

CAPÍTULO 2

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

El desarrollo de la tecnología ha traído grandes beneficios a nuestra vida cotidiana. Uno de los avances más importantes que se ha tenido es la posibilidad de mantenernos comunicados sin la necesidad de estar “atados” a un solo lugar. Tenemos el ejemplo claro de las comunicaciones vía teléfono celular.

Una aplicación de este tipo de tecnologías es la intercomunicación dentro de una misma instalación sin tener necesariamente que estar junto a un dispositivo fijo que nos permita estar en contacto con el resto de las personas que se encuentran en el edificio.

Este tipo de comunicaciones en interiores es posible gracias a las redes de área local, LAN (del inglés, *local area network*). Este tipo de redes están pensadas para dar servicio a un cierto espacio limitado, tienen una velocidad de transmisión considerablemente alta (mayor o igual a 1 Mbps, tal como especifica la IEEE)¹, con una baja tasa de error y que es administrada de manera privada.

Este tipo de redes son muy útiles; sin embargo, cuando los hospitales por ejemplo, se enfrentan al hecho de querer conectar más dispositivos a sus redes existentes, o incluir nuevos sistemas a sus instalaciones, los costos y los inconvenientes por instalación de sistemas alámbricos se incrementan. Esto presenta una gran oportunidad para reemplazar los cables por los sistemas inalámbricos ya que estos simplifican las instalaciones, las hacen más estéticas, menos invasivas y con un menor costo.

REDES INALÁMBRICAS

Durante varios años se usaron las LAN en oficinas principalmente, pero posteriormente se vio la gran utilidad que tenían y se empezaron a usar de manera cotidiana en almacenes y otro tipo de instalaciones que necesitaban una manera de comunicarse que fuera práctica y simple y que permitiera a varias computadoras estar en comunicación y compartir recursos tales como impresoras.

Sin embargo, las nuevas necesidades han obligado al diseño de redes que permitan a los dispositivos contar con movilidad y gran facilidad de implementación, entre otras características.

Es esta necesidad la que impulsó el desarrollo de las redes inalámbricas de área local, WLANs (del inglés, *wireless local area networks*) que permite a los dispositivos comunicarse entre sí sin la necesidad de estar unidos por medio de una red cableada.

Las redes inalámbricas no han desplazado a las redes cableadas, ni se espera que lo hagan totalmente, pero representan una gran alternativa a este tipo de redes y son una ayuda importante cuando se desea hacer una extensión de las mismas.

¹ “Redes de área local según el estándar IEEE 802.11”, OLIVER.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Por red inalámbrica entendemos una red que utiliza ondas electromagnéticas que viajan a través del aire como medio de transmisión de la información, enlazando los diferentes equipos o terminales móviles asociados a la red. Estos enlaces se implementan básicamente a través de tecnologías de microondas y de infrarrojos. En las redes tradicionales cableadas, esta información viaja a través de pares trenzados o fibra óptica. Para evitar interferencias y aprovechar al máximo el canal de radio, se usan diferentes tipos de modulación y diversos canales para la transmisión.

En México, el organismo encargado de vigilar y regular el uso de las bandas, por medio de licitaciones en los casos necesarios, así como de emitir normas que controlen los métodos de comunicación es la COFETEL. Este es un organismo desconcentrado de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes quien se apoya en las recomendaciones de la ITU (*International Telecommunications Union*). Esta mancuerna permite que las tecnologías de otros países sean compatibles con las del nuestro.

Podemos destacar tres grandes ventajas de las redes inalámbricas:

- movilidad
- facilidad de instalación
- flexibilidad.

Una característica importante que tienen las WLANs es que pueden coexistir perfectamente con una red cableada de manera que la expansión de una red se vuelve una tarea muy sencilla que no requiere de complicados cálculos y consideraciones adicionales.

La movilidad es la característica que ha impulsado el desarrollo de este tipo de redes y permite que los dispositivos puedan ser reubicados sin la necesidad de un reestructuramiento de la red. La facilidad de instalación se da porque no es necesario interrumpir actividades de la instalación en cuestión ni se presentan obstáculos infranqueables como muros, vacíos, etc. Además, esta facilidad de instalación permite que sea muy sencillo escalar un sistema. Son sistemas flexibles porque llegan a lugares donde acceder con cable sería imposible o muy costoso.

El atractivo fundamental de este tipo de redes es la facilidad de instalación y el gran ahorro que representa no considerar los cables como medio de transmisión. Aún con estas importantes ventajas que han sido enumeradas, se debe reconocer que las tasas de transmisión de las redes inalámbricas no son tan altas como pueden ser las correspondientes a las redes cableadas, entre 2 y 10 Mbps de las primeras contra 10 y hasta 100 Mbps que pueden ofrecer las segundas. Aunque la posibilidad de la movilidad de los dispositivos hace que veamos en este tipo de redes el complemento perfecto de las redes cableadas porque nos permiten llegar a lugares que los cables no pueden.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Este tipo de redes trabajan en las bandas conocidas como ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). El propósito original de estas bandas, a nivel internacional, era el uso de campos electromagnéticos de RF para propósitos ISM y no con fines de comunicación. Estas bandas se han popularizado por el uso que tienen en comunicaciones WLAN.

Cualquier dispositivo que quiera trabajar en estas bandas deberá aceptar la interferencia que pueda ser provocada por las aplicaciones ISM. Las bandas están definidas en la Tabla de Ubicación de Frecuencias que está contenida en el artículo 5 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (volumen 1).

El momento decisivo para la consolidación de los sistemas de comunicación inalámbricos, como sistemas que permiten la integración de diferentes dispositivos, se da en Junio de 1997 que es la fecha en la que se concluye el estándar IEEE 802.11.

IEEE 802.11

Para el óptimo desempeño de las tecnologías deben haber estándares y regulaciones. Esta es una de las tareas de la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), que establece estándares que permiten la interoperabilidad de dispositivos de distintos fabricantes.

Existen varios estándares generados por este organismo. En general los estándares de la familia 802.x definen la tecnología de redes de área local y redes de área metropolitana. El que nos interesa en este momento a nosotros es el 802.11 que es el que se refiere a la utilización de redes inalámbricas de área local y su aplicación. Este define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (capas física y de enlace de datos), especificando de esta manera sus normas de funcionamiento en una WLAN.

El estándar IEEE 802.11 define un control de acceso al medio y varias especificaciones de la capa física para conectividad inalámbrica fija, portátil y estaciones móviles dentro de un área local². En general describe las normas que debe seguir cualquier fabricante de dispositivos inalámbricos para que puedan ser compatibles con los de otro fabricante.

Aunque existen varias especificaciones dentro de este estándar, dependiendo del ancho de banda y la frecuencia de trabajo, los principales son:

- IEEE802.11a: hasta 54 Mbps de ancho de banda disponible, trabajando en la frecuencia de 5 GHz.
- IEEE802.11b: hasta 11 Mbps. Este es el más utilizado, trabaja en la frecuencia de 2.4 GHz.
- IEEE802.11g: hasta 54 Mbps trabajando en la frecuencia de 2.4 GHz.

² IEEE 802.11

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

El propósito fundamental de este estándar es proveer conectividad inalámbrica a cualquier equipo, tanto portátil o que se monte en vehículos móviles dentro de un área local.

Específicamente, este estándar:

- describe las funciones y servicios requeridos por los equipos IEEE 802.11 para que puedan trabajar en una red ad hoc e infraestructura, así como los elementos de movilidad en esas redes
- define los procedimientos MAC para soportar el servicio de entrega asíncrono MAC de unidad de datos (MSDU)
- define técnicas de señalización de la capa física y funciones de interfaz que son controladas por la capa MAC de IEEE 802.11
- permite la operación de un dispositivo que se encuentre dentro de una WLAN y que cumpla con el estándar IEEE 802.11, para que coexista con varias redes IEEE 802.11 WLANs que se entrelacen
- describe los requerimientos y procedimientos para proveer confidencialidad de los datos de la información de los usuarios
- define los procedimientos MAC para soportar aplicaciones de redes de área local con QoS (*quality of service*), incluyendo envío de voz, audio y video.

Wi-Fi Alliance

En 1999 varias empresas se unieron para formar una organización sin fines de lucro con el propósito de fomentar la adopción de un único estándar mundial para redes de área local de alta velocidad. Esta organización se conoce como Wi-Fi Alliance. La figura 2.1 muestra el logotipo de esta Alianza.



Figura 2.1 Logotipo de la Wi-Fi Alliance.

Imagen tomada de www.wi-fi.org

En la actualidad, aproximadamente 1 de cada 10 personas alrededor del mundo utilizan Wi-Fi en sus hogares o trabajos en una gran cantidad de modalidades. La adopción de esta tecnología sigue creciendo y las metas comunes siguen uniendo a más de 300 compañías de docenas de países que pertenecen a esta Alianza.

El programa de certificación de Wi-Fi que fue lanzado en Marzo del 2000, provee una designación ampliamente reconocida de interoperabilidad y calidad, ayudando de esta manera a asegurar que los productos que cuenten con esta certificación entreguen la mejor experiencia al usuario. La Alianza Wi-Fi ha

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

certificado más de 6000 productos a la fecha, impulsando el uso de los productos Wi-Fi y servicios en mercados nuevos y en los ya establecidos.

Algunas de las empresas que conforman la Alianza se enlistan a continuación.

Las empresas patrocinadoras se muestran en la figura 2.2:



Figura 2.2 Logotipos de algunas de las empresas que conforman la Wi-Fi Alliance.
Imagen tomada de www.wi-fi.org

Otras empresas que pertenecen a esta alianza son:

- | | |
|----------------------|-------------------|
| — 3Com | — Nortel Networks |
| — Acer | — Panasonic |
| — AMD | — Pantech |
| — Alcatel-Lucent | — Philips |
| — AT&T | — Pioneer |
| — Belkin | — Qualcomm |
| — Ericsson | — Samsung |
| — Ford Motor Company | — Epson |
| — Hewlett Packard | — Sharp |
| — Huawei | — Siemens |
| — Lenovo | — Sony Ericsson |
| — Lexmark | — Toshiba |
| — Logitec | |
- Por nombrar sólo algunas.

La Alianza Wi-Fi toma muy seriamente el impacto que pueda tener la tecnología Wi-Fi en la salud. Aunque se ha cuestionado el impacto que puede tener esta tecnología, un grupo de científicos ha realizado pruebas e investigaciones para concluir que no hay evidencia que demuestre que las redes inalámbricas de baja potencia afecten a la salud. La tecnología Wi-Fi cumple con todos los requerimientos de seguridad internacionales y emite señales que están típicamente cientos de miles de veces por debajo de los límites de seguridad.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

La Organización Mundial de la Salud ha revisado varios cuerpos de investigación que han concluido, que con los resultados de los experimentos y con el bajo nivel de exposición asociado a Wi-Fi, no hay evidencia científica convincente que demuestre que las señales de radio frecuencia débiles de estas redes inalámbricas provoquen efectos adversos a la salud³. Se puede encontrar más información de la Organización Mundial de la Salud en la siguiente dirección: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs304/en/index.html>.

WPAN

Hablando específicamente de las tecnologías que permitirían el intercambio de información, las aplicables para nuestro caso de estudio son Bluetooth, RFID y ZigBee. La primera y la tercera pertenecen a un tipo de redes llamadas WPAN o Redes Inalámbricas de Área Personal (del inglés, *Wireless Personal Area Networks*). Esta es una red enfocada a la comunicación de distintos dispositivos que se encuentren cerca del punto de acceso o *access point*, es decir, tienen una cobertura de sólo algunos metros conocida como POS (*personal operating space*, espacio de operación personal).

Las tres son tecnologías inalámbricas que permiten la transferencia de información en rangos de distancia aceptables para nuestro propósito. Las diferencias esenciales entre ellas son la cantidad de información que se puede enviar, las frecuencias en las que se puede trabajar y el rendimiento de las baterías que las alimentan (en el caso de necesitarlas).

La primera impresión que podemos tener es que tanto las WLANs como las WPANs tienen los mismos propósitos y el mismo modo de operación, ya que ambas tecnologías permiten a un dispositivo electrónico conectarse con el ambiente que lo rodea e intercambiar datos en un canal inalámbrico. Sin embargo, las WLANs se han diseñado y optimizado para dispositivos transportables de comunicación, por ejemplo las computadoras portátiles.

Las WPANs se diseñaron para que los dispositivos puedan tener mayor movilidad y aunque su cobertura es menor, esto es relativo ya que con estas redes, la red se “mueve” alrededor del dispositivo brindándole la movilidad esperada. Principalmente las dos tecnologías difieren en los niveles de energía y cobertura, control de medios y las configuraciones de red.

Una ventaja adicional de las WPANs sobre las WLANs es que los dispositivos pueden comunicarse entre sí sin la necesidad de un administrador de red ya que la comunicación se puede dar directamente entre los dispositivos sin la indispensable necesidad de contar con un coordinador central.

³www.wi-fi.org/wlan_health.php

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Otra característica importante es la capacidad de bloquear la comunicación con otros dispositivos previniendo de este modo el acceso no autorizado a la información de los dispositivos de la red.

Existe un grupo de la IEEE que es el encargado de desarrollar los estándares para permitir la interoperabilidad de distintos fabricantes, entre otras labores. Este grupo es el IEEE 802.15

IEEE 802.15

Los esfuerzos del grupo IEEE 802.15 se enfocan en el desarrollo de estándares consensuales para redes inalámbricas de área personal, WPAN, o redes inalámbricas de corta distancia. Su meta es publicar estándares, prácticas recomendadas o guías que tengan un gran mercado de aplicación y que se encarguen de manera efectiva de la coexistencia e interoperabilidad con otras soluciones alámbricas e inalámbricas.

El grupo de trabajo IEEE 802.15, así como el IEEE 802.11, son parte del grupo IEEE 802 que es el Comité de Estándares de Redes de Área Local y Metropolitanas de la Sociedad de Computación de la IEEE.

Las redes con las que trabaja este estándar son de corto alcance, baja potencia, bajo costo, para redes pequeñas y cuya comunicación se desarrolla dentro de un POS.

Existen principalmente cuatro grupos de trabajo para las comunicaciones en las redes WPAN, cada uno con intereses específicos que generan estándares que satisfacen necesidades particulares de comunicación.

- 802.15.1 Este grupo publicó su estándar en 2002 y está pensado específicamente para las características y aplicaciones de Bluetooth.
- 802.15.2 Desarrolló un modelo que permite la coexistencia entre las WLANs y las WPANs.
- 802.15.3 Trabaja para publicar un estándar que permita altas velocidades (20 Mbps o mayores) para las WPANs. Este estándar se está diseñando para ofrecer soluciones a bajo costo y con bajo consumo de potencia.
- 802.15.4 Su aprobación definitiva fue en 2006 y está pensado en soluciones que requieran una baja tasa de transferencia y con ello una larga vida útil de las baterías y que sean dispositivos de relativa baja complejidad.

A continuación, en la tabla 2.1, se presenta una comparación de las características particulares de dos de los grupos de trabajo de IEEE 802.15

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

PARAMETROS	Bluetooth (IEEE 802.15.1)	ZigBee (IEEE 802.15.4)
APLICACIONES	- accesorios de computación - comunicación entre computadoras - intercambio de información entre PDAs y teléfonos celulares	- controles en el hogar - automatización residencial - automatización industrial - seguridad residencial - monitoreo médico
BANDA DE FRECUENCIA	2.4 - 2.48 GHz	868 - 868.6 MHz 902 - 928 MHz 2.4 - 2.48 GHz
RANGO	~ 10 metros	~ 100 metros
MAXIMA TASA DE TRANSMISIÓN	3 Mbps	250 Kbps
MODULACIÓN	GFSK, 2PSK, DQSP, 8PSK	BPSK (868/928MHz) OPSK (2.4GHz)

Tabla 2.1 Comparación entre Bluetooth y ZigeBee

BLUETOOTH

Como ya se mencionó, es una WPAN que se desprende del estándar 802.15.1 que trabaja en la banda ISM; opera en las frecuencias desde 2.402 GHz hasta 2.483 GHz definida en 79 canales de 1 MHz cada uno. Al ser una de las bandas ISM no se necesita pagar una licencia para hacer uso de dicha banda, es libre en todo el mundo; permite tener tasas de transferencia elevadas, del orden de 1 Mbps. En la figura 2.3 se muestra el logotipo de Bluetooth.



Figura 2.3 Logotipo de Bluetooth.

Imagen tomada de www.bluetooth.org

Tiene un rango de cobertura pequeño y las redes que se pueden formar con dispositivos que usen esta tecnología son muy pequeñas, se pueden conectar hasta 8 dispositivos donde uno de ellos será el dominante (*master*) y los otros 7 serán subordinados (*esclavos*). Estas redes se llaman *piconets* y la formación de más de una *piconet* interconectadas entre sí se llama *scatternet* que puede estar formada de hasta diez *piconets*. Dentro de una *scatternet* todas las unidades comparten el mismo rango de frecuencias, aunque utilizan diferente sincronización y diferentes canales de transmisión.

Las conexiones son punto a punto o punto a multipunto con un rango máximo de 10 metros, aunque utilizando amplificadores, y con un mayor consumo de potencia, se puede llegar hasta los 100 metros pero se introduce un poco de distorsión en la señal. Una gran ventaja de esta tecnología es que no se necesita tener línea de vista para que sea posible la comunicación entre los dispositivos.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

En 1994 Ericsson, con oficinas en Suecia, inició investigaciones para la creación de una tecnología que permitiera la comunicación inalámbrica entre diferentes dispositivos sin que se tuvieran que cambiar las configuraciones cada vez que se quisiera hacer una transferencia de información. Poco a poco se fueron viendo la variedad de aplicaciones que se podían tener con esta nueva interfaz.

Formalmente, esta especificación surgió a principios de 1998 de la colaboración de varias empresas líderes de la industria de las telecomunicaciones: Ericsson, Nokia, Intel, IBM, Toshiba, Motorola, y más tarde, 3Com, Lucent y Motorola formaron el SIG (*Special Interest Group*), al que ya pertenecen más de 2000 empresas que han adoptado esta tecnología para desarrollarla en sus propios productos, que empezaron a salir al mercado en el primer semestre del 2001 sin tener que pagar regalías.

Los dispositivos que usan esta tecnología están pensados para aplicaciones de corto alcance, encontramos básicamente aplicaciones de intercambio de voz y datos, teléfonos celulares, PDAs, mouses, teclados, impresoras y algunos sistemas médicos que no requieren de una tasa de transferencia muy grande donde se vuelve muy práctica la comunicación sin cables.

Al trabajar en una banda que es libre en todo el mundo se presenta el inevitable problema de las interferencias. Bluetooth utiliza una función de salto adaptable de frecuencia (AFH, *adaptable frequency hopping*) que se diseñó expresamente para reducir las interferencias entre los dispositivos que trabajan en 2.4 GHz. Esta función sensa el ambiente para ver qué frecuencia están usando los dispositivos dentro de su rango de cobertura y utiliza la frecuencia disponible dentro del espectro. La señal salta entre los 79 canales entre los que se divide la banda en intervalos de 1 MHz para evitar colisiones.

Los dispositivos pueden hallarse en cinco estados diferentes para ahorrar energía: en espera, antes de unirse a la piconet; búsqueda; solicitud; conexión y retención; pasando de uno a otro según el entorno. El *master* controla todo el tráfico en la *piconet*, otorga a cada *slave* de una *piconet* una identificación de dispositivo reloj (*clock device ID*) y configura una secuencia de saltos de frecuencia en función de la dirección del dispositivo *master*.

Esta tecnología utiliza una técnica de codificación digital llamada *spread spectrum* (espectro disperso). En este método se extiende la señal a transmitir (de banda estrecha) sobre una porción mucho más amplia del espectro de radiofrecuencia, esto hace a la señal mucho más inmune al ruido y resistente a las interferencias y a la interceptación.

A su vez, esta técnica de codificación puede emplear *direct sequence* (secuencia directa) en la que cada uno de los bits se divide en múltiples sub-bits o chips; o *frequency hopping* (salto de frecuencia), siendo este último modo el elegido para trabajar en Bluetooth.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

La idea de la tecnología Bluetooth, era unificar diferentes sistemas bajo un mismo esquema de comunicación que permitiera una rápida identificación de los dispositivos que se encuentran dentro del alcance de transmisión sin que el fabricante sea una limitante para la comunicación.

El nombre Bluetooth se le dio por un rey Noruego llamado Harald Bluetooth Gormson quien unificó Dinamarca, Noruega y Suecia bajo un mismo reino en el siglo X y quien nació aproximadamente en el 910 D.C.

ZigBee

El estándar de comunicación 802.15.4 de la IEEE fue creado en Diciembre del 2000 para proporcionar un sistema de comunicación inalámbrica que fuera poco complejo, de bajo costo, de baja potencia, con bajo consumo de energía, rango de operación corto para aplicaciones con baja tasa de transmisión.

El estándar en cuestión define las subcapas MAC (control de acceso al medio) y PHY (física) del modelo de referencia OSI (*Open System Interconnection*) mientras que la especificación ZigBee define los protocolos de las capas superiores y desarrolla las aplicaciones para que la tecnología pueda ser usada entre diferentes fabricantes⁴.

El propósito general del estándar al que nos estamos refiriendo, es proporcionar los niveles de red básicos para dar servicio a una red inalámbrica de área personal. La idea central es proporcionar los lineamientos para tener una red que permita la comunicación entre los elementos de manera inalámbrica como ya se mencionó y que permita un bajo consumo, lo que se verá traducido en una larga vida útil de las baterías de nuestros dispositivos, así como un costo menor que el de los elementos de otros sistemas. El hardware requerido es sencillo lo que también significa un menor costo sin que esto signifique sacrificar alguna característica indispensable en las redes de este tipo.

ZigBee es una tecnología de reciente aparición que aún no despierta completamente el interés de los usuarios, sin embargo, presenta muchas ventajas sobre las tecnologías existentes. Algunas de ellas se enlistan a continuación.

- Tamaño pequeño con bajo consumo de potencia, lo que permite que la mayoría de los sensores trabajen con baterías estándar durante varios años.
- No se necesita nuevo cableado, lo que reduce costos y tiempo al implementar un nuevo sistema o expandir uno ya existente.
- Interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes.
- Sus topologías de red.
- Gran cantidad de nodos en sus redes.

⁴ “Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice”, KUORILEHTO Mauri, et. al.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

A pesar de las ventajas que tiene, es claro que también hay argumentos en contra del uso de esta tecnología.

- Bajas tasas de transmisión.
- Corto alcance de transmisión en comunicación punto a punto.

ZigBee se basa en el estándar IEEE 802.15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)* que permite la comunicación en dispositivos en los cuales la vida útil de sus baterías es una consideración importante.

La capa física trabaja con espectro disperso, específicamente con secuencia directa (DSSS, *direct sequence spread spectrum*) para aumentar la robustez y evitar el desvanecimiento por multitrayectoria, y trabaja en las bandas ISM. En la tabla 2.2 se presentan las bandas, el número de canales que soporta y las tasas de transmisión que manejan.

BANDA	REGIÓN DONDE SE USA	NÚMERO DE CANALES	TASA DE TRANSMISIÓN
868 MHz	Europa	1	20 kbps
915 MHz	América	10	40 kbps
2.4 GHz	Todo el mundo	16	250 kbps

Tabla 2.2 Características de las bandas ISM.

La banda de la capa física se selecciona de acuerdo a la región donde se vaya a usar el sistema y la preferencia del diseñador⁵.

La subcapa MAC de la capa de enlace del modelo de referencia OSI es la que se encarga de controlar el acceso al canal de radio por medio de CSMA-CA (*carrier sense multiple access with collision avoidance*).

En la revisión del 2006 del estándar IEEE 802.15.4 se definen cuatro capas permitiendo mayores tasas de transmisión en las bandas de menor frecuencia.

- 868/915 MHz usando DSSS con modulación BPSK (*binary phase-shift keying*)
- 868/915 MHz usando DSSS con modulación O-QPSK (*offset quadrature phase-shift keying*).
- 868/915 MHz usando PSSS (*parallel sequence spread spectrum*) con modulación BPSK y ASK (*amplitud shift keying*).
- 2450 MHz usando DSSS y modulación O-QPSK.

⁵ Estándar IEEE 802.15.4-2006

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

ZigBee es una tecnología aplicada de este protocolo que ha sido diseñado para satisfacer las necesidades individuales de las redes de sensores inalámbricas de baja potencia y bajo costo para la supervisión remota.

En ZigBee se definen dos tipos de dispositivos: FFD (*full function device*) y RFD (*reduced function device*). El primero puede funcionar como coordinador de la red o un dispositivo regular con la capacidad de comunicarse con cualquier otro dispositivo. El segundo es para aplicaciones muy simples, sólo puede comunicarse con el coordinador de la red, se usa en los sensores.

De acuerdo con el papel que juegan en la red, los dispositivos pueden clasificarse también como coordinadores (*ZigBee coordinator, ZC*), ruteadores (*ZigBee router, ZR*) y dispositivo final (*ZigBee end device, ZED*).

- ZC. Se encarga de controlar la red, debe existir uno por red.
- ZR. Interconecta dispositivos separados en la topología de la red.
- ZED. Es el elemento más simple, sólo puede comunicarse con un ZR o un ZC. Puede estar dormido la mayor parte del tiempo, lo que aumenta la vida útil de las baterías.

Otra de las características de ZigBee son las topologías de red que soporta:

Topología estrella: cada nodo se conecta con un coordinador central que es un ZC.

Topología cluster: son varias redes en estrella que se conectan a un ZC.

Topología mesh: en la que todos los dispositivos se comunican entre sí formando un lazo cerrado.

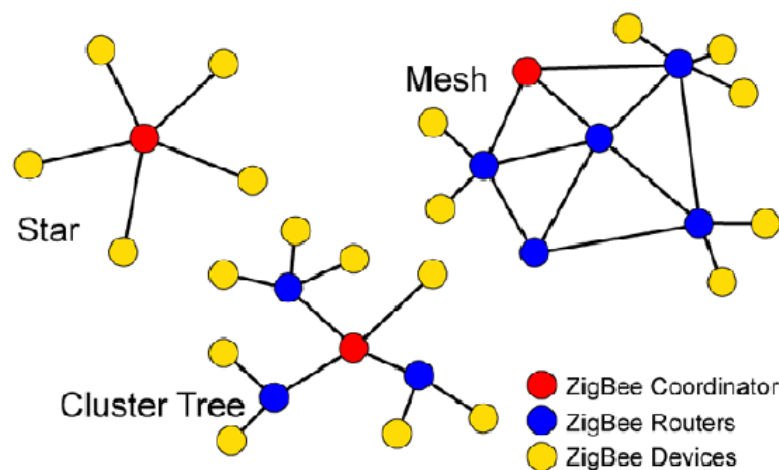


Fig 2.4 Topologías de red que se pueden implementar con una red trabajando con ZigBee.
Imagen tomada de "ZigBee vs Radio Frequency Identification"

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

ZigBee Alliance

La ZigBee Alliance es una asociación de compañías que trabajan juntas para hacer posible que existan productos basados en un estándar global que sean confiables, de buen costo, baja potencia, que pertenezcan a redes inalámbricas y que permitan monitorear y controlar otros elementos o sistemas. La figura 2.5 muestra el logotipo de la ZigBee Alliance.



Figura 2.5 Logotipo de la ZigBee Alliance.

Imagen tomada de www.zigbee.org

La meta de esta Alianza es proporcionar al consumidor dispositivos de gran flexibilidad, movilidad y simplicidad de uso. La proyección es que la tecnología ZigBee estará incluida en una gran variedad de productos y aplicaciones en mercados de consumo, comerciales, industriales y gubernamentales.

Esta alianza se enfoca en:

- definir las capas de aplicación y seguridad de la red
- proveer interoperabilidad y especificaciones de pruebas de conformidad
- promover ZigBee globalmente para preparar al mercado
- manejar la evolución de la tecnología

La ZigBee Alliance incluye representantes de algunas de las mejores compañías e individuos de la industria. Esta Alianza es un gran y diverso ecosistema de compañías que proveen desde chips semiconductores hasta productos terminados, servicio, soporte, herramientas, pruebas y otras compañías en el medio.

En la figura 2.6 se muestran a las empresas promotoras:



Fig 2.6 Logotipos de las empresas promotoras de la ZigBee Alliance.

Imagen tomada de www.zigbee.org

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Algunas otras empresas que forman parte de esta Alianza son:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| — AT&T | — Digi |
| — Atmel | — General Electric |
| — Awarepoint | — Huawei |
| — Black & Decker | — Johnson Controls |
| — Cambridge Consultants | — Mesh Works |
| — Cisco | — Siemens |
| — Control4 | |

Por nombrar sólo algunas.

La ZigBee Alliance se enfoca en ciertos mercados a los que se busca entregar soluciones integrales. Estos mercados son automatización de edificios, mejor aprovechamiento de la energía, salud, aparatos electrónicos de consumo, automatización en el hogar, automatización industrial y en las telecomunicaciones⁶.

Durante la explicación de la tecnología ZigBee se presentó un nuevo concepto que se explica a continuación.

WSN

Las redes de sensores inalámbricos (WSN, *wireless sensor networks*) consisten en una serie de pequeños dispositivos electrónicos que tienen acceso al mundo externo por medio de sensores. El nombre dado a este tipo de dispositivos es *mote*, de la frase “*mote of dust*” o “mota de polvo” con la idea de unir dos conceptos en una sola palabra: su pequeño tamaño y que pueden ser colocados en cualquier lugar. Este concepto dio lugar a la aparición de Redes Polvo y al sobrenombre *SmartDust*.

Los *motes* son capaces de comunicarse entre ellos creando una red mesh usando la tecnología ZigBee y retransmitir la información adquirida a través de la red hasta un punto de control que almacena dicha información y que puede incluso tomar decisiones en consecuencia. Esta topología de red permite que los *motes* se organicen automáticamente ellos mismos con cierta frecuencia para ver qué rutas de comunicación están disponibles. Esto permite que los *motes* puedan ser cambiados de lugar para monitorear un área diferente en cualquier momento.

Las características más importantes de este tipo de redes son:

- Escalabilidad. La capacidad de la red de auto-organizarse permite que se pueda monitorear un gran espacio de una manera muy sencilla simplemente incluyendo nuevos *motes* a la red. Al hacer esto, automáticamente se reconocen por el resto de los *motes*, lo que actualiza las tablas de rutas. Esta característica es muy importante porque significa que pueden ser instalados en una gran variedad de escenarios.

⁶ www.zigbee.org

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

- Gran disponibilidad. La misma capacidad de auto-organización garantiza que aunque alguno de los *motes* deje de operar, la ruta de envío de la información será reemplazada para mantener constante el flujo de información gracias al algoritmo dinámico de rutas que es el responsable de actualizar las rutas. Esto garantiza la operación del resto de la red, a diferencia de un modelo de comunicación centralizado.
- Facilidad de implementación. El hecho de que la comunicación sea inalámbrica y que por lo tanto se elimine la necesidad de mover cables, y que la alimentación sea por medio de baterías, hace que la instalación de los *motes* sea fácil y factible en cualquier ambiente, abriendo una gran cantidad de posibilidades de aplicación que se pueden beneficiar de esta tecnología.

En la figura 2.7 vemos la facilidad de implementar una red de este tipo en diferentes escenarios.



Fig 2.7 Redes de sensores implementadas en un vivero la primera y en una cava la segunda.

Imágenes tomadas de www.libelium.com/products/waspmote/wsn

WBAN

Otra especie de red de sensores son las llamadas WBAN (*wireless body area networks*, redes inalámbricas de área corporal). Esta red conecta de manera inalámbrica a un grupo de sensores ubicados en el cuerpo humano y que pueden usarse para medir ciertos parámetros vitales tales como la presión cardiaca, nivel de azúcar, etc.

Esto permite un monitoreo de la salud de un paciente de manera remota mejorando la calidad de vida de las personas que sufran de alguna enfermedad crónica, ya que un médico puede checar el estado de un paciente desde su consultorio y recetarle, aconsejarlo o visitarlo si el caso lo amerita.

En la figura 2.8 vemos el funcionamiento de una WBAN.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

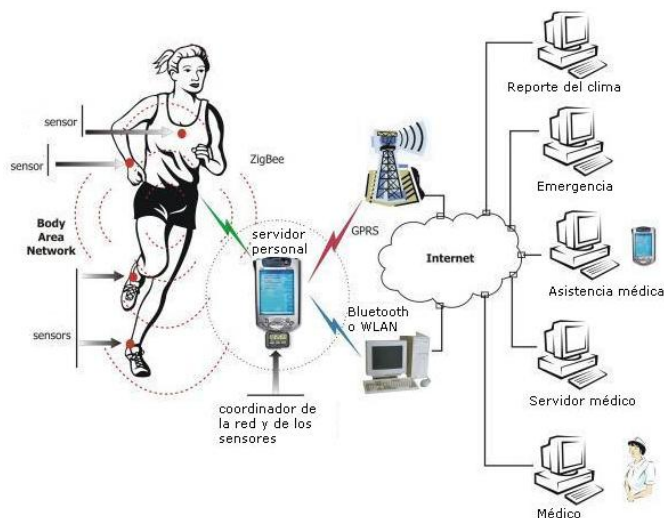


Fig 2.8 Red de sensores de área corporal.
Imagen tomada de http://es.wikipedia.org/wiki/Body_Area_Network

Estos dispositivos se comunican a través de tecnologías inalámbricas, como puede ser ZigBee, transmitiendo datos del cuerpo a una estación base donde los datos son reenviados a un hospital o PC determinada en tiempo real.

Esta tecnología está aún en su etapa inicial pero servirá para una gran cantidad de aplicaciones, incluyendo las médicas ya mencionadas, electrónica de consumo, entretenimiento y algunas otras. El campo importante de este tipo de redes es la asistencia médica.

RFID

Con estas siglas se conoce a *Radio Frequency Identification* (Identificación por radiofrecuencia), que es una tecnología de Comunicación Dedicada de Corto Alcance (DSRC, *Dedicated Short Range Communication*) y es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos de manera remota que utiliza dispositivos llamados etiquetas o *tags*. El propósito fundamental de esta tecnología es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio.

El “hermano mayor” del sistema del que estamos hablando es el de códigos de barras. Los códigos de barras de la actualidad tienen un bit que se apaga o permanece encendido. Cuando un cliente compra un artículo, el bit se apaga y el comprador podrá abandonar el establecimiento. Cuando el bit sigue encendido y pasa por el lector, este último se da cuenta de que el bit no ha sido deshabilitado y se activa la alarma.

El avance es que ahora se incorpora una memoria, EEPROM por ejemplo, que permite tener más información acerca del dispositivo y seguir monitoreándolo. Dichas memorias pueden ser borradas y se puede reescribir en ellas. La transmisión de la información se hace gracias a una antena que se incorpora y que permitirá mantener contacto constante entre el objeto y el receptor sin necesidad de contar con línea de vista.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Funciona bien para la recolección de varios datos de diferentes artículos, para rastrearlos y para propósitos de conteo en un ambiente cooperativo sin la necesidad de depender de un elemento humano que esté operando el equipo.

Como con la mayoría de los sistemas tecnológicos que conocemos hoy en día, este sistema tuvo un gran desarrollo derivado de propósitos militares. En los años de la segunda guerra mundial, un sistema básico y elemental de identificación por radio frecuencias permitía identificar a los aviones y embarcaciones enemigas.

El sistema se fue mejorando con los años y el concepto tal y como se maneja en la actualidad se debe a los trabajos, investigaciones, aplicaciones y usos que hizo el Departamento de la Defensa de los Estados Unidos de Norte América.

La cadena Wal-Mart también ha sido pionera en el uso y popularización de este sistema. Ha usado esta tecnología para adaptarla a sus sistemas de rastreo e inventario, lo que mejoró la eficiencia en su sistema de envíos, recepción y almacenaje; esto también redujo el costo de mano de obra, almacenaje y pérdidas.

Como ya se mencionó, el antecesor del sistema de identificación por radio frecuencia es el lector de código de barras. Este sistema permite identificar un objeto cuando se lee con un escáner, pero no permite localizarlo ni tener mayor información; además tiene la desventaja de que una persona debe estar cerca del objeto con un lector para hacer el reconocimiento.

Los sistemas RFID están siendo muy utilizados en aplicaciones de seguridad, rastreo de inventario, envíos, cobros de peaje, acceso inalámbrico de personal, rastreo de animales y otras funciones. La mayoría de los servicios de entrega, por ejemplo, usan terminales manuales que escanean códigos de barras en los paquetes y envían la información a una estación central. Otro ejemplo muy común es en el cobro de las casetas; los automóviles cuentan con un transpondedor que es interrogado por un sistema RF en la caseta, el transpondedor provee el número de cuenta del vehículo y se le hace un cargo al usuario que llegará después en un estado de cuenta.

Una consideración importante que se debe hacer cuando se diseña un sistema de este tipo, es la frecuencia a la que trabajará el sistema. La frecuencia que se elija se reflejará en el alcance de los *tags*. Cuando se trabaja con bajas frecuencias (en el rango de 125 a 134 kHz) el rango de alcance de los *tags* pasivos es de unos cuantos pies debido a que la ganancia de la antena es muy baja.

Los sistemas RFID se clasifican dependiendo del rango de frecuencias que usan. Existen cuatro tipos de sistemas: de frecuencia baja (entre 125 ó 134,2 kHz); de alta frecuencia (13.56 MHz); UHF (868 a 956 MHz); y de microondas (2.45 GHz). Los sistemas UHF no pueden ser utilizados en todo el mundo porque no existen regulaciones globales para su uso.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Cuando se trabaja con frecuencias altas, el rango de alcance se incrementa, especialmente cuando se usan *tags* activos. Sin embargo, ya que el uso de muy altas frecuencias tiene ciertos efectos sobre el cuerpo humano, organismos internacionales como el FCC, han restringido límites por lo que el rango se limita a aproximadamente de 10 a 30 pies.

La red RFID se forma solamente con un *tag* RFID, un lector y un coordinador que controla al lector y asigna responsabilidades. Existen tres tipos de *tags* en este sistema: *tags* activos, *tags* semipasivos y *tags* pasivos. La figura 2.9 nos muestra los elementos de una red RFID.

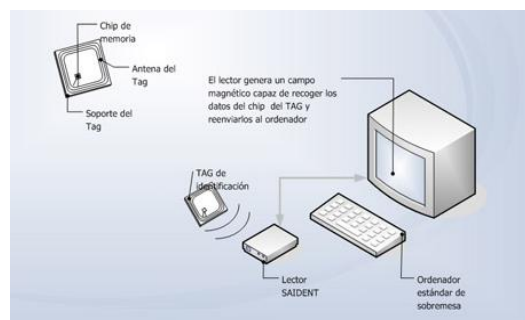


Fig 2.9 Red trabajando con RFID.

Imagen tomada de www.saident.com

Los *tags* pasivos no requieren ninguna fuente de alimentación interna y son en efecto dispositivos puramente pasivos (sólo se activan cuando un lector se encuentra cerca para suministrarles la energía necesaria). Los otros dos tipos necesitan alimentación, típicamente una pila pequeña.

En la figura 2.10 se muestra un *tag* adherido a una etiqueta, lo que nos da una idea de toda la gran cantidad de objetos a los que se puede incluir un dispositivo de estos.

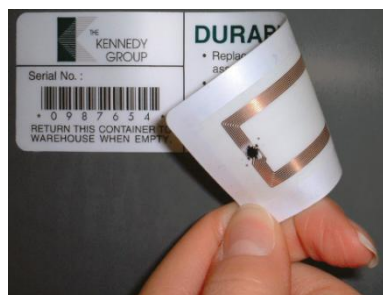


Fig 2.10 Tag adherido a una etiqueta.

Imagen tomada de www.erpsoftwarebusiness.com/Software/RFID.html

Otro detalle que se debe considerar es la interferencia que pueden provocar otros sistemas que utilicen la comunicación por ondas de radio. Los sistemas que son más susceptibles a sufrir de interferencia son los que trabajan en la banda de frecuencias bajas porque a estas frecuencias la atenuación es mínima a una distancia corta; esto quiere decir que las señales de sistemas que operen a

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

frecuencias similares a la de nuestro sistema provocarán interferencia. Los sistemas que trabajan con microondas son los menos vulnerables a sufrir por interferencias, generalmente se requiere línea de vista para que se presente la interferencia.

RFID Alliance Lab

Como en el caso de las otras tecnologías existe una Alianza asociada a esta tecnología. La figura 2.11 muestra el logotipo de la RFID Alliance Lab.

El RFID Alliance Lab, ubicado en la Universidad de Kansas, es una instalación que no tiene fines de lucro que provee reportes de equipo RFID. Usando la experiencia combinada de sus tres socios, la RFID Alliance Lab prueba tecnología RFID y publica reportes objetivos de los resultados de los experimentos.



Figura 2.11 Logotipo de la RFID Alliance Lab.

Imagen tomada de www.rfidalliancelab.org

Los tres socios que pertenecen a esta Alianza son los que se muestran en la figura 2.12:



Fig 2.12 Logotipos de los socios que pertenecen a la RFID Alliance Lab.

Imagen tomada de www.rfidalliancelab.org

COMPARACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En la tabla 2.3 se presenta una comparación entre las tecnologías aquí comentadas y algunas otras.

		ZigBee	Bluetooth	802.11b	802.11g	802.11a	802.11n	UWB
Throughput	Mbps	0.03	1-3	11	54	54	200	200
Rango max	Pies	75	30	200	200	150	150	30
Sweet spot	Mbps-pie	0.03@75	1-3@10	2@200	2@200	36@100	100@100	200@10
Servicio	Bps-pie ²	530	314M	251G	251G	1.13T	3.14T	62G
Potencia	mW	30	100	750	1000	1500	200	400
Ancho de banda	MHz	0.6	1	22	20	20	40	500
Precio	Dólares	2	3	5	9	12	20	7

Tabla 2.3 Comparación entre tecnologías.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

La tabla 2.4 nos muestra una comparativa con otros elementos.

Nombre de mercado	ZigBee IEEE 802.15.4	Bluetooth IEEE 802.15.1	Wi-Fi IEEE 802.11b
Aplicaciones	Monitoreo, control y localización.	Reemplazo de cables a distancias cortas.	Web, email, video.
Frecuencia de radio	868 MHz 902-982 MHz 2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Dimensión de red	Más de 65,000 elementos	7	32
Topología de red	Mesh, cluster, estrella.	Ad-hoc	Estrella.
Complejidad	Baja	Media	Alta
Consumo de energía	Bajo	Medio	Alto

Tabla 2.4 Comparación entre ZigBee, Bluetooth y ZigBee.

ZigBee tiene importantes beneficios, algunos de estos son la seguridad y la integración de datos. ZigBee cuenta con cuatro niveles de seguridad proporcionados por la subcapa MAC del estándar IEEE 802.15.4:

- Control de acceso, hay una lista de dispositivos confiables de la red.
- Encriptación de los datos con un código simétrico avanzado de 128 bits.
- Integridad de la trama para evitar que algún dispositivo externo modifique los datos.
- Refrescamiento secuencial para registrar valores nuevos actualizados y rechazar las tramas que ya han sido transmitidas.

Sin embargo, se alcanzan mejores niveles de seguridad con los toolboxes de los softwares de seguridad de ZigBee para la generación y distribución de claves.

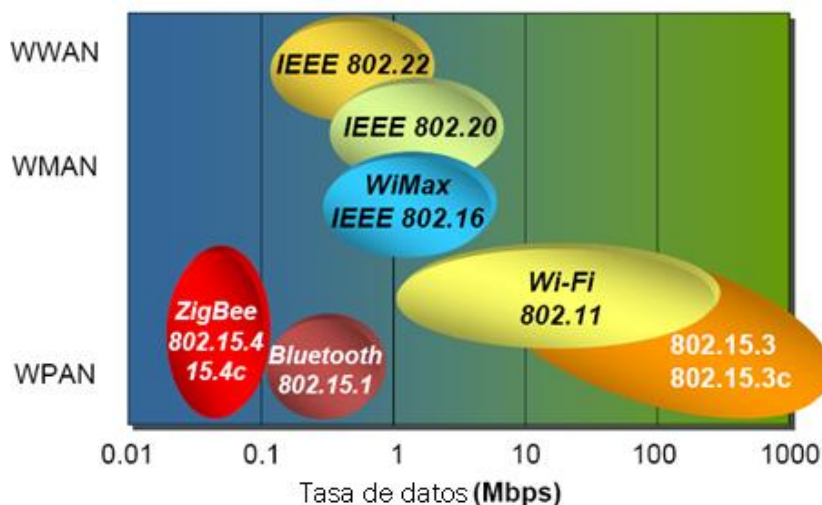


Figura 2.13 Comparación entre estándares de comunicación.

Imagen tomada de www.zigbee.org

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

En la figura 2.13 vemos la comparación de ZigBee con tecnologías y estándares similares. Todos pertenecen al grupo IEEE 802 que es de comunicaciones inalámbricas. Aquí vemos que aunque ZigBee parecería estar en desventaja con las otras tecnologías debemos tener en cuenta que las aplicaciones para las que está diseñado ZigBee son para redes personales; lo que elimina la competencia con WiMax y los estándares IEEE 802.20/22. Al compararlo con Wi-Fi y Bluetooth recordamos la ventaja de ZigBee de ser de bajo consumo, baja potencia y baja complejidad, aunque la tasa de transferencia sea menor.

Aunque Bluetooth y Wi-Fi son ampliamente reconocidas y útiles, quedaba un espacio para el que sus capacidades quedaban sobradas. Es este espacio el que ZigBee llega a ocupar con excelentes resultados. Se necesitaba satisfacer un nicho en el que la transmisión de datos fuera con una baja tasa de transferencia, que se permitiera la fácil integración de nuevos nodos en una red que fuera suficientemente grande y donde el consumo de baterías fuera bajo.

COEXISTENCIA

Este es un punto muy importante que debe considerarse al momento de proponer un sistema inalámbrico donde ya opera u operará otro sistema inalámbrico de comunicación. En los hospitales del sector público de nuestro país es poco probable que nos topemos con este inconveniente, no así en los del sector privado, razón por la cual es indispensable tomar en cuenta este factor.

Hay casos documentados donde se realizaron pruebas de coexistencia entre una red WLAN y dispositivos basados en el estándar 802.15.4 y se encontró que los dispositivos basados en el estándar de la IEEE 802.15.4 no funcionaban correctamente en algunos casos y en otros la comunicación no se podía dar⁷. Sin embargo existe un documento publicado por ZigBee Alliance donde se aclara que la coexistencia entre dispositivos Wi-Fi y ZigBee no genera conflictos, esto en voz de Paul Williams quien es Vicepresidente de Servicios de Soporte de la empresa Control4⁸ que es una empresa que se dedica a la automatización de casas habitación y que utiliza ambas tecnologías.

Independientemente de esto, la coexistencia entre tecnologías, en este caso hablando de 802.15.4/ZigBee y 802.11/Wi-Fi, queda garantizada porque uno de los requisitos para que la IEEE apruebe un nuevo estándar es que la información técnica vaya acompañada por un *statement* donde se garantice la coexistencia de dicho estándar con otros. La publicación de un estándar se da hasta que se cumple este requisito indispensable, los logros del estándar por sí mismos no son suficientes.

Generalmente, la gente que trabaja en un estándar también trabaja en otro y de este modo ellos mismos promueven la coexistencia de una manera confiable.

⁷ “Performance analysis of low rate wireless technologies for medical applications”, GOLMIE, N., et. al.

⁸ “ZigBee and Wireless Radio Coexistence”, ZigBee White paper, Junio, 2007.

Capítulo 2.

Tecnologías de comunicación inalámbrica.

Como ya vimos, existen varias alternativas de tecnologías, pero se deben conocer bien las características de cada una de ellas para tomar la mejor decisión, dependiendo de la aplicación que se desee satisfacer. Se debe tener en cuenta por ejemplo que un retraso o pérdida de información puede provocar incluso la muerte de un paciente, en el ámbito hospitalario que es nuestro campo de estudio.

Para tener más criterios para una toma de decisión acertada, el grupo IEEE 1073 está trabajando en una guía que establezca los lineamientos a seguir para usar comunicaciones inalámbricas para dispositivos médicos de comunicación en ambientes de cuidado de la salud⁹.

Datos de los Estados Unidos muestran que hasta 98,000 pacientes mueren cada año a consecuencia de errores médicos prevenibles¹⁰. Estos errores pueden ser prevenidos con una base de datos confiable donde se almacene información tal como prescripciones médicas, procedimientos médicos a los que ha sido sometido el paciente, alergias, etc. La tecnología inalámbrica ofrece herramientas que pueden ayudar a corregir estas situaciones.

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DE ZigBee

Después de lo comentado, es fácil entender el por qué de la elección de ZigBee como la tecnología que nos permita mantener la comunicación. Tenemos un gran margen de disponibilidad de dispositivos ya que una red de este tipo soporta más de 65,000 elementos. El protocolo de comunicación, cuyo propósito es tener dispositivos de corto alcance a baja potencia, nos permite tener equipo que nos otorgará un excelente desempeño de las baterías contando con esta alimentación por varios meses e incluso años.

Los dispositivos tendrán gran libertad de movimiento con la confianza de que en todo momento habrá algún lector que registre su presencia, es decir la red va “siguiendo” al dispositivo. La escalabilidad del sistema no es problema ni en términos de la capacidad ni del esfuerzo que implica la incorporación de un nuevo elemento, ya que es tan simple como darlo de alta en una base de datos sin pensar en nuevas instalaciones de cableado.

En caso de una remodelación del hospital, el transporte de todo el sistema es tan simple como caminar al nuevo lugar, reconfigurando simplemente los lectores para mantener el óptimo desempeño.

⁹ “On the use of wireless network technologies in healthcare environments”, CHEVROLLIER Nicolas.

¹⁰ “Survey paper: Medical applications of wireless Networks.”