1 metro
Clase 4	0'5 mW	-3 dBm	0,5 metros

Las diferentes versiones del protocolo se desarrollaron, bien para mejorar otra ya existente o bien para ser utilizados en base a otro tipo de necesidades. Así se puede contar la historia de bluetooth a través de sus versiones:

- Bluetooth v.1.1: en 1994, se inició un estudio para investigar la viabilidad de una nueva interfaz de bajo coste y consumo para la interconexión vía radio (eliminando así cables) entre dispositivos como teléfonos móviles y otros accesorios.

El estudio partía de un largo proyecto que investigaba unos multicomunicadores conectados a una red celular, hasta que se llegó a un enlace de radio de corto alcance, llamado MC link.

- Bluetooth v.1.2: a diferencia de la 1.1, provee una solución inalámbrica complementaria para coexistir Bluetooth y Wi-Fi en el espectro de los 2.4 GHz, sin interferencia entre ambos. La versión 1.2 usa la técnica 'Adaptive Frequency Hopping' (AFH), que ejecuta una transmisión más eficiente y un cifrado más seguro.

Para mejorar el funcionamiento de la versión anterior, la V1.2 ofrece una calidad de voz (Voice Quality - Enhanced Voice Processing) con menor ruido ambiental y provee una configuración más rápida de la comunicación con los otros dispositivos dentro del alcance.

- Bluetooth v.2.0: es fundamentalmente una especificación nueva ya que apesar de basarse en las versiones anteriores las mejora siendo totalmente compatible con ellas. Principalmente incorpora la técnica 'Enhanced Data Rate' (EDR) que le permite mejorar las velocidades de transmisión hasta 3Mbps a la vez que intenta solucionar algunos errores de la especificación 1.2.

- Bluetooth v.2.1: simplifica los pasos para crear la conexión entre dispositivos además de reducir el consumo a la quinta parte.
- Bluetooth v3.0: aumenta considerablemente la velocidad de transferencia respecto a la versión anterior hasta los 24 Mbps. La idea es que el nuevo Bluetooth trabaje con WiFi, de tal manera que sea posible lograr mayor velocidad de transferencia en los smartphones.
- Bluetooth v4.0: la velocidad vuelve a aumentar hasta los 32Mbps pero por primera vez se incluye una implementación específica en aplicaciones de baja energía denominada BLE (Bluetooth Low Energy) extraída de la absorción por parte de Bluetooth del protocolo Wibree que hasta entonces había sido desarrollado de manera paralela con este fin. El número de nodos que soportan las redes bluetooth aumenta de manera considerable respecto a los estándares clásicos de bluetooth.
- Bluetooth v5.0: orientado al IoT (Internet of Things) gana peso la mejora de la eficiencia en la transmisión de datos para poder limitar los consumos en los dispositivos.

La lista de aplicaciones de este protocolo es muy amplia de las que destacaban hasta hace unos pocos años:

- Transferencia de fichas de contactos, citas y recordatorios entre dispositivos vía OBEX.
- Reemplazo de la tradicional comunicación por cable entre teléfonos, pc's y periféricos en general.
- Controles remotos (tradicionalmente dominado por el infrarrojo).
- Algunas videoconsolas incorporan Bluetooth lo que les permite utilizar mandos inalámbricos.

Tras la entrada de Bluetooth 4.0 y las especificaciones de Ultra Low Power el campo de utilización se ha abierto mucho debido a las nuevas funcionalidades que permiten el bajo consumo de potencia y el elevado número de nodos que se pueden conectar a las redes, así que se va a dedicar un apartado al estudio del protocolo que dió lugar a estos sistemas, es decir, wibree.

Wibree

Con vistas al desarrollo de dispositivos de muy bajo consumo se desarrolló un sistema de comunicaciones inalámbricas denominado Wibree que finalmente ha pasado a formar parte de la especificación de Bluetooth.

Wibree es una tecnología digital de radio interoperable para pequeños dispositivos. Fue la primera tecnología abierta de comunicación inalámbrica que ofrecía comunicación entre dispositivos móviles o computadores y otros dispositivos más pequeños (de pila de botón) diseñado para que funcionara con poca energía. Desde junio de 2007 se le conoce como 'Bluetooth low energy technology' o 'Bluetooth ULP' (Ultra Low Power).

Estos dispositivos operan en la banda ISM de 2.4 GHz, con una tasa de transferencia de 1 Mbps, tiene soporte para seguridad ya que emplea el sistema de cifrado AES y esquemas de seguridad configurables.

Wibree se diseñó con dos alternativas:

- Wibree de implementación única: funcionaba para dispositivos que requerían un consumo bajo de energía, pequeños y de bajo costo, como relojes, sensores deportivos, teclados inalámbricos, etc.
- Wibree de implementación modo dual Bluetooth y Wibree: se diseñó para su uso en dispositivos Bluetooth donde Wibree se integraba con Bluetooth utilizando los dispositivos existente. Dirigido especialmente a dispositivos como teléfonos móviles y computadoras personales.

Sus aplicaciones actualmente, una vez integrado en la especificación Bluetooth, incluyen sensores para el hogar o la automoción y controles remotos. Dentro del propio Bluetooth 5.0 se han diferenciado tres ramas de desarrollo para el futuro de los dispositivos de bajo consumo basándose en el número de ellos que se pretenden conectar:

- Point-to-point
- Broadcast
- Mesh

Debido a la experiencia en el desarrollo de estándares reconocibles por los usuarios, y al gran número de fabricantes implicados en el estándar Bluetooth se prevé que en el los sistemas basados en este estándar sigan siendo de los más populares.

2.3.4. IrDA

Además de los sistemas inalámbricos expuestos en apartados anteriores, existen dispositivos que emplean tecnología infrarroja. El protocolo más extendido es el Infrared Data Association (IrDA) [5], que define un estándar físico en la forma de transmisión y recepción de datos por rayos infrarrojo.

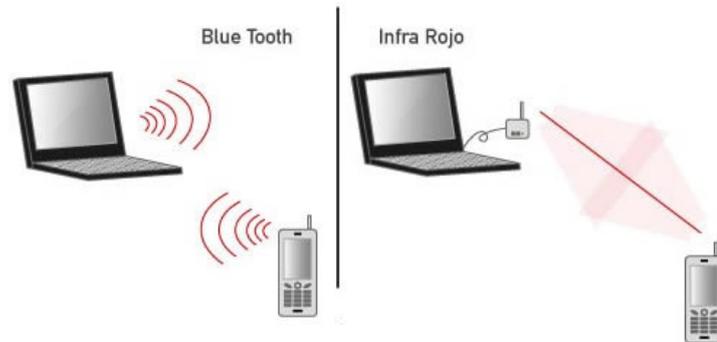


Figura 2.6: Comparación entre tecnologías de radio e infrarrojas

Esta tecnología está basada en rayos luminosos que se mueven en el espectro infrarrojo. Los estándares IrDA soportan una amplia gama de dispositivos eléctricos, informáticos y de comunicaciones, permitiendo la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps.

IrDA vio la luz en 1993 y fue muy popular en los ordenadores portátiles y de sobremesa desde mediados de los 90 hasta el 2000. Estos sistemas han sido desplazados por otras tecnologías inalámbricas como Wi-Fi y Bluetooth, que tienen la ventaja de que no necesitan una línea directa de visión y disponen de tasas de transferencia mayores. IrDA se continúa usando en entornos donde las interferencias de radio hacen estas tecnologías inútiles.

El GigaIR, que es el nuevo estándar, ofrece unas velocidades teóricas por encima de 1 Gbps con las mismas garantías y beneficios del IrDA.

2.3.5. Insteon

Insteon es una tecnología orientada a la automatización del hogar (domótica) que permite controlar interruptores, luces, termostatos, sensores de fugas, controles remotos, controles de presencia y otros dispositivos alimentados a través de la red eléctrica que interoperan a través de la propia red eléctrica y frecuencias de radio. Emplea una topología de red dual en la cual todos los dispositivos son peers e independientemente transmiten, reciben y repiten mensajes. Está fuertemente asociado al IoT.

Esta tecnología fue lanzada en 2005 y se creó la marca Insteon para desarrollar los productos compatibles.

Debido a que combina transmisión a través de la red eléctrica y de frecuencias de radio evita problemas de alcance y zonas de sombra en las que los sistemas basados únicamente en radiofrecuencia tienen ciertas limitaciones.

Así un sensor en una habitación sólo tiene que enviar señales con la potencia suficiente hasta un dispositivo que esté conectado a la red eléctrica de la propia habitación que se encargará de transmitir dicha información al sistema que la tenga que recibir a través de la red doméstica. Los sistemas que no están conectados a la red eléctrica transmiten las señales a través del aire utilizando modulación FSK de manera síncrona, enviando simultáneamente el mensaje a todos los receptores que tengan a su alcance, que transmitirán el mensaje tanto a través de la red eléctrica con una modulación PSK y por el aire a través de RF por modulación FSK.

Las redes INSTEON pueden necesitar un control central o no dependiendo de si la información recogida en uno de sus nodos causará un acción directamente sobre un dispositivo final o tiene que ser gestionada para poder ser enviada, por ejemplo, a un smartphone.

2.3.6. ZigBee

Otra tecnología con gran proyección en el ámbito de las redes de área personal inalámbricas es ZigBee.

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

El desarrollo de la tecnología se centra en la sencillez y el bajo coste, más que otras redes inalámbricas semejantes de la familia WPAN, como por ejemplo Bluetooth. El nodo ZigBee más completo requiere aproximadamente el 10% del hardware de un nodo Bluetooth clásico o Wi-Fi típico bajando al 2% para los nodos más sencillos. No obstante, el tamaño del código necesario para hacerlo funcionar es bastante mayor y se acerca al 50% del tamaño del de Bluetooth.

La principal ventaja de ZigBee respecto a las tecnologías antes comentadas se basa en la posibilidad de configurar las topologías de la red que se desee instalar de una forma mucho más flexible. En el próximo capítulo se abordará este aspecto con mayor profundidad, pero en la figura 2.7 se plantean las dos posibilidades más utilizadas a la hora de organizar las redes inalámbricas: en malla y en estrella.

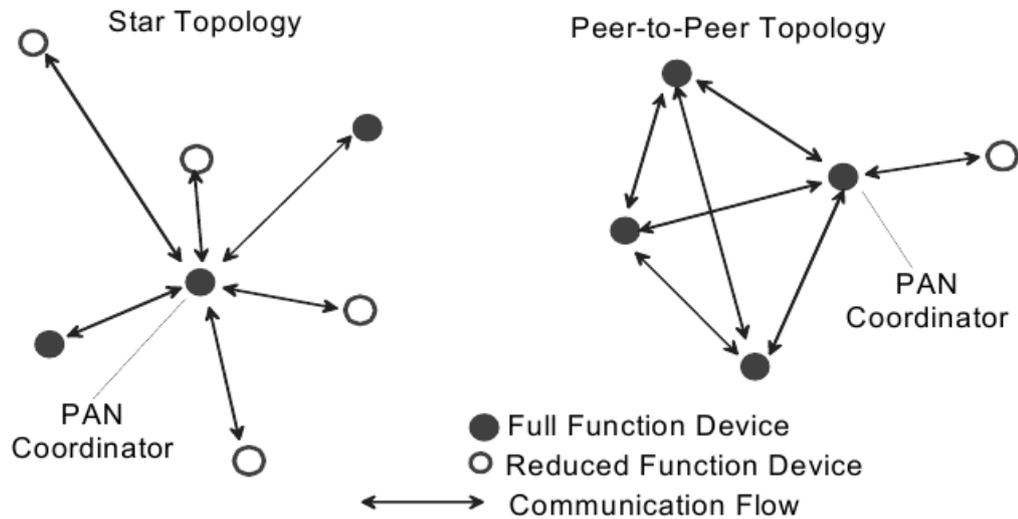


Figura 2.7: Topologías de red ZigBee

A continuación, debido a que son sistemas llamados a competir en los próximos años, se explicarán algunas diferencias entre Bluetooth ULP y ZigBee:

- Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente los nuevos estándares de Bluetooth ULP que permiten un número máximo de 32768 nodos.
- En estos momentos y según algunos estudios independientes [7], los consumos de ambos sistemas utilizados para la conexión con wearables bluetooth ULP mejora casi un 50 % el consumo de ZigBee.
- ZigBee ofrece una velocidad de hasta 163 kbps reales, mientras que en Bluetooth ULP ronda los 35 Kbps como límite.

Como consecuencia de la diferencia entre el número de nodos máximo, el consumo de potencia (que en la realidad en ambos casos es ínfimo) y la tasa de bit máxima, nos encontramos con dos sistemas muy similares y con un funcionamiento más que eficiente de cara a cubrir las necesidades del mercado actualmente.

En la especificación de los estándares es conveniente remarcar que la relación entre el grupo de trabajo IEEE 802.15.4 de la ITU formado en el año 2003 y la ZigBee Alliance es parecida a la existente entre el IEEE 802.11 y Wi-Fi Alliance, es decir, primero surge la proposición del estándar por la ITU y más adelante todos los fabricantes del sector interesados se unen para acordar el estándar final que será fabricado de tal manera que los productos sean compatibles e interoperables entre ellos.

En cambio Bluetooth surgió como iniciativa de varias empresas y no fue hasta la versión 1.1 cuando fue ratificado como estándar por la ITU. En el caso de Bluetooth parece que las empresas empujan el desarrollo y la ITU los va aprobando a posteriori mientras en el caso de ZigBee la ITU va proponiendo y las empresas lo van desarrollando a posteriori.

De esa metodología de trabajo surgen las principales diferencias entre ambos estándares que influyen en la velocidad de comercialización de sistemas con el estándar implantado.

2.3.7. Cuadro comparativo

Para finalizar este capítulo se resumirán mediante un cuadro comparativo las principales características de los sistemas inalámbricos de área persona.

Nombre	Bandas de frecuencia	Potencia Tx	Alcance
HomeRF2	2,4 GHz	100mW	45 m
NFC	13,56 MHz	1 mW	20 cm
RFID	2,4 GHz/13,56 MHz/125-148,5KHz	1 W	3 m
IrDA	Infrarrojos	30 mW	30 cm
Bluetooth	2,4 GHz	100 mW	25 m
Bluetooth ULP	2,4 GHz	1 mW	100 m
INSTEON	RF 902-924 MHz / Física 131,75 KHz	> -103 dbM	45 m
ZigBee	2,4 GHz	1 mW	75 m

Nombre	Visión Directa	P2P	Tasa de bit max
HomeRF2	No	Si	10Mbps
NFC	No	Si	424 Kbps
RFID	No	No	106 Kbps
IrDA	Si	Si	4 Mbps
Bluetooth	No	Si	24 Mbps
Bluetooth ULP	No	Si	37 Kbps
INSTEON	No	Si	13 Kbps
ZigBee	No	Si	250 Kbps

Nombre	Usos más populares
HomeRF2	Teléfonos y redes de datos inalámbricas domésticas.
NFC	Sistemas de pago, tarjetas para el autobús, forfaits.
RFID	Control de inventario, seguridad, identificación.
IrDA	Mandos a distancia, calculadoras programables.
Bluetooth	Evitar el uso de cables en todo tipo de dispositivos móviles.
Bluetooth ULP	Domótica, automoción, controles remotos
INSTEON	Domótica
ZigBee	Domótica, videovigilancia, redes de sensores.

2.3.8. Conclusiones

En este apartado se explicarán las perspectivas de los sistemas anteriormente nombrados destacando sus puntos fuertes y el porqué tienen nichos de mercado muy definidos en su mayoría.

De las tablas anteriores se observa muy claramente los ámbitos de uso de cada tecnología. Las más antiguas como HomeRF estaban orientadas al tráfico de datos entre ordenadores fundamentalmente y han sido desplazadas por el WiFi que es una tecnología WLAN más completa y con mejores prestaciones.

El uso de NFC está en plena ebullición al ser integrada prácticamente en todos los teléfonos móviles de gama alta para el uso de pagos seguros a modo de un monedero electrónico inalámbrico. El mercado futuro de la RFID se basa sobre todo en su bajo costo y la capacidad de almacenamiento de datos suficiente para los controles de inventario.

IrDA ha quedado destinada prácticamente al uso en telecomandos, pero un aumento en su tasa de bit y el hecho de ser compatible con todas las tecnologías de radiofrecuencia la hace un complemento ideal en algunos ter-

minales como los periféricos de las videoconsolas apareciendo integrado en los sistemas para juego sin mandos más modernos.

Las más complejas como Bluetooth y ZigBee se hallan inmersas en una competición por el tráfico de datos a mayor escala, en la que Bluetooth lleva ventaja por estar incorporado ya en los sistemas y soportar tasas mayores entre terminales punto a punto. La ventaja de ZigBee que radicaba en la capacidad de ser integrado en complejas mallas con el aporte mínimo de energía se ha visto recortada con la implementación de Bluetooth ULP.

Debido a su alto potencial y gran integración en el mercado actual de las redes de sensores se ha decidido realizar este proyecto fin de carrera sobre ZigBee.

En el próximo capítulo se profundizará en las características técnicas de ZigBee para poder tener un conocimiento de las complejidades de los sistemas que se basan en dicho estándar.

Capítulo 3

ZigBee

3.1. Introducción y características principales

En este capítulo se va a profundizar en el conocimiento del estándar ZigBee para poder tener los conocimientos teóricos suficientes que ayuden a afrontar las configuraciones que se puedan producir en las pruebas sobre los equipos reales. Como ya se ha comentado en el apartado del estado del arte ZigBee es un sistema ideal para redes domóticas, específicamente diseñado para reemplazar la proliferación de sensores/actuadores individuales. Zigbee fue creado para cubrir la necesidad del mercado de un sistema a bajo coste, un estándar para redes Wireless de pequeños paquetes de información, bajo consumo, seguro y fiable que se ha desarrollado para satisfacer la creciente demanda de capacidad de red inalámbrica entre varios dispositivos de baja potencia.

Para llevar a cabo este sistema, un grupo de trabajo llamado Alianza Zigbee (Zigbee Alliance) formado por varias industrias, sin ánimo de lucro, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, se encarga de desarrollar el estándar. La alianza de empresas está trabajando codo con codo con IEEE para asegurar una integración, completa y operativa. Los miembros de esta alianza justificaban el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se producía por debajo del Bluetooth antes de la versión 4.0 y su estándar ULP (Ultra Low Power), por lo que en la actualidad son tecnologías en competencia por hacerse con el mercado.

Esta alianza en la cual destacan empresas como Huawei, General Electric, Intel o Samsung trabajan para crear un sistema estándar de comunicaciones, vía radio y bidireccional, para usarlo dentro de dispositivos de automatización hogareña (domótica), de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de

PC y sensores médicos por poner algunos ejemplos.

3.2. Estándares de ZigBee

Debido a la orientación de las diferentes vías de desarrollo la alianza ZigBee ha decidido separar sus estándares según el tipo de aplicación a la que van destinados:

- Home automation: Es el estándar orientado a la automatización de los hogares. Hablando de manera genérica gestiona la domótica.
- Health care: Es la vía que estudia las aplicaciones en el ámbito de la salud y la forma de llevar una vida más saludable.
- Building automation: Trata sobre la automatización de edificios principalmente para evitar el cableado de las redes de control de edificios inteligentes y los sensores que los gestionan.
- Input device: Orientado sobre todo a los nichos de electrónica de consumo como los periféricos de los ordenadores.
- Light link: Dedicado a controlar los sistemas de iluminación.
- Remote control: Se encarga del uso de ZigBee en los controles remotos.
- Retail services: Dedicado al desarrollo de aplicaciones de ZigBee en el comercio. Interacciones entre clientes y vendedores principalmente.
- Smart energy: Control de infraestructuras, principalmente orientado hacia las 'smart cities'.
- Telecom services: Se encarga de los servicios de las empresas de comunicaciones que se pueden gestionar a través de dispositivos zigbee.
- 2030.5: Este estándar es una evolución de Smart Energy que se encarga de desarrollar aplicaciones que ayuden a cumplir con mejoras en el ámbito del ahorro energético y redunden en un beneficio ecológico.

3.3. Tipos de dispositivos

Según la funcionalidad o el papel que desempeñan dentro de las redes los dispositivos ZigBee se pueden clasificar de dos maneras diferentes. Basándonos en la funcionalidad los dispositivos se pueden clasificar como:

- Dispositivo de funcionalidad completa (FFD): También conocidos como nodo activo. Es capaz de recibir mensajes en formato 802.15.4. Gracias a la memoria adicional y a la capacidad de computar, puede funcionar como Coordinador o Router ZigBee, o puede ser usado en dispositivos de red que actúen de interface con los usuarios.
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD): También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas (especificada en el estándar) con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad. Básicamente, son los sensores/actuadores de la red.

Según su papel dentro de las redes ZigBee se pueden definir tres tipos distintos de dispositivos:

- Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC). El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- Router ZigBee (ZigBee Router, ZR). Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED). Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

3.4. Estudio técnico

En los siguiente apartados se van a proceder a explicar características técnicas de las redes ZigBee tomando como partida el estándar general 802.15.4 de 2003.

3.4.1. Arquitectura

Debido a que es un sistema basado en OSI se han organizado las capas siguiendo la estructura que se muestra en la figura 3.1

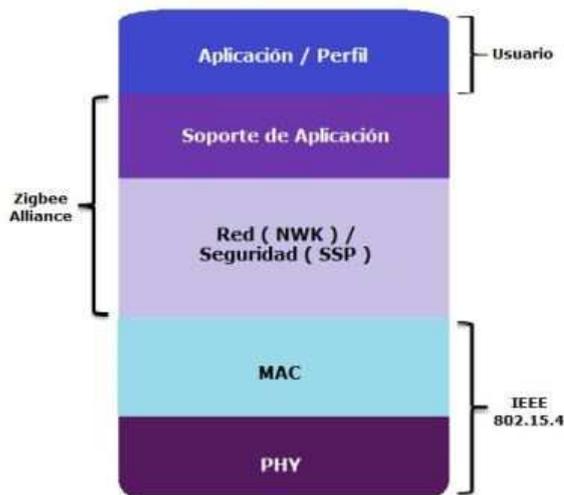


Figura 3.1: ZigBee sobre OSI

La capa de más bajo nivel es la capa física (PHY), que en conjunto con la capa de acceso al medio (MAC), brindan los servicios de transmisión de datos por el aire, punto a punto. Estas dos capas están descritas en el estándar IEEE 802.15.4–2003.

El estándar trabaja sobre las bandas ISM de uso no regulado, donde se definen hasta 16 canales en el rango de 2.4 GHz, cada una de ellas con un ancho de banda de 5 MHz. Se utilizan radios con un espectro de dispersión de secuencia directa, lográndose tasas de transmisión en el aire de hasta 250 Kbps en rangos que oscilan entre los 10 y 75 m. El alcance depende bastante del entorno.

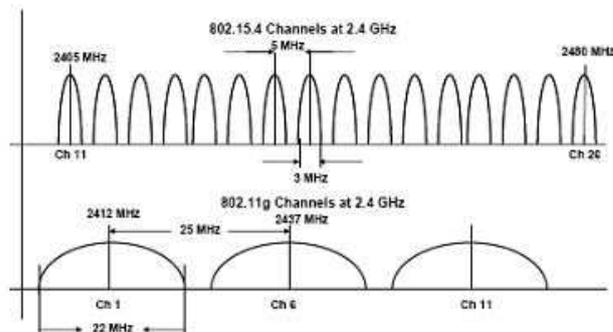


Figura 3.2: Bandas de frecuencia y canales de ZigBee comparados con WiFi

La capa de red (NWK) tiene como objetivo principal permitir el correcto uso del subnivel MAC y ofrecer una interfaz adecuada para su uso por parte de la capa de aplicación. En esta capa se brindan los métodos necesarios para: iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros nodos en la red, proporcionar los medios para garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos. Se debe tener en cuenta que el algoritmo de enrutamiento que se usa es el de enrutamiento de malla, el cual se basa en el protocolo Ad Hoc On-Demand Vector Routing – AODV. Cuando esta capa se encuentra cumpliendo la función de unir o separar dispositivos a través del controlador de red, implementa seguridad, y encamina tramas a sus respectivos destinos; además, la capa de red del controlador de red es responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. Es en esta capa en donde se implementan las distintas topologías de red 3.3 que ZigBee soporta:

- Topología punto a punto: interconexión entre dos dispositivos.
- Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología de malla: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

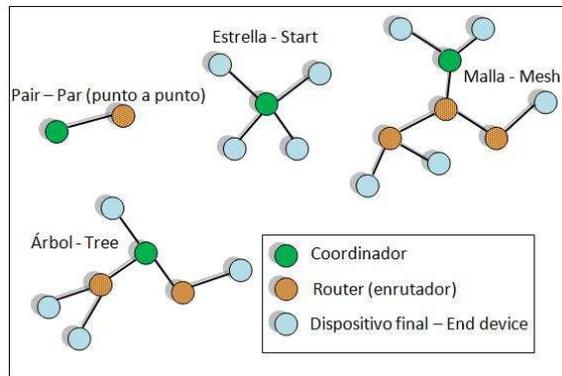


Figura 3.3: Topologías de red ZigBee

La topología más interesante (y una de las causas por las que parece que puede triunfar ZigBee) es la topología de malla. Ésta permite que si, en un momento dado, un nodo del camino falla y se cae, pueda seguir la comunicación entre todos los demás nodos debido a que se rehacen todos los caminos. La gestión de los caminos es tarea del coordinador.

La siguiente capa es la de soporte a la aplicación que es el responsable de mantener el rol que el nodo juega en la red, filtrar paquetes a nivel de aplicación, mantener la relación de grupos y dispositivos con los que la aplicación interactúa y simplificar el envío de datos a los diferentes nodos de la red. La capa de Red y de soporte a la aplicación son definidas por la ZigBee Alliance.

En el nivel conceptual más alto se encuentra la capa de aplicación que no es otra cosa que la aplicación misma y de la que se encargan los fabricantes. Es en esta capa donde se encuentran los ZDO (ZigBee Device Objects) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red, si el dispositivo actuará como coordinador, ruteador o dispositivo final y los objetos de aplicación definidos por cada uno de los fabricantes.

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

3.4.2. Empaquetamiento y Direccionamiento

En ZigBee, el empaquetamiento se realiza en cuatro tipos diferentes de paquetes básicos, los cuales son: datos, ACK, MAC y baliza. En la figura 3.4 se muestran los campos de los cuatro tipos de paquetes básicos. El paquete de datos tiene una carga de datos de hasta 104 bytes. La trama esta numerada para asegurar que todos los paquetes llegan a su destino. Un campo nos asegura que el paquete se ha recibido sin errores. Esta estructura aumenta la fiabilidad en condiciones complicadas de transmisión. La estructura de

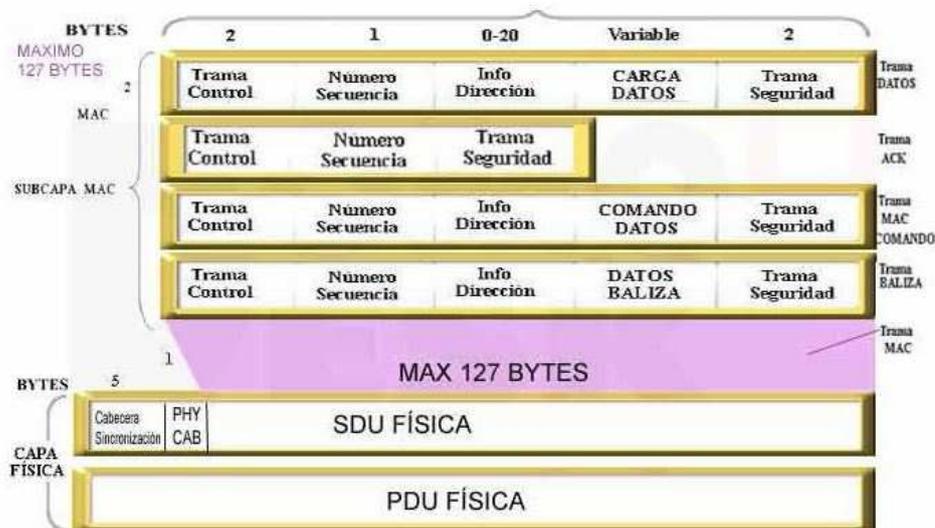


Figura 3.4: Empaquetamiento ZigBee

los paquetes ACK, llamada también paquete de reconocimiento, es dónde se realiza una realimentación desde el receptor al emisor, de esta manera se confirma que el paquete se ha recibido sin errores. Se puede incluir un tiempo de silencio entre tramas, para enviar un pequeño paquete después de la transmisión de cada paquete.

El paquete MAC, se utiliza para el control remoto y la configuración de dispositivos/nodos. Una red centralizada utiliza este tipo de paquetes para configurar la red a distancia.

Dentro de la explicación sobre el empaquetado de las tramas se va a proceder a hacer un pequeño inciso para explicar que disponen de dos estrategias

de conexión de los dispositivos ZigBee que son fundamentales a la hora de diseñar la red con una política más o menos agresiva en cuanto al consumo de energía. Los sistemas se pueden configurar para funcionar:

- **Con Balizas:** Es un mecanismo de control del consumo de potencia en la red que permite a todos los dispositivos saber cuándo pueden transmitir. En este modelo, los dos caminos de la red tienen un distribuidor que se encarga de controlar el canal y dirigir las transmisiones. Las balizas, que dan nombre a este tipo de entorno, se usan para poder sincronizar todos los dispositivos que conforman la red, identificando la red, y describiendo la estructura de la supertrama. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de red y pueden variar desde los 15ms hasta los 4 minutos. Este modo es más recomendable cuando el coordinador de red trabaja con una batería. Los dispositivos que conforman la red, escuchan a dicho coordinador durante el balizamiento (envío de mensajes a todos los dispositivos -broadcast-, entre 0,015 y 252 segundos). Un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse en el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes, este dispositivo vuelve a dormir, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el balizamiento vuelve a dormirse.
- **Sin balizas:** Se usa el acceso múltiple al sistema Zigbee en una red punto a punto cercano. En este tipo, cada dispositivo es autónomo, pudiendo iniciar una conversación, en la cual los otros pueden interferir. A veces, puede ocurrir que el dispositivo destino puede no oír la petición, o que el canal esté ocupado. Este sistema se usa típicamente en los sistemas de seguridad, en los cuales sus dispositivos (sensores, detectores de movimiento o de rotura de cristales), duermen prácticamente todo el tiempo (el 99,999%). Para que se les tenga en cuenta, estos elementos se despiertan de forma regular para anunciar que siguen en la red. Cuando se produce un evento (en nuestro sistema será cuando se detecta algo), el sensor despierta instantáneamente y transmite la alarma correspondiente. Es en ese momento cuando el coordinador de red, recibe el mensaje enviado por el sensor, y activa la alarma correspondiente. En este caso, el coordinador de red se alimenta de la red principal durante todo el tiempo.

El paquete baliza se encarga de despertar los dispositivos que escuchan y luego vuelven a dormirse si no reciben nada más. Estos paquetes son importantes para mantener todos los dispositivos y los nodos sincronizados,

sin tener que gastar una gran cantidad de batería estando todo el tiempo encendidos.

Por otra parte, el direccionamiento es, a su vez, parte del nivel de aplicación. Un nodo está formado por un transceptor de radio compatible con el estándar 802.15.4 donde se implementan dos mecanismos de acceso al canal y una o más descripciones de dispositivo (colecciones de atributos que pueden consultarse o asignarse, o se pueden monitorizar por medio de eventos). El transceptor es la base del direccionamiento, mientras que los dispositivos dentro de un nodo se identifican por medio de un endpoint numerado entre 1 y 240.

Los dispositivos se direccionan empleando 64-bits y un direccionamiento corto opcional de 16 bits. El campo de dirección incluido en MAC puede contener información de direccionamiento de ambos orígenes y destinos (necesarios para operar punto a punto).

Este doble direccionamiento es usado para prevenir un fallo dentro de la red.

Otro aspecto muy importante es la seguridad de las transmisiones y de los datos, los cuales son puntos clave en la tecnología ZigBee que utiliza el modelo de seguridad de la subcapa MAC IEEE 802.15.4, la cual especifica 4 servicios de seguridad:

- Control de accesos, el dispositivo mantiene una lista de dispositivos “comprobados” en la red.
- Datos encriptados, las cuales utilizan una encriptación con un código de 128 bits.
- Integración de tramas, para proteger los datos de ser modificados por otros.
- Secuencias de refresco, para comprobar que las tramas no han sido reemplazadas por otras. El controlador de red comprueba estas tramas de refresco y su valor, para ver si son las esperadas.

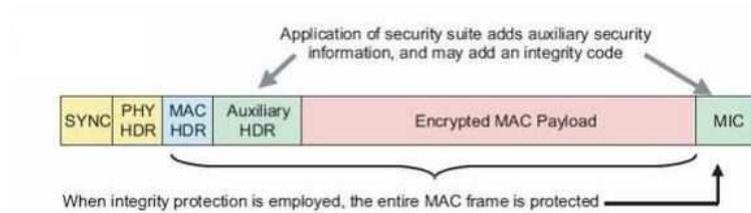


Figura 3.5: Seguridad en la trama MAC de ZigBee

3.5. Futuro

En estos momentos la alianza ZigBee está en plena expansión del estándar ZigBee 3.0[9]. Este estándar pretende llegar a interoperar con otro estándar minoritario basado en TCP/IP denominado Thread. Según se explica en los últimos documentos publicados por la alianza ZigBee la proliferación dentro del M2M de los 'endevices' basados en IP es una realidad que no se puede obviar y esta será por tanto la vía principal de trabajo.

ZigBee	Thread
ZigBee protocol	Protocol (e.g. CoAP)
ZigBee transport	UDP/TCP
ZigBee networking	6LoWPAN, DTLS, distance vector routing
IEEE 802.15.4 MAC	IEEE 802.15.4 MAC
IEEE 802.15.4 2.4 GHz • O-QPSK	IEEE 802.15.4 2.4 GHz • O-QPSK

Figura 3.6: Pilas de protocolos ZigBee y Thread

Capítulo 4

Análisis del mercado

Debido a la gran cantidad de aplicaciones y estándares que se han ido desarrollando los últimos años se hace complicado hacer un estudio de mercado genérico. Los sistemas se han ido especializando conforme a los estándares que ha ido proponiendo la Alianza ZigBee y por ello el estudio de mercado se ha decidido que se va a centralizar en las redes de sensores, más en concreto en sensores ambientales.

Para montar una red y poder extraer los datos en remoto sería necesario adquirir un gateway que hiciera de frontera entre una red de sensores ZigBee y una WWAN (Wireless Wide Area Network), por lo que se va a proceder a analizar los diferentes tipos de gateways ZigBee que hay en el mercado y analizar las tecnologías WWAN que pueden dar servicio para tal fin: GPRS, Edge, 2G, 3G y 4G.

4.1. Modelos

En este apartado se va a realizar una pequeña explicación de cada modelo. Finalmente se va a presentar un cuadro comparativo con las características de cada modelo y se va a seleccionar el que mejor se adapte a las características del escenario que se va a plantear para hacer las pruebas.

4.1.1. Four Faith F8325 ZigBee

Es un sistema de uso industrial modular, es decir, el módulo WAN va por separado, pero el fabricante ya tiene contemplado la venta en pack. Cuenta un índice de protección IP30 indica que no es conveniente instalarlo en exteriores ya que no es resistente al agua.



Figura 4.1: Four Faith F8325 ZigBee+EDGE ROUTER

4.1.2. Rexasense RD-5000

En las especificaciones se indica que está diseñado para uso industrial pero no soporta niveles de humedad superiores al 80 % así que es conveniente no usarlo en exteriores.



Figura 4.2: REXSENSE RD-5000

4.1.3. Develco Squid.Link

El gateway Develco Squid.Link es un modelo con un sistema operativo Linux desde el cual se pueden programar las tareas a realizar en Java, C y C++ orientado principalmente a la Home Automation así que con un índice de protección medioambiental IP20 sólo está preparado para entornos

seguros, con poco polvo y sin humedad. Las conexiones a la WAN son de carácter modular así que se puede adquirir sólo el módulo que se necesite.



Figura 4.3: Develco Squid.Link

4.1.4. NetComm NTC-6200

El gateway NTC-6200 es un modelo orientado a la instalación en ambientes industriales. También lleva un sistema Linux embebido. No hay opciones modulares, todas las conexiones vienen integradas.



Figura 4.4: NetComm NTC-6200

4.1.5. NetComm NTC-1100

Es un sistema preparado principalmente para interior. La carcasa es transparente así que no es conveniente instalarla en un ambiente donde esté expuesto al sol. Es un sistema de Home Área Network de tamaño muy reducido

y que se puede acoplar fácilmente a otros sistemas dando la sensación de que vienen integrados.



Figura 4.5: NetCOmm NTC 1100

4.1.6. DIGI ConnectPort X4

La familia ConnectPort X4 de Digi es una de las más versátiles. Los módulos WAN vienen separados por modelos e incluyen un acceso web de configuración que lo hacen fácilmente configurable a través de la cloud de DIGI. Su índice de protección medioambiental es 65 así que puede ser expuesto a los elementos sin temor a que se pueda averiar.



Figura 4.6: Familia ConnectPort X4 de DIGI

4.1.7. Dell EDGE Gateway 3000 Series

La serie Dell Edge Gateway 3000 es el último en aparecer en el mercado. El modelo 3002 que tiene la antena ZigBee integrada por defecto (en los otros modelos es opcional) indica que está especialmente diseñado para transporte

y logística. Dispone de microprocesador intel atom y se puede elegir entre una versión con un sistema operativo Ubuntu 16 o una con Windows 10.



Figura 4.7: Dell Edge Gateway modelo 3002

4.2. Cuadros comparativos

4.2.1. Tecnología WAN

Modelo	GPRS	EDGE	2G	3G	4G
Four Faith F8325 ZigBee	No	No	No	Si	Si
Rexsense RD-5000	No	No	Si	Si	No
Develco Squid.Link	No	No	Si	Si	No
NetComm NTC-6200	Si	Si	Si	Si	Si
NetComm NTC-1100	Si	Si	Si	Si	Si
DIGI ConnectPort X4 Family ^a	Si	Si	Si	Si	Si
Dell EDGE Gateway 3002	No	No	No	Si	Si

^aSegun el modelo se puede elegir entre GPRS, Edge, 2G, 3G y 4G

4.2.2. Software de Gestión

Modelo	Linux	Win	Otros
Four Faith F8325 ZigBee	No	No	N/D
Rexsense RD-5000	No	No	Línea de comandos a través de software propietario
Develco Squid.Link	Si	No	Soporte de JVM, C y Python
NetComm NTC-6200	Si	No	Linux 3.6 Embebido
NetComm NTC-1100	No	No	Grid Net TM SmartNOS TM
DIGI ConnectPort X4 Family	No	No	Digi Remote Manager vía CLI o a través de interfaz WEB
Dell EDGE Gateway 3002	Si	Si	Hay una versión con Ubuntu 16 y otra con Windows 10

4.3. Interfaz ZigBee

Debido a que todos los sistemas cumplen con el estándar 802.15.4 de la ITU las características a nivel de alcance, potencia y gestión de los sensores

no difieren mucho unos de otros más allá de que la especificación a la que pertenezcan sea industrial ZigBee o home automation. Los sensores que sean compatibles con ZigBee deben ser compatibles con el gateway. Sobre los sensores se ha decidido que van a medir temperatura, humedad y luminosidad.

4.4. Elección del modelo

Las redes de sensores ambientales no deberían mostrar cambios muy bruscos así que la extracción de datos remota no debería ser intensiva. Para ello, el modelo que más se adecúa es un dispositivo con una tecnología WWAN con una tasa de bit más baja, que supone un ahorro en coste de datos, de energía y de dinero es basado en tecnología GPRS o Edge. Para este fin el modelo de Digi ConnectPort X4 H ZB Edge es la respuesta óptima si se contrata una tarjeta SIM de datos M2M que proporcionan algunos operadores.

Capítulo 5

Escenario

El caso que se va estudiar es el de una red de sensores para poder tomar muestras cada hora de temperatura, humedad y luminosidad. En un sitio en el que no se puede hacer obra civil, ni cableado la única opción pasa por colocar un sistema inalámbrico que pueda extraer los datos sin afectar al entorno en absoluto.

Para poder realizar las mediciones se decide montar un sistema formado por un gateway y dos sensores de temperatura, humedad y luminosidad. El gateway es el encargado de controlar la red de sensores ZigBee y puede transmitir los datos a la nube propiedad del fabricante aunque para las pruebas se van a extraer y disponibilizar directamente sin pasar por la nube.

5.1. Gateway DIGI ConnectPort X4 H ZB, Edge

El gateway seleccionado para el proyecto es el modelo de DIGI basado en la tecnología Edge para hacer llegar los datos a la nube. Con la tasa de datos que genera una red de dos sensores que evalúa un dato de humedad, otro de temperatura y otro de luminosidad por cada sensor cada hora no se hacía necesaria una tecnología que soportara tasas de bit mayores como 3G o 4G.



Figura 5.1: Gateway

En la figura 5.2 se pueden observar los datos del gateway con la MAC, el Part Number y el número de serie.



Figura 5.2: Pegatina con los datos del Gateway

La electrónica del gateway consiste en una placa base en la que se insertan una antena ZigBee, una antena Edge con su SIM y una conexión RJ-45 para conectarse a través de Ethernet. También dispone de un acceso USB pero sólo sirve para conectar una cámara IP compatible de DIGI, no tiene fines de configuración. Las salidas analógicas se pueden utilizar para conectar sistemas acústicos o de luz que permitan activar automatismos de alarma.

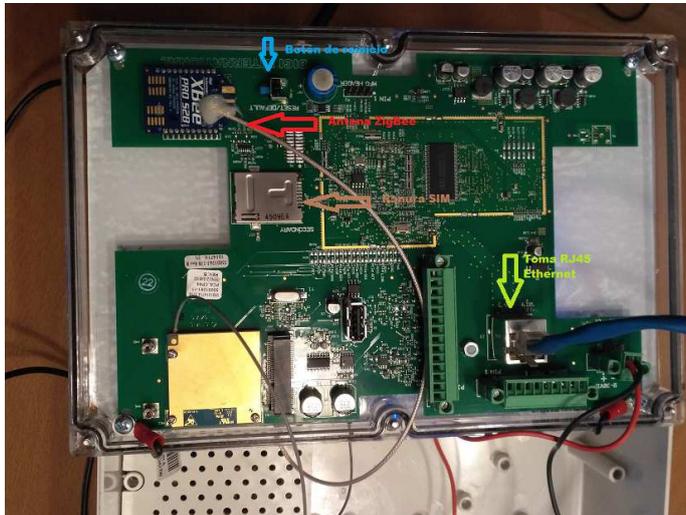


Figura 5.3: Interior del Gateway

5.2. XBee Sensor ZB Bat /L/T/H

Los sensores con los que se va a trabajar son dos sensores XBEE2 alimentados con baterías alcalinas AA. Estos sensores sólo disponen de la placa y un botón para poder reiniciarlos. Las actualizaciones tanto de configuración como de firmware se hacen sobre el interfaz ZigBee 'on the air'.



Figura 5.4: Frontal del sensor



Figura 5.5: Pegatina con las características del sensor

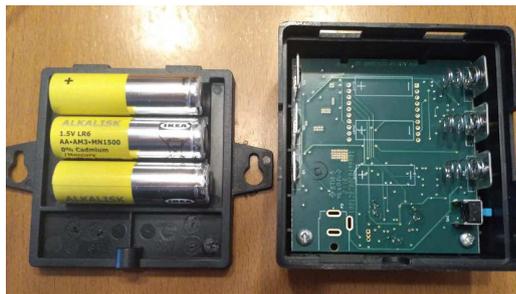


Figura 5.6: Interior del sensor

5.3. Instalación y configuración de la red

Para realizar la configuración de la red se necesita un pc con una tarjeta de red ethernet que se debe conectar por cable al gateway y conectar el gateway a un enchufe a 220V.



Figura 5.7: Laboratorio de pruebas

DIGI dispone de un software denominado Device Discovery Tool que encuentra el equipo y permite abrir el interfaz web a través del que hacer la configuración.

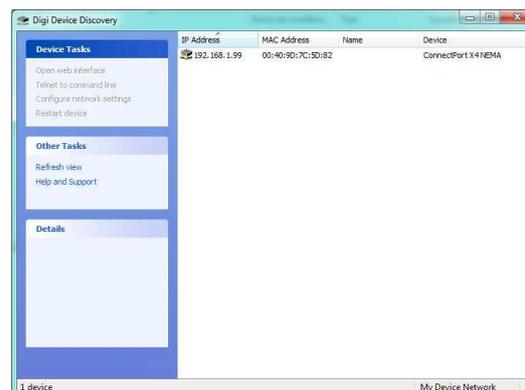


Figura 5.8: Device Discovery Tool descubriendo el Gateway

Se asignan IP y nombre al gateway.

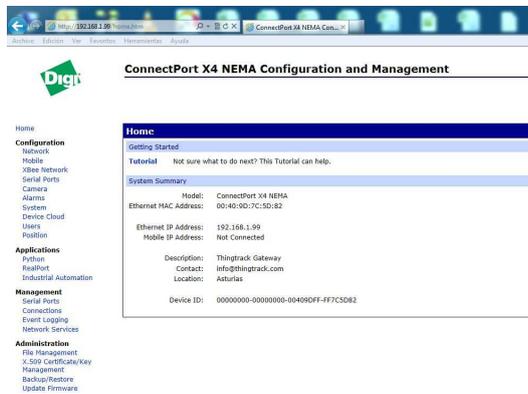


Figura 5.9: Pantalla principal - Home

Desde la ventana Network se pueden asignar los parámetros de red.

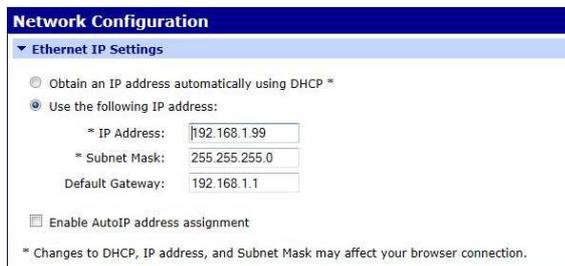


Figura 5.10: Pantalla principal - Network

En su momento desde la ventana Mobile se configuró una SIM especial para transmitir sólo datos M2M pero en estos momentos está desactivado ya que las pruebas relativas a este proyecto se harán a través del cable de red ethernet.

Mobile Configuration

Select a mobile profile to configure. Settings on this page apply to the selected profile.

Priority	Service Provider	SIM	Status
1	Vodafone	1	Not installed
2	European Providers	2	Not installed

Mobile Settings

Select the service provider, service plan, and connection settings used in connecting to the mobile network. These settings are provided by and can be retrieved from the service provider.

Mobile Service Provider Settings

Service Provider: Vodafone

Service Plan / APN: internet.telecable.es

Username: telecable (Optional)

Password: [masked] (Optional)

SIM PIN: [input field]

SIM Slot: Slot 1 Slot 2

Enable Data-Only mode
Select this option only if your SIM does not support voice mode. See help for further information.

Mobile Connection Settings

Enable this connection. This selection will not disconnect an established connection.
An established connection may be disconnected from the Connections Management page.

Re-establish connection when no data is received for a period of time.
Inactivity timeout: 3600 seconds

Figura 5.11: Pantalla principal - Mobile

En el momento que los sensores estén al alcance del gateway y con las baterías instaladas se procede con un reset desde el botón que se encuentra en el lateral del sensor. En unos pocos minutos los sensores aparecen en la ventana XBee Network.

Gateway Device Details

PAN ID: 0x2a27 - 0x0a710f48fe72558a

Channel: 0x0c (2410 MHz)

Gateway Address: 00:13:a2:00:40:c8:33:16

Gateway Firmware: 0x21a7

Network View of the XBee Devices

Select a device to configure:

Node ID	Network Address	Extended Address	Node Type	Product Type
[ac25]		00:13:a2:00:40:aec1:cfl	end device	
		00:13:a2:00:40:aec1:ddd	end device	
San Miguel de Lillo	[0000]	00:13:a2:00:40:c8:33:16	coordinator	X4 Gateway

1 coordinator, 2 end devices

Clear list before discovery

Figura 5.12: Pantalla principal - XBee Network

Las configuraciones ZigBee de los sensores y del gateway se extraen ha-

ciendo un backup. Para modificar los valores de los sensores hay que hacer un 'restore' con un archivo como el que sale de hacer el backup.

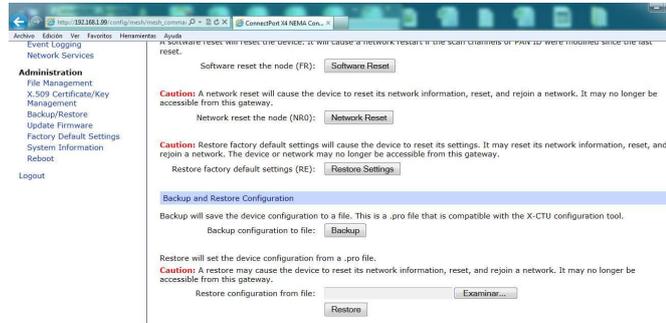


Figura 5.13: Pantalla principal - XBee Network - Device Operations

A continuación se puede ver la configuración del sensor SEN09:

XB24-ZB_2CA7.mxi

0

0

0

2CA7

0

[A] LT=0

[A] BH=0

[A] CC=2B

[A] CI=11

[A] CT=64

[A] CR=3

[A] DH=0

[A] DL=0

[A] DE=E8

[A] D0=1

[A] D1=2

[A] D2=2

[A] D3=2

[A] D4=4

[A] D5=1
[A] D6=0
[A] D7=4
[A] P0=0
[A] P1=3
[A] P2=4
[A] IC=800
[A] NT=3C
[A] EE=0
[A] EO=0
[A] ID=0000000000000000
[A] GT=3E8
[A] NJ=FF
[A] JN=0
[A] NH=1E
[A] NI=SEN09
[A] RO=3
[A] PO=0
[A] PL=4
[A] PM=1
[A] PR=0
[A] RP=28
[A] IR=FFFF
[A] SC=FFFF
[A] SD=3
[A] NB=0
[A] BD=3
[A] SN=EA6
[A] SM=4
[A] SO=6
[A] SP=60
[A] ST=465
[A] SE=E8
[A] ZS=0
[A] SB=0
[A] V+=0
[A] WH=7D

La del sensor SEN10:

```
XB24-ZB_2CA7.mxi
0
0
0
2CA7
0
[A] LT=0
[A] BH=0
[A] CC=2B
[A] CI=11
[A] CT=64
[A] CR=3
[A] DH=0
[A] DL=0
[A] DE=E8
[A] D0=1
[A] D1=2
[A] D2=2
[A] D3=2
[A] D4=4
[A] D5=1
[A] D6=0
[A] D7=4
[A] P0=0
[A] P1=3
[A] P2=4
[A] IC=800
[A] NT=3C
[A] EE=0
[A] EO=0
[A] ID=0000000000000000
[A] GT=3E8
[A] NJ=FF
[A] JN=0
[A] NH=1E
[A] NI=SEN10
[A] RO=3
[A] PO=0
[A] PL=4
```

[A] PM=1
[A] PR=0
[A] RP=28
[A] IR=FFFF
[A] SC=FFFF
[A] SD=3
[A] NB=0
[A] BD=3
[A] SN=EA6
[A] SM=4
[A] SO=6
[A] SP=60
[A] ST=465
[A] SE=E8
[A] ZS=0
[A] SB=0
[A] V+=0
[A] WH=7D

Y del gateway:

```
XBP24-ZB_21A7_S2B.mxi
0
0
0
21A7
0
[A] AR=FF
[A] BH=0
[A] CR=3
[A] D6=0
[A] NT=3C
[A] EE=0
[A] EO=0
[A] ID=0000000000000000
[A] II=FFFF
[A] NJ=FF
[A] NH=1E
[A] NI=San Miguel de Lillo
[A] PL=4
[A] PM=1
[A] SC=7FFF
[A] SD=3
[A] SN=EA6
[A] SP=1F4
[A] ZS=0
```

Los valores de los códigos se pueden identificar si se accede al gateway a través de la línea de comandos y se introduce el código 'set mesh'.

```
#> set mesh
```

Configure XBee network.

```
syntax: set xbee [options...] [device_settings...]
```

options:

state=on off	{Enable XBee gateway}
fw_update=on off	{Enable firmware update process}
fw_automatic=on off	{Enable automatic firmware updates}
fw_stop_on_error=on off	{Stop on firmware update error}
address=(id address)	{Specify device}
<CC> [=]param	{Run AT command on device: <CC> is 2 character upper case command param is <decimal>, 0x<hex>, or "string"}
to=(server)[:filename]	{Store config file to TFTP server}
from=(server)[:filename]	{Restore config file from TFTP server}
	{Default filename is <address>.pro}

device_settings:

	* = available on gateway
aggregation=(0-255)	{AR, Aggregation route notification, x 10 sec *}
assoc_led=(0-255)	{LT, Associate LED blink time, x 10 msec}
broadcast_hops=(0-32)	{BH, Broadcast radius *}
command_char=(char)	{CC, Command sequence character}
cluster_id=(0x0-0xffff)	{CI, Cluster identifier}
command_timeout=(2-655)	{CT, Command mode timeout, x 100 msec}
conflict_reports=(1-63)	{CR, PAN conflict threshold *}
coord_enable=(0-2)	{CE, Coordinator enable *}
dest_addr=(address)	{DH/DL, Destination address}
dest_endpoint=(0x1-0xf0)	{DE, Destination endpoint}
dio0_config=(0-5)	{D0, AD0/DI00 configuration}
dio1_config=(0-6)	{D1, AD1/DI01 configuration}
dio2_config=(0-5)	{D2, AD2/DI02 configuration}
dio3_config=(0-5)	{D3, AD3/DI03 configuration}
dio4_config=(0-5)	{D4, AD4/DI04 configuration}

dio5_config=(0-5)	{D5, DIO5/Assoc configuration}
dio6_config=(0-5)	{D6, DIO6 configuration *}
dio7_config=(0-7)	{D7, DIO7 configuration}
dio8_config=(0-7)	{D8, DIO8/SleepRQ configuration}
dio9_config=(0-7)	{D9, DIO9/ON_SLEEP configuration}
dio10_config=(0-5)	{P0, DIO10/PWM0 configuration}
dio11_config=(0-5)	{P1, DIO11/PWM1 configuration}
dio12_config=(0-5)	{P2, DIO12/CD configuration}
dio13_config=(0-5)	{P3, DIO13/DOUT configuration}
dio14_config=(0-5)	{P4, DIO14/DIN configuration}
dio15_config=(0-5)	{P5, DIO15 configuration}
dio16_config=(0-5)	{P6, DIO16 configuration}
dio17_config=(0-5)	{P7, DIO17 configuration}
dio18_config=(0-5)	{P8, DIO18 configuration}
dio19_config=(0-6)	{P9, DIO19 configuration}
dio_detect=(0x0-0xffff)	{IC, DIO change detect, bitfield}
discover_timeout=(32-255)	{NT, Node discovery timeout, x 100 msec *}
encrypt_enable=(0-1)	{EE, Encryption enable *}
encrypt_options=(0x0-0xff)	{EO, Encryption options, bitfield *}
ext_pan_id=(0-8 bytes)	{ID, Extended PAN identifier *}
guard_times=(2-3300)	{GT, Guard times, msec}
initial_pan_id=(0x0-0xffff)	{II, Initial PAN identifier *}
join_time=(0-255)	{NJ, Node join time, sec *}
join_notification=(0-1)	{JN, Join notification *}
join_verification=(0-1)	{JV, Join verification *}
link_key=(0-16 bytes)	{KY, Link encryption key *}
max_hops=(0-255)	{NH, Maximum hops *}
network_key=(0-16 bytes)	{NK, Network encryption key *}
network_watchdog=(0-25855)	{NW, Network watchdog timeout, min *}
node_id=(0-20 chars)	{NI, Node identifier *}
packet_timeout=(0-255)	{RO, Packetization timeout, chars}
polling_rate=(0-1000)	{PO, Polling rate, x 10 msec}
power_level=(0-4)	{PL, Transmit power level *}
power_mode=(0-1)	{PM, Power mode *}
pullup_direction=(0x0-0xfffff)	{PD, Pull-up/down direction, bitfield}
pullup_enable=(0x0-0xfffff)	{PR, Pull-up resistor enable, bitfield}
rss_i_timer=(0-255)	{RP, RSSI PWM timer, x 100 msec}
sample_rate=(0-65535)	{IR, I/O sample rate, msec}
scan_channels=(0x1-0xffff)	{SC, Scan channels, bitfield *}
scan_duration=(0-7)	{SD, Scan duration, exponent *}
serial_parity=(0-4)	{NB, Serial interface parity}

serial_rate=(0-115200)	{BD, Serial interface data rate}
sleep_count=(1-65535)	{SN, Peripheral sleep count *}
sleep_mode=(0-6)	{SM, Sleep mode}
sleep_options=(0x0-0xff)	{SO, Sleep options, bitfield}
sleep_period=(32-2800)	{SP, Cyclic sleep period, x 10 msec *}
sleep_time=(1-65535)	{ST, Time before sleep, msec}
source_endpoint=(0x1-0xff)	{SE, Source endpoint}
stack_profile=(0-2)	{ZS, ZigBee stack profile *}
stop_bits=(0-1)	{SB, Stop bits}
supply_threshold=(0-76799)	{V+, Supply voltage high threshold, mvolts}
wake_host_delay=(0-65535)	{WH, Wake host delay, msec}

Los datos de los sensores ya se están enviando al gateway y se están almacenando con los nombres file_nameXX.xml.

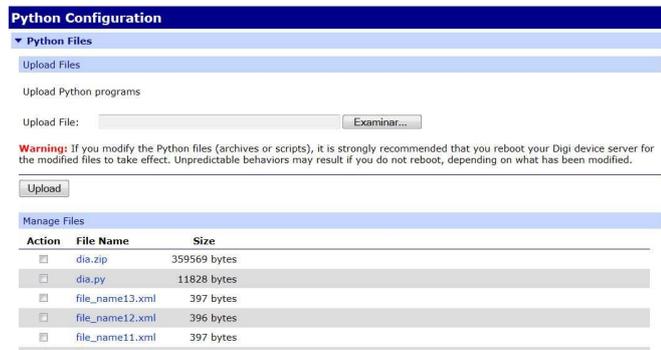


Figura 5.14: Pantalla principal - Applications - Python

El ejemplo de una toma de datos se puede abrir directamente en el navegador ya que es un archivo xml:

```
<?xml version="1.0"?>
-<idigi_data version="1.1" compact="True">
<sample timestamp="2017-09-19T19:25:02Z" type="float"
unit="\%" value="58.1743870763" name="SEN09.humidity"/>

<sample timestamp="2017-09-19T19:25:02Z" type="float"
unit="brightness" value="19.0" name="SEN09.light"/>

<sample timestamp="2017-09-19T19:25:02Z" type="float"
unit="C" value="22.96" name="SEN09.temperature"/>

</idigi_data>
```

Los sensores se han dejado tomando datos durante nueve horas y se ha extraído la siguiente tabla:

```
compact version name value unit type timestamp
True 1,1 SEN09.humidity 61,99730337 % float 2017-09-21T02:40:35Z
True 1,1 SEN09.light 0 brightness float 2017-09-21T02:40:35Z
```

```
True 1,1 SEN09.temperature 22,38 C float 2017-09-21T02:40:35Z
True 1,1 SEN10.light 0 brightness float 2017-09-21T02:40:45Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,73 C float 2017-09-21T02:40:45Z
True 1,1 SEN10.humidity 61,38070397 % float 2017-09-21T02:40:45Z
True 1,1 SEN09.humidity 62,24394314 % float 2017-09-21T03:43:06Z
True 1,1 SEN09.light 0 brightness float 2017-09-21T03:43:06Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,26 C float 2017-09-21T03:43:06Z
True 1,1 SEN10.light 0 brightness float 2017-09-21T03:43:16Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,61 C float 2017-09-21T03:43:16Z
True 1,1 SEN10.humidity 61,62734373 % float 2017-09-21T03:43:16Z
True 1,1 SEN09.light 0 brightness float 2017-09-21T04:45:37Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,26 C float 2017-09-21T04:45:37Z
True 1,1 SEN09.humidity 62,24394314 % float 2017-09-21T04:45:37Z
True 1,1 SEN10.light 0 brightness float 2017-09-21T04:45:47Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,49 C float 2017-09-21T04:45:47Z
True 1,1 SEN10.humidity 61,75066361 % float 2017-09-21T04:45:47Z
True 1,1 SEN09.humidity 62,4905829 % float 2017-09-21T05:48:08Z
True 1,1 SEN09.light 0 brightness float 2017-09-21T05:48:08Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,14 C float 2017-09-21T05:48:08Z
True 1,1 SEN10.light 0 brightness float 2017-09-21T05:48:18Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,61 C float 2017-09-21T05:48:18Z
True 1,1 SEN10.humidity 61,87398349 % float 2017-09-21T05:48:18Z
True 1,1 SEN09.humidity 62,61390278 % float 2017-09-21T06:50:40Z
True 1,1 SEN09.light 0 brightness float 2017-09-21T06:50:40Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,14 C float 2017-09-21T06:50:40Z
True 1,1 SEN10.light 0 brightness float 2017-09-21T06:50:49Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,38 C float 2017-09-21T06:50:49Z
True 1,1 SEN10.humidity 62,12062326 % float 2017-09-21T06:50:49Z
True 1,1 SEN09.humidity 62,86054254 % float 2017-09-21T07:53:11Z
True 1,1 SEN09.light 6 brightness float 2017-09-21T07:53:11Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,14 C float 2017-09-21T07:53:11Z
True 1,1 SEN10.light 2 brightness float 2017-09-21T07:53:19Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,61 C float 2017-09-21T07:53:19Z
True 1,1 SEN10.humidity 62,4905829 % float 2017-09-21T07:53:19Z
True 1,1 SEN09.humidity 63,60046182 % float 2017-09-21T08:55:42Z
True 1,1 SEN09.light 15 brightness float 2017-09-21T08:55:42Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,14 C float 2017-09-21T08:55:42Z
True 1,1 SEN10.light 9 brightness float 2017-09-21T08:55:50Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,49 C float 2017-09-21T08:55:50Z
True 1,1 SEN10.humidity 63,1071823 % float 2017-09-21T08:55:50Z
True 1,1 SEN09.humidity 64,09374135 % float 2017-09-21T09:58:13Z
```

```

True 1,1 SEN09.light 15 brightness float 2017-09-21T09:58:13Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,26 C float 2017-09-21T09:58:13Z
True 1,1 SEN10.light 8 brightness float 2017-09-21T09:58:21Z
True 1,1 SEN10.temperature 22,73 C float 2017-09-21T09:58:21Z
True 1,1 SEN10.humidity 63,60046182 % float 2017-09-21T09:58:21Z
True 1,1 SEN09.humidity 64,46370099 % float 2017-09-21T11:00:44Z
True 1,1 SEN09.light 76 brightness float 2017-09-21T11:00:44Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,73 C float 2017-09-21T11:00:44Z
True 1,1 SEN10.light 22 brightness float 2017-09-21T11:00:51Z
True 1,1 SEN10.temperature 23,2 C float 2017-09-21T11:00:51Z
True 1,1 SEN10.humidity 63,97042146 % float 2017-09-21T11:00:51Z
True 1,1 SEN09.humidity 64,34038111 % float 2017-09-21T12:03:15Z
True 1,1 SEN09.light 94 brightness float 2017-09-21T12:03:15Z
True 1,1 SEN09.temperature 22,96 C float 2017-09-21T12:03:15Z
True 1,1 SEN10.light 26 brightness float 2017-09-21T12:03:22Z
True 1,1 SEN10.temperature 23,2 C float 2017-09-21T12:03:22Z
True 1,1 SEN10.humidity 63,84710158 % float 2017-09-21T12:03:22Z

```

A continuación se muestran los gráficos con los datos de humedad, cantidad de luz y temperatura que han recogido los sensores.

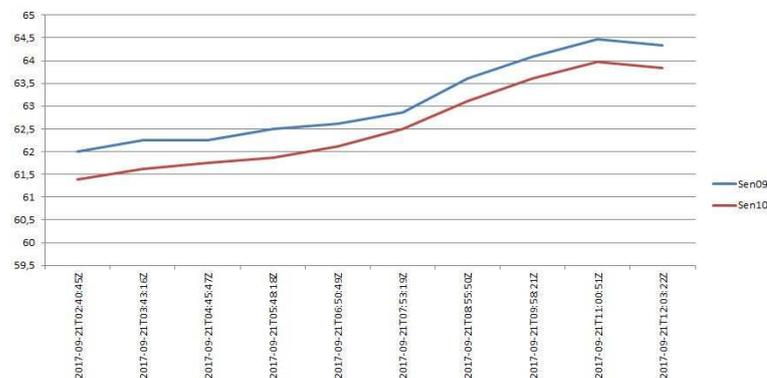


Figura 5.15: Mediciones de la humedad relativa en el ambiente en %



Figura 5.16: Mediciones de la cantidad de luz que reciben los sensores en %

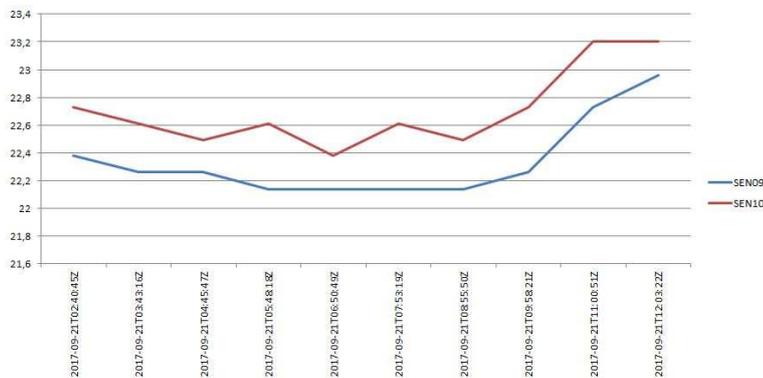


Figura 5.17: Mediciones de la temperatura en °C

Capítulo 6

Conclusiones y líneas de trabajo futuras

En este proyecto fin de carrera se ha realizado un estudio desde los primeros protocolos comerciales que empezaron a interactuar en el ámbito de corto alcance de las personas. En un principio, por la necesidad y urgencia en hacer llegar la información más lejos, se fue avanzando en resolver los problemas de comunicaciones de largo alcance y a lo largo del tiempo se han ido mejorando los sistemas de comunicaciones en ámbitos cada vez más cercanos.

Podría parecer que la transmisión en ámbitos más cercanos sería más simple de solventar una vez resuelta la comunicación de largo alcance, pero en las redes de área personal surgen nuevos desafíos ante la proliferación de nuevos servicios como por ejemplo la interferencia entre sistemas.

En el estudio teórico de la arquitectura, se comprueba que ZigBee permite la creación de redes muy grandes (de más de 65000 nodos). Estos nodos pueden actuar como enrutadores, así, en caso de la caída de uno de los nodos, otro se puede hacer cargo del tráfico que viene de un lado de la red hacia el coordinador y viceversa. Esta característica, además de la numeración de los paquetes y la redundancia en las cabeceras, da lugar a redes muy sólidas, preparadas para los fallos y seguras. Por otra parte la posibilidad de funcionar con balizas y sin balizas permite configurar las redes con unas políticas muy flexibles dependiendo de si se desea un ahorro de energía más o menos agresivo.

Con el estudio de mercado se comprobó que Digi tiene el catálogo más extenso para cubrir la demanda más variada de productos que hagan de intermediario entre el mundo ZigBee y todos los demás. En el caso concreto de los gateways también se debe constatar que tienen la construcción más robusta de todos los analizados y con índices de protección a entornos muy hostiles. No obstante hay otras marcas punteras, entre las que cabe destacar

66CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS

Dell, que han apostado por implementar ZigBee aumentando la potencia y flexibilidad de sus sistemas para poder dar cabida aplicaciones que hasta ahora no se habían integrado en un solo dispositivo.

Durante el desarrollo del apartado práctico con los equipos de DIGI, se ha podido comprobar que el sistema requiere de un tiempo de instalación muy bajo y la configuración es bastante intuitiva. El gateway es muy flexible y el fabricante permite, previo pago del uso de su aplicación en la nube, de una configuración casi inmediata, lo que facilita los despliegues en caso de mucha urgencia, pero también se puede realizar una configuración manual muy eficiente como la que se ha realizado en el laboratorio que ahorra costes a la larga.

Como se comentó al final del apartado del estudio del protocolo ZigBee, en el desarrollo del estándar ZigBee 3.0 está primando la interoperabilidad con otros sistemas. En estos momentos, los estándares de domótica propietarios, como es el caso de Insteon, son totalmente cerrados y es muy posible que los fabricantes de productos al final de la cadena no se quieran arriesgar a implementar una tecnología u otra hasta que, bien sean compatibles, o bien haya una que prevalezca sobre todas. En el resto de las aplicaciones que no sean estrictamente de domótica parece que la tecnología que va a intentar hacer frente en un futuro a ZigBee va a ser Bluetooth ULP (también conocido como BLE) aunque cuando se han valorado otras opciones para la realización del apartado práctico las mejores soluciones en cuanto a robustez y optimización de recursos eran las que hacían uso de ZigBee.

En cuanto a las líneas de trabajo futuro que pudieran mejorar los sistemas empleados en el apartado práctico es complicado apuntar alguna mejora en cuanto a los sensores, ya que son pequeños, manejables y discretos. Aunque continuará la miniaturización en gran parte debido a la implementación de baterías de litio de última generación hay que destacar que el funcionamiento de estos sensores ha sido probado y durante más de tres años no ha sido necesario cambiar las pilas, lo cual les hace muy prácticos y fiables. En cuanto al gateway también es destacable que las versiones más modernas disponen de un software de configuración que se puede instalar en un pc y que se puede conectar directamente en el equipo sin necesidad de conectarse a la web ni pagar por los servicios de la nube. Este software posee una interfaz de configuración gráfica más intuitiva y permite monitorizar el estado de la red incluidos los sensores.

Bibliografía

- [1] Web site: <https://www.iso.org/standard/70171.html>
- [2] Web site: <http://www.nearfieldcommunication.org/about-nfc.html>
- [3] Web site: <https://www.bluetooth.com>
- [4] Web site: <https://www.intel.la/content/www/xl/es/support/network-and-i-o/wireless-networking/000005725.html>
- [5] Web site: <http://www.irda.org>
- [6] Web site: <http://www.insteon.com>
- [7] Web site: <https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/power-consumption-analysis-of-bluetooth-low-energy-zigbee-and-ant-sensor-nodes-in-a-cyclic-sleep-scenario>
- [8] Web site: <https://es.wikipedia.org>
- [9] Web site: http://www.nxtbook.com/nxtbooks/webcom/zigbee_rg2016/index.php
- [10] Web site: <http://www.zigbee.org/>