ESTUDIO COMPARATIVO E IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA PLATAFORMA ROBÓTICA EN EL GRUPO DE INVESTIGACIÓN ROMA.

GLORIA ALICIA BELTRÁN VILLALOBOS
ANDRÉS FELIPE BONILLA CORTES

Monografía para optar el título de ingeniero en telecomunicaciones

Tutor:

ING. GUSTAVO ADOLFO HIGUERA CASTRO

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSE DE CALDAS

Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Tecnológica
Ingeniería en Telecomunicaciones
Bogotá, 2016

AGRADECIMIENTOS

“Agradezco a Dios por estar siempre en mi camino, a mi madre que con su apoyo y esfuerzo hizo realidad el sueño de ser ingeniera, a la universidad y su cuerpo docente en especial a nuestro tutor el ingeniero Gustavo Adolfo Higuera y a todos aquellos que formaron parte de este proceso de crecimiento”

Alicia Beltrán Villalobos.

“Agradezco a todas las personas que participaron directa e indirectamente en esta formación como persona y profesional, a los que estuvieron con su apoyo incondicional y siempre supieron expresar una voz de aliento, a mis compañeros que estuvieron dando su mano para lograr avanzar en este camino y a Dios por brindarme cada día la oportunidad de seguir creyendo en mis sueños, Dios, Familia, docentes y compañeros son un complemento esencial en la culminación de este proceso”

Andrés Felipe Bonilla

RESUMEN

En este documento se presenta el desarrollo del proyecto de Ingeniería en Telecomunicaciones titulado “Estudio comparativo e implementación de tecnologías inalámbricas para plataforma robótica en el grupo de investigación ROMA”.

Los robots Dani disponibles en el grupo de investigación se encuentran desprovistos de un intercambio de información entre ellos y teniendo en cuenta que un robot es un sistema electrónico móvil que si no es totalmente autónomo si funciona en común con otros sistemas o con personas las comunicaciones que en este sistema se requieren deben ser acordes a las necesidades específicas de cada uno de las interacciones de los robots con el medio. Existen diferentes tipos de comunicación inalámbrica de diferentes características los cuales fueron estudiados y comparados entre sí de forma teórica y algunos de manera práctica, teniendo como resultado la selección de la tecnología wifi para el óptimo funcionamiento de la transmisión de datos entre los robots Dani.

Se utilizó el router inalámbrico TL-MR3020 ya que cumplió con las características físicas y técnicas pertinentes al proyecto en sí, todos los datos son reenviados dentro de la malla (mesh) creada por los dispositivos de esta forma se garantizó que la información no se perdiera, si no por el contrario encontrará siempre un camino para llegar al robot destino.

ABSTRACT

In this document the project in Telecommunications Engineering entitled "Comparative study and implementation of wireless technologies for robotic platform in the research group Roma" is presented.

The robots available in the research group Roma are devoid of an exchange of information between them and considering that a robot is a mobile electronic system that if not completely autonomous if it works together with other systems or people communications in this system they are required should be commensurate to the specific needs of each interaction of robots with medium needs. There are different types of wireless communication of different characteristics which were studied and compared with each other in theory and some practical way, giving us results in the selection of wireless technology for optimal operation of the data transmission between Dani robots.

Wireless Router TL-MR3020 was used as it complied with the relevant physical and technical characteristics to the project itself, all data are forwarded within the mesh (mesh) created by the devices thus guaranteed that the information would not be lost if not on the contrary always find a way to reach the destination robot.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO **5**
CONTENIDO DE TABLAS **8**
CONTENIDO DE FIGURAS **9**
INTRODUCCIÓN **11**
PREÁMBULO **12**
PROBLEMÁTICA **12**
OBJETIVOS **12**
GENERAL 12
ESPECÍFICOS. 12
JUSTIFICACIÓN **13**
ALCANCES Y LIMITACIONES **13**
MARCO TEÓRICO **14**
IRDA (INFRARED DATA ASSOCIATION, IRDA) **14**
NIVEL FÍSICO 14
NIVEL DE ACCESO AL ENLACE 16
NIVEL DE CONTROL DE FLUJO 17
NIVEL DE INTERCAMBIO DE OBJETOS. 17
NIVEL DE EMULACIÓN DEL PUNTO SERIAL Y PARALELO 18
APLICACIONES 19
BLUETOOTH **19**
ARQUITECTURA HARDWARE 21
NIVEL DE RADIOFRECUENCIA 22
NIVEL DE BANDA BASE. 22
NIVEL DE GESTIÓN 22
HOST BLUETOOTH 23
FUNCIONALIDAD 24
ARQUITECTURA SOFTWARE 24
ESTRUCTURA DEL PAQUETE. 25

TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DEL PAQUETE: 25

WIFI 26

VERSIONES 802.11 27

TIPOS DE DISPOSITIVOS WIFI 28

MCS WIFI 28

FACTORES QUE DEFINEN EL MCS 29

ARQUITECTURA. 30

SEGURIDAD 30

ESTÁNDARES WI-FI 32

LIMITACIONES TECNOLÓGICAS 802.11 32

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE 802.11B 33

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE 802.11A: 34

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE 802.11G 34

ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE 802.11N 34

WEP 35

WPA (WI-FI PROTECTED ACCESS, TAMBIÉN CONOCIDO COMO TKIP) 35

WPA2 35

ITINERANCIA Y MOVILIDAD 36

WIFI N EN REDES RESIDENCIALES 36

WIMAX 36

TOPOLOGÍAS DE RED WIMAX 37

ESTÁNDARES WIMAX 38

IEEE 802.16-2004 38

CLASES DE SERVICIO QUE EL WIMAX SOPORTA: 39

MOVILIDAD WIMAX 39

ZIGBEE 40

ESPECIFICACIONES ZIGBEE 40

ARQUITECTURA 41

CAPA DE RED: 41
CAPA DE SOPORTE A LA APLICACIÓN 42
CAPA DE APLICACIÓN 42
PROTOCOLOS DE CONEXIÓN: 42
ESTRATEGIAS DE CONEXIÓN: 42
METODOLOGÍA 43
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA: 44
ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS 44
EVALUACIÓN PRE REQUISITOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS 44
PRUEBAS DE LABORATORIO 45
PRUEBAS SATISFACTORIAS 45
IMPLEMENTACIÓN EN ROBOTS 45
PRUEBAS EN SITIO 46
ESTUDIO COMPARATIVO. 47
INFRARROJO. 47
CARACTERÍSTICAS 47
ENLACES INFRARROJOS 48
ESQUEMAS DE MODULACIÓN 49
BLUETOOTH 49
CARACTERÍSTICAS 50
VERSIONES DE BLUETOOTH 50
ENLACES BLUETOOTH 52
MODULACIÓN BLUETOOTH 53
WIFI 53
CARACTERÍSTICAS 54
ENLACES WIFI 55
MODULACIÓN WIFI 56

WIMAX **57**

CARACTERÍSTICAS 57

ENLACES WIMAX 58

MODULACIÓN WIMAX 59

ZIGBEE **59**

CARACTERÍSTICAS 60

ENLACES ZIGBEE 61

MODULACIÓN ZIGBEE 62

ESPECIFICACIONES DANI 1.0 ..... **62**

PUERTOS DISPONIBLES 62

CONEXIONES DE TIERRA 63

3.3 DIGITAL I/O 63

ACCESO A LA RED 63

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS. 64

RESULTADOS **65**

RESULTADOS TEÓRICOS. 65

RESULTADOS PRÁCTICOS 68

IMPLEMENTACIÓN. **74**

DISEÑO DE RED MESH **76**

CONCLUSIONES **77**

BIBLIOGRAFÍA **79**

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 1. APLICACIONES IRDA (ASSOCIATION, 2008) 19

TABLA 2. ANCHO DE BANDA SEGÚN LA REGIÓN (CORREDERA, 2009) 20

TABLA 3. NIVELES DE EMISIÓN (TELECOMUNICACIONES, 2007) 26

TABLA 4. VERSIONES ESTÁNDAR 802,11 27

TABLA 5. BANDAS ISM (GUERRA, 2011) 65

TABLA 6. ESTÁNDAR WIFI 802,11 (PÉRE, 2010) 65

TABLA 7. COMPARACIÓN LAN Y WLAN (EDGAR GARCÍA FLORES, 2011) 66

TABLA 8. RENDIMIENTO DE LOS DISPOSITIVOS (MONTERO VÁSQUEZ, 2011) 66

TABLA 9. RENDIMIENTO Y CALIDAD (JOSÉ MANUEL HUIDOBRO MOYA, 2006)..... 66

TABLA 10. CARACTERÍSTICAS WIFI EN INSTALACIONES (CORREDERA, 2009) 67

TABLA 11. RENDIMIENTO (AUMAILLE, 2002)..... 67

TABLA 12. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD (CORREDERA, 2009)..... 68

TABLA 13. REQUERIMIENTOS DE POTENCIA (CHOI & TEKINAY, 2003)..... 68

TABLA 14. RESULTADOS MEDICIONES, MUESTRA CADA 15 SEG (AUTOR)..... 69

TABLA 15. DISTANCIAS CON DOS ROUTER (AUTOR)..... 70

TABLA 16. RESULTADO DE TECNOLOGÍAS (AUTOR) 71

TABLA 17. FRECUENCIA DE USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS (AUTOR) 72

TABLA 18. CANTIDAD DE EQUIPOS CON REDES INALÁMBRICAS (AUTOR)..... 72

TABLA 19. COMPARATIVO TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS (AUTOR) 73

CONTENIDO DE FIGURAS

FIGURA 1. ENCABEZADO DEL NIVEL IRLMP (LARREA, 2012)..... 17

FIGURA 2.PROTOCOLOS IDRA (J.M. PAES, JUNIO 2014) 18

FIGURA 3. CONECTIVIDAD BLUETOOTH (ES.KYOSKEA.NET, 2013)..... 19

FIGURA 4. PILA DE PROTOCOLOS BLUETOOTH (RODRÍGUEZ D. M., 2002) 21

FIGURA 5. ESTRUCTURA PAQUETE BLUETOOTH (GIRALDEZ, 2010)..... 25

FIGURA 6. DISPOSITIVOS WIFI G Y N (MS.GONZALEZ, 28/08/2014)..... 28

FIGURA 7. SOLAPAMIENTO REDES MESH (BERNAL, 2007) 31

FIGURA 8. ARQUITECTURA ZIGBEE (ITU, 2013) 41

FIGURA 9. DIAGRAMA DE LOCALIZACIÓN DE PUERTOS 62

FIGURA 10. 3.3 DIGITAL I/O 63

FIGURA 11. CONEXIÓN DIRECTA ROUTER A DISPOSITIVO EXTERNO ESPACIO LIBRE (AUTOR) 68

FIGURA 12. RED DE DOS ROUTER Y UN DISPOSITIVO EXTERNO (AUTOR) 70

FIGURA 13. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL USO DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS (AUTOR) 72

FIGURA 14. CANTIDAD DE EQUIPOS CON REDES INALÁMBRICAS (AUTOR) 73

FIGURA 15. VISTA WEB Y FIRMWARE POR DEFECTO DEL ROUTER MR3020 (AUTOR)..... 75

FIGURA 16. PÁGINAS DE INICIO OPENWRT MEDIANTE SSH (IZQUIERDA) Y MEDIANTE INTERFAZ GRÁFICA WEB (DERECHA) (AUTOR) 75

FIGURA 17. RED MESH GENERADA POR LOS DISPOSITIVOS EN CONFIGURACIÓN AD-HOC (AUTOR) 76

INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas han venido creciendo rápidamente, creando o adaptando protocolos y topologías, que dan diferentes posibilidades de desarrollo a un proyecto, pero en ocasiones no se analiza cual es la más acorde de acuerdo a una necesidad, sino que simplemente se siguen tendencias y se implementa la más común en el medio, es por eso que en este proyecto se desea dar un enfoque diferente y analizar a fondo todas las posibles tecnologías y seleccionar la que cumpla sobre las demás, los requerimientos que presentan las plataformas de desarrollo del grupo de investigación ROMA.

El desarrollo de estos análisis no solo permitirán la implementación en este proyecto, sino que abrirá campos de acción en redes de más alto tráfico y mayor potencia, dando la oportunidad de determinar si realmente se ha estado utilizando la tecnología adecuada en los parámetros solicitados.

En este documento se describe la implementación y correcta evaluación de las diferentes tecnologías y topologías inalámbricas para la selección óptima y eficiente de una red especifica según sus características propias; para ello, se realizó la implementación de una red mesh con tecnología wifi que permite transmitir los datos recopilados por los robots Dani, mediante una red ad-hoc dando acceso a esta información por quien la requiera ya sea un robot diferente como un usuario de los mismos.

1. PREÁMBULO

1.1. Problemática.

En la actualidad los robots existentes en el grupo de investigación no cuentan con una comunicación entre ellos, por lo tanto la información recopilada en sus labores queda almacenada en memorias individuales en cada uno de ellos, esto conlleva a que la comunicación no sea incluyente para las diferentes plataformas que tienen disponibles en Roma, limitando la participación de los diferentes recursos. El desarrollo de estos análisis no solo permitirán la implementación en este proyecto, sino que abrirá campos de acción en redes de más alto tráfico y mayor potencia, dando la oportunidad de determinar si realmente se ha estado utilizando la tecnología adecuada y en los parámetros deseados.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Realizar un estudio comparativo entre tecnologías inalámbricas con el fin de seleccionar el más acorde a las necesidades presentadas por las plataformas Dani para su correcta comunicación, permitiendo una implementación fiable y afín para la transmisión de datos requeridos entre los robots.

1.2.2. Específicos.

- ✓ Seleccionar del estudio realizado una tecnología que cumpla con los requerimientos generales de la transmisión de datos de las plataformas Dani
- ✓ Implementar en un grupo de robots la tecnología seleccionada para comprobar su funcionamiento.
- ✓ Realizar un análisis de resultados de la implementación y documentarlo para permitir que la información pueda ser usada para el desarrollo futuro de aplicaciones que involucren la comunicación generada.

1.3. Justificación

El grupo de investigación “Robótica Móvil Autónoma” de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas cuenta con un conjunto de Robots Dani I, que requieren de una comunicación eficiente entre ellos, para a futuro generar un sistema de robótica cooperativa, por ello se busca comparar las diferentes tecnologías inalámbricas comunes y de fácil acceso para los estudiantes y la más acorde para las plataformas Dani existentes ya en el grupo ROMA.

1.4. Alcances y Limitaciones

Esta investigación servirá de herramienta para que los usuarios interesados en realizar una red de comunicación para cualquier tipo de aplicación tengan una idea aterrizada de las ventajas y desventajas de cada una de las diferentes opciones de redes inalámbricas.

Es de fácil acceso, dado que la investigación estará disponible en el grupo de investigación para quien este interesado.

La implementación de la red adecuada se realizará en los robots Dani disponibles en el grupo de investigación de Robótica Móvil y será útil por si se desea realizar algún proyecto de robótica cooperativa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. IrDA (Infrared Data Association, IrDA)

La cantidad de energía en una onda de luz, está relacionada con la longitud de onda. Las longitudes de onda más cortas tienen una energía mayor a la de la luz visible, el violeta es la que tiene más energía, y la roja la que menos. Justamente al lado del espectro de luz visible, está el espectro infrarrojo. La luz infrarroja puede ser separada en tres categorías:

- **Infrarroja cercana:** La más cerca a la luz visible, y tiene una longitud de onda que varía de los 0.7 a 1.3 microns.
- **Infrarroja Lejana:** Con unas longitudes de onda que va desde 1.3 a 3 microns. La anterior categoría y esta, se usan en una variedad de dispositivos electrónicos, como es el caso de los mando de control remoto.
- **Infrarrojos termales:** Ocupa la mayor parte del espectro de los infrarrojos, y tiene un rango de los 3 a los 30 microns. (Electronica Basica)

La diferencia existente entre ellas, es que los infrarrojos termales son emitidos por un objeto en lugar de ser reflejado por él, objeto por lo que los átomos están en continuo movimiento, y si se excitan con un agente externo, producen energía y luz. La frontera entre la luz visible y la luz infrarroja no está definida de una forma precisa. El ojo humano no es demasiado sensible a la luz a partir de 700 nm de longitud de onda, por lo que las frecuencias cortas no contribuyen demasiado a zonas comunes con fuentes de energía comunes. (Association, 2008)

El conjunto de especificaciones que actualmente constituyen el estándar internacional para el desarrollo de sistemas de comunicaciones inalámbricas a través de rayos infrarrojos adopta el mismo nombre de la asociación que los produce: IrDA, del inglés "Infrared Data Association, IrDA", Los estándares de IrDA definen comunicaciones bidireccionales punto a punto empleando un haz de luz infrarroja que requiere línea de vista, un ángulo no mayor de 30 grados y una distancia que no excede un metro para obtener tasas de transmisión de datos entre **9.6Kbps y 16Mbps** dependiendo del entorno. (ASSIGNATURE, 2014)

2.1.1. Nivel Físico

La capa que se encuentra encima del nivel físico recibe el nombre de IrLAP "IrDa Link Access Protocol" y está relacionada con los procesos de control de flujo de datos de bajo nivel, detección de errores y petición de retransmisiones, por lo cual, comparada con el modelo de referencia OSI, es el equivalente de la capa de enlace.

IrLAP está basada principalmente sobre los protocolos HDLC (High Data Link Control) y SDLC (Synchronous Data Link Control), con adaptaciones para las características que se requieren en las transmisiones por Infrarrojos y factores del entorno, como los siguientes:

- **Conexiones Punto a Punto:** Los dispositivos que se encuentran comunicándose debe estar cara a cara dentro de un margen de un metro de distancia para realizar un intercambio de información que los involucra exclusivamente a ellos. (Diaz, 2010)

- **Comunicaciones Half-Duplex:** Los datos son enviados en uno de los dos sentidos alternándose el turno para transmitir entre los dos extremos, sin embargo, la interacción puede ser tan rápida que en algún momento puede confundirse con una comunicación full-duplex si las aplicaciones no son suficientemente sensibles para este efecto.

- **Cono Angosto de Infrarrojos:** La transmisión de infrarrojos es direccional dentro de un ángulo sólido medio de 15 grados, con el objetivo de minimizar las interferencias con dispositivos que se encuentran cercanos. (Perez)

- **Interferencia:** Además de los otros dispositivos alrededor de los dos que participan en una comunicación la transmisión es sensible de las componentes infrarrojas contenidas en luces fluorescentes, el sol e inclusive la luna.

- **No Detección de Colisiones:** Las colisiones no pueden detectarse, así que es el software empleado para cada aplicación es quien debe realizar el control de estos inconvenientes. (J.M. Paés, Juunio 2004)

Existen dos modos de operación posibles para este nivel, dependiendo si los dispositivos están o no con comunicaciones en curso. Para este efecto, se consideran el modo de desconexión normal y modo de respuesta normal para la condición de enganchado o no enganchado con otro dispositivo, respectivamente.

Modo de Desconexión Normal (Normal Disconnect Mode): Es el estado por defecto de todos los dispositivos que no se encuentran ejecutando una comunicación, también se conoce como modo de contención, así que los dispositivos se encuentran chequeando si otras comunicaciones (de otros dispositivos) se están ejecutando, esta operación se debe realizar por lapsos no menores a 500ms para determinar si es posible o no realizar una petición de conexión.

Una consideración importante es que existen dispositivos que no tienen una interfaz de usuario para configurar los parámetros de comunicación, por ello, las transmisiones en estado de modo de desconexión normal se realizan con una configuración fija: Asincrónica, **9600 bps, 8 bits y sin control de paridad**. Luego durante el proceso de negociación de la conexión, ambos extremos realizan un intercambio de información de sus capacidades para establecer nuevos y mejores parámetros. (Murillo, 2008)

Modo de Respuesta Normal (Normal Response Mode): Es el modo de los dispositivos que ya se encuentran conectados, con los parámetros negociados a conveniencia de ambos.

Descubrimiento de Vecinos: Explora el espacio cercano buscando señales infrarrojas para identificar quién está presente en el medio y tener una idea del estado en que se encuentran.

Conexión: Selecciona un dispositivo específico para negociar las mejores condiciones de comunicación para ambos extremos y establecer la comunicación.

Envío de Datos: Esta es la principal razón de este nivel, la transmisión/recepción de los datos.

Desconexión: Cierra el enlace en curso y retorna al estado de NDM, para preparar una futura conexión en el momento que sea necesario. (José Manuel Huidobro Moya, 2006)

2.1.2. Nivel de Acceso al Enlace

IrLMP (IrDA Link Managment Protocol) es el nivel encargado de permitir la multiplexación del flujo de información de diferentes aplicaciones sobre el mismo canal de IrLAP, para lo cual define dos componentes dentro de su estructura, el Servicio de Acceso al Servicio (LM-IAS) y el Multiplexor (LM-Mux). En la medida en que pueden existir varias conexiones IrLMP sobre un único canal IrLAP, existe un nivel de direccionamiento de mayor complejidad, el cual involucra los conceptos de puntos lógicos de acceso al servicio (Logical Service Access Point, LSAP) y selector de LSAP (LSAP Selector, LSAP-SEL). (Informatica Moderna, 2008)

El primero, es un punto donde se puede acceder a un servicio o aplicación dentro de IrLMP, entre tanto que el segundo, es un byte que identifica un LSAP, lo que equivale a la dirección del servicio dentro del multiplexor de IrLMP. Los rangos de valores que puede tomar este byte se encuentra entre 0x01 y 0x6F, 0x70 es para servicios no orientados a conexión. Dados los limitados valores posibles para los selectores, estos no se asignan de manera fija, en cambio, tienen nombres fijos y se emplea un directorio (Information Access Service, AIS), para ubicar el selector del servicio o aplicación deseada.

Los servicios ofrecidos por este nivel, son similares a los citados para IrLAP: búsqueda de vecinos, conexión, datos y desconexión, lo cual es de esperarse teniendo en cuenta que todas las operaciones deben ascender y descender por la torre de IrDA, sometiéndose a las adiciones que realizan cada una. (Pére, 2010)

Este nivel agrega un encabezado al paquete de la capa superior, con los siguientes campos:

Figura 1. Encabezado del Nivel IrLMP (Larrea, 2012)

El servicio de acceso a la información (Information Access Service IAS) actúa como un directorio que permite determinar para cada tipo de servicio y aplicación disponible un selector de punto de acceso y acceder a información adicional de los servicios, como ya se había mencionado. Este servicio está constituido completamente cuando existen un componente cliente y otro servidor, donde el primero es quien realiza las peticiones a través del protocolo de acceso a la información (Information Access Protocol), entre tanto que el servidor es quien conoce la información, pues contiene una base de información acerca de las aplicaciones o servicios y es así, como responde a las peticiones. (Larrea, 2012)

2.1.3. Nivel de Control de Flujo

El nivel de intercambio de objetos, IrOBEX (IrDA OBject Exchange, IrOBEX) es al igual que el anterior, opcional dentro de la torre de protocolos de IrDA. Su función es permitir a dispositivos de diferentes características intercambiar datos y comandos en un modo estandarizado de acuerdo a los recursos presentes en cada uno y así, hacer del intercambio de archivos o mensajes un procedimiento transparente para la aplicación del usuario. (ASSIGNATURE, 2014)

2.1.4. Nivel de Intercambio de Objetos.

El objetivo de IrComm dentro de la arquitectura de IrDA es permitir que las interfaces seriales y paralelas de los antiguos dispositivos periféricos, puedan operar a través de infrarrojos sin ningún cambio, aun cuando existen marcadas diferencias en el envío de las señales, pues existen un camino individual para cada una, entre tanto que con la interfaz IrDA, tiene un solo haz de luz y todas las señales deben transmitirse a través de este medio, por lo cual es necesario multiplexarlas a través de la capa IrLMP o en la aplicación del usuario. (Electronica Basica)

El estándar de IrComm se desarrolló para ofrecer el uso de estas interfaces sobre la tecnología IrDA, Cuatro tipos de servicios se definen en IrCOMM:

Hilos Puro: Emulación de la interfaz serial y paralela para envío de datos únicamente, sin control del canal y soportado enteramente en TinyTP.

Hilos Paralelos: Emulación de la interfaz serial y paralelo con mínimo uso de control del canal y soportado en TinyTP.

Hilos Serial: Emulación serial únicamente con control del canal para estado del estándar RS232.Soportado en TinyTP. (Cruz, 2004)

2.1.5. Nivel de Emulación del Punto Serial y Paralelo

IrLAN, es el componente de IrDA que permite que los dispositivos con esta tecnología, como computadores, logren acceder a redes de área local, para este efecto, se han definido con una arquitectura cliente – servidor, donde el servidor es el elemento pasivo y es el cliente quien descubre y se conecta con el servidor y establece un canal de datos sobre el cual, los paquetes de la red LAN podrán transmitirse o recibirse. El cliente empieza ajustando la conexión a través de la lectura de los objetos de información del componente IAS, luego intenta la conexión negociando las características del canal de datos a través del canal de control. Todos los ajustes se realizan por el canal de control, mientras que el canal de datos es exclusivo para el tráfico de paquetes LAN. Siguiendo esta dinámica, existen tres mecanismos definidos para realizar una conexión a través de IrLAN (Murillo, 2008)

Modo de Punto de Acceso: Permite a un computador acceder a una red local a través de un dispositivo, llamado punto de acceso, que consiste en un adaptador de Infrarrojos a la red cableada.

Modo Igual a Igual: Permite a dos computadores interactuar como si fueran parte de una red local formada por ellos mismos, es decir, permite que formen una red AdHoc.

Modo de Host: En este modo existe un computador conectado a la red local, el cual permite con un segundo se conecte a él y a través suyo este último acceda a la red. (J.M. Paés, Juunio 2004)

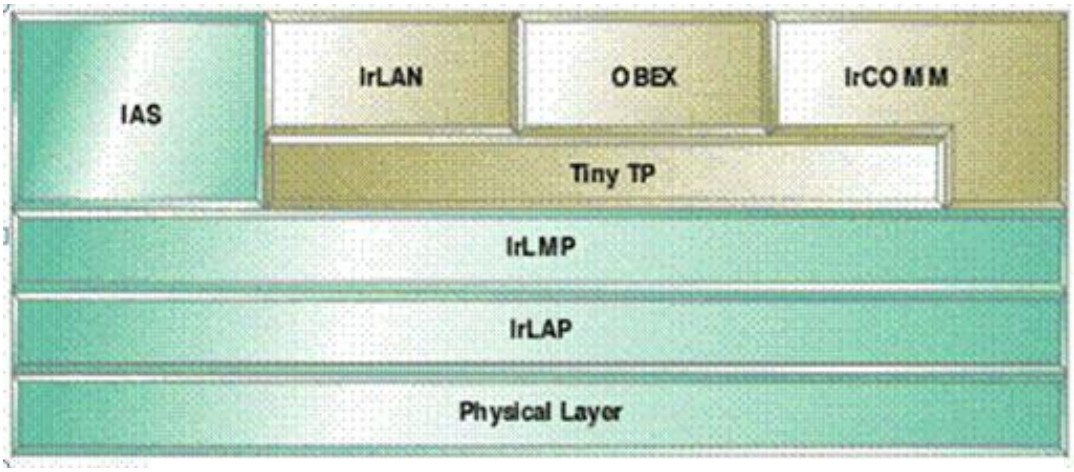


Figura 2.Protocolos IDRA (J.M. Paes, Junio 2014)

2.1.6. Aplicaciones

Impresoras	IIrTran-P, IrCOMM, IrLPT (protocolo estándar para impresoras) y TinyTP (para imprimir imágenes digitales desde cámaras digitales)
Teléfono móvil	IrTelecom, IrOBEX y TinyTP
Cámara digital	IrTran-P, IrCOMM y TinyTP
Equipo médico industrial	IrCOMM
Dispositivos de almacenamiento portátil	IrOBEX, IrTran-P, IrCOMM e IrLMP

Tabla 1. Aplicaciones IRDA (Association, 2008)

2.2. Bluetooth

Es una especificación industrial para redes inalámbricas de área personal (WPAN). Es la norma que define un estándar global de comunicación inalámbrica, que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes equipos mediante un enlace por radiofrecuencia y proporciona una vía de interconexión inalámbrica entre diversos aparatos que tengan dentro de sí esta tecnología, como celulares, computadoras de mano, cámaras, computadoras portátiles, impresoras, usando por supuesto una conexión segura de radio de muy corto alcance.

La especificación de Bluetooth define un canal de comunicación de máximo 720Kb/seg con rango óptimo de 10 metros. (es.kyoskea.net, 2013)

Figura 3. Conectividad Bluetooth (es.kyoskea.net, 2013)

La frecuencia de radio con la que trabaja está en el rango de 2.4 a 2.48 Ghz con amplio espectro y saltos de frecuencia con posibilidad de transmitir en Full Duplex

con un máximo de 1600 saltos/seg. Los saltos de frecuencia se dan entre un total de 79 frecuencias con intervalos de 1Mhz; esto permite dar seguridad y robustez. La potencia de salida para transmitir a una distancia máxima de 10 metros es de 0dBM (1 mW), mientras que la versión de largo alcance transmite entre -30 y 20dBM (100 mW). El protocolo de banda base (canales simples por línea) combina switching de circuitos y paquetes. Para asegurar que los paquetes no lleguen fuera de orden, los slots pueden ser reservados por paquetes síncronos, un salto diferente de señal es usado para cada paquete. Por otro lado, el switching de circuitos puede ser asíncrono o síncrono. (Torres, 2005)

Tres canales de datos síncronos (voz), o un canal de datos síncrono y uno asíncrono, pueden ser soportados en un solo canal. Cada canal de voz puede soportar una tasa de transferencia de 64 Kb/s en cada sentido, la cual es suficientemente adecuada para la transmisión de voz. Un canal asíncrono puede transmitir como mucho 721 Kb/s en una dirección y 56 Kb/s en la dirección opuesta, sin embargo, para una conexión asíncrona es posible soportar 432,6 Kb/s en ambas direcciones si el enlace es simétrico. (H. Labiod, 2007)

Cada dispositivo deberá estar equipado con un microchip, llamado Transceptor, que transmite y recibe en la frecuencia de 2.4 GHz, disponible en todo el mundo (con algunas variaciones de ancho de banda en diferentes países.

País	Rango de Frecuencia	Canales Disponibles
Europa & EEUU	2400 - 2483.5 MHz	2402 to 2480 MHz (79 canales)
Japón	2471 - 2479 MHz	2473 to 2495 MHz (23 canales)
España	2445 - 2475 MHz	2449 to 2471 MHz (23 canales)
Francia	2446.5 - 2483.5 MHz	2454 to 2476 MHz (23 canales)

Tabla 2. Ancho de banda según la región (Corredera, 2009)

Además de los datos, están disponibles tres canales de voz. Cada dispositivo tiene una dirección única de 48 bits basado en el estándar IEEE 802.15.1.En este protocolo, los dispositivos que lo implementan pueden comunicarse entre ellos cuando se encuentran dentro de su alcance. Debido a la naturaleza de las transmisiones, los dispositivos no tienen que estar alineados y pueden incluso estar en habitaciones separadas si la potencia de transmisión lo permite. Estos dispositivos se clasifican como Clase 1, Clase 2 o Clase 3 en referencia a su potencia de transmisión, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de las otras. En la mayoría de los casos, los dispositivos no son de la misma clase. De esta manera, la mayor sensibilidad y potencia de transmisión del dispositivo de clase 1 permite que la señal llegue con energía suficiente hasta el de clase 3. Además, la mayor sensibilidad del dispositivo de clase 1 reconocerá la señal del dispositivo de clase 3 aunque sea débil. (Royce, 1970)

Las especificaciones principales del Bluetooth son:

Banda de Frecuencia: 2,4 GHz (Banda ISM).

Potencia del transmisor: entre 1 y 100 mW, típica de 2,5 mili-watios.

2.2.1. Arquitectura Hardware

La especificación principal de Bluetooth (denominada Core) define el nivel físico (PHY) y el control de acceso al medio (MAC). La especificación principal cubre los cuatro niveles inferiores y sus protocolos asociados junto con el protocolo de descubrimiento de servicios (SDP) y el perfil de acceso genérico.

Los niveles inferiores de la pila de protocolos constituyen el controlador Bluetooth (hardware), que contiene los bloques fundamentales de la tecnología, sobre los cuales se apoyan los niveles superiores y los protocolos de aplicación. El controlador Bluetooth se compone de:

- Nivel de radiofrecuencia.
- Nivel de Banda Base.
- Nivel de Gestión de Enlace

El resto de niveles de base y los protocolos de aplicación residen en el anfitrión Bluetooth, o Host y se definen a nivel software. El Host e se comunica con el controlador utilizando un interfaz estándar. Ambas entidades pueden integrarse para su uso conjunto en sistemas embebidos, o se pueden utilizar de forma intercambiable. El nivel más importante del anfitrión es el protocolo de control y adaptación de enlace lógico o L2CAP (Logical link control & adaptation protocol). (Rodríguez D. M., 2002)

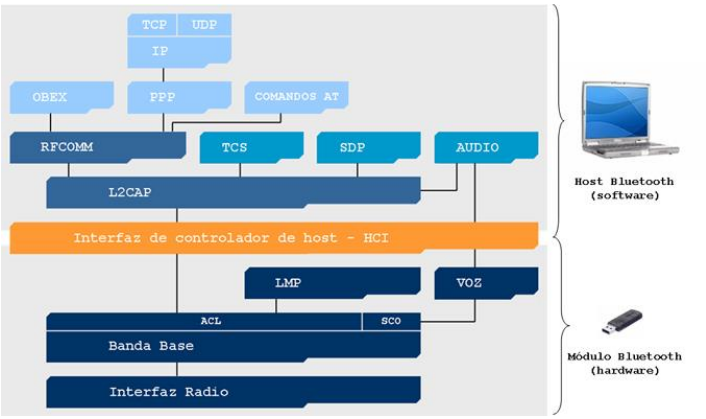


Figura 4. Pila de Protocolos Bluetooth (Rodríguez D. M., 2002)

2.2.2. Nivel de Radiofrecuencia

El nivel de radiofrecuencia (RF) está formado por el transceptor físico y sus componentes asociados. Utiliza la banda ISM de uso no regulado a 2,4 GHz, lo que facilita la consecución de calidad en la señal y la compatibilidad entre transceptores. En principio, estaban reservadas para otros usos, pero como los dispositivos que usen la banda ISM deben presentar una tolerancia a las interferencias y no se necesitan licencias para usar estas bandas, el bluetooth ha ocupado la banda de los 2.4GHz. (Rebollo, 2008)

2.2.3. Nivel de Banda Base.

Por encima del nivel de radiofrecuencia se encuentra el nivel de banda base (baseband, BB), que controla las operaciones sobre bits y paquetes, realiza detección y corrección de errores, broadcast automático y cifrado como sus labores principales. También emite confirmaciones y peticiones de repetición de las transmisiones recibidas. Un canal Bluetooth, está representado por una secuencia de saltos pseudo aleatorios a través de los 79 o 23 canales. Dos o más dispositivos Bluetooth que usan el mismo canal forman una picored. El maestro (Master) es el responsable de la sincronización entre los dispositivos de la piconet, su reloj y saltos de frecuencia controlan al resto de dispositivos. Además el maestro es quien, de manera predeterminada, lleva a cabo el procedimiento de búsqueda y establecimiento de la conexión. Los esclavos simplemente se sincronizan y siguen la secuencia de saltos determinada por el maestro. La topología Bluetooth permite la interconexión de varias piconets formando una scatternet. Aunque no existe sincronización entre piconets, un dispositivo puede pertenecer a varias de ellas haciendo uso de la multiplexación por división del tiempo, aunque el dispositivo solo está activo en una piconet a la vez. La banda base maneja dos tipos de enlaces: SCO (Synchronous Connection-Oriented) y ACL (Asynchronous Connection-less), donde el enlace SCO es un enlace simétrico, punto a punto entre maestro y un solo esclavo de la picored y se mantiene el enlace usando canales reservados en intervalos regulares. Los enlaces SCO principalmente se utilizan para la transmisión de voz. El maestro puede soportar tres enlaces SCO simultáneos. Los paquetes SCO nunca son retransmitidos y alcanzan velocidades de 64 KBps. (Bernal, 2007)

2.2.4. Nivel de Gestión

El tercer nivel de base es el nivel de gestión de enlace (link manager, LM). Es el responsable del establecimiento y finalización de conexiones, así como de su autentificación en caso necesario. También realiza el control del tráfico y la planificación, junto con la gestión de consumo y supervisión del enlace. Cuando dos dispositivos Bluetooth se encuentran dentro del radio de acción del otro, el gestor de enlace (Link Manager) de cada dispositivo se comunica con su homólogo por medio de mensajes a través del protocolo LMP. Estos mensajes realizan el establecimiento del enlace entre ambos dispositivos, incluyendo mecanismos de seguridad tales como la autenticación y cifrado, que comprende la

generación, intercambio y comprobación de claves de enlace y de cifrado. Por medio de este intercambio de mensajes, LMP también controla los modos de administración de energía y los ciclos de trabajo de los dispositivos de radio Bluetooth, así como los estados de conexión de las unidades Bluetooth situadas dentro de una piconet. El gestor de enlace filtra e interpreta estos mensajes y no los propaga hacia los niveles superiores. Cada dispositivo Bluetooth tiene su propio gestor de enlace, que se encarga de descubrir otros gestores de enlace remotos y comunicarse con los mismos para gestionar el establecimiento del enlace, la autenticación, la configuración y otras funciones. Para realizar su papel de proveedor de servicios, el gestor de enlace hace uso de las funciones que ofrece el controlador de enlace subyacente, un módulo de supervisión que maneja todas las funciones de la banda base de Bluetooth y da soporte al gestor de enlace. El controlador de enlace envía y recibe datos, solicita la identificación del dispositivo emisor, autentica el enlace, establece el tipo de enlace SCO o ACL y determina el tipo de trama a utilizar en cada paquete. Los mensajes que se intercambian entre los gestores de enlace toman la forma de unidades de datos de protocolo (PDU, Protocol Data Unit). (ITU, 2013)

2.2.5. Host Bluetooth

Protocolo de Control y Adaptación de Enlace Lógico

La especificación Bluetooth incluye el protocolo L2CAP, que se encarga de la multiplexación de protocolos, ya que el protocolo de banda base no soporta un campo tipo para identificar el protocolo de nivel superior al que quiere transmitir la información, por ejemplo SDP, RFCOMM y TCS. Puede añadir opcionalmente detección de errores y retransmisión de paquetes a banda base, así como control de flujo basado en protocolos de ventana deslizante, asignación de bufers y QoS. Otra función que se realiza en el nivel L2CAP es la segmentación y recomposición de paquetes, necesaria para permitir la utilización de protocolos que utilicen paquetes de mayor tamaño que los soportados por la capa de banda base. Los paquetes L2CAP de gran tamaño se deben segmentar en múltiples paquetes de formato banda base más pequeños antes de su transmisión. En el lado del receptor, los paquetes de banda base se recomponen en paquetes L2CAP más grandes tras comprobar su integridad. El proceso de establecimiento de la conexión L2CAP también permite el intercambio de información referente a la calidad de servicios (QoS) que se espera entre dos dispositivos Bluetooth. La implementación L2CAP en cada uno, a través del protocolo LMP. Estos mensajes realizan el establecimiento del enlace entre ambos dispositivos, incluyendo mecanismos de seguridad tales como la autenticación y cifrado, que comprende la generación, intercambio y comprobación de claves de enlace y de cifrado. Por medio de este intercambio de mensajes, LMP también controla los modos de administración de energía y los ciclos de trabajo de los dispositivos de radio Bluetooth, así como los estados de conexión de las unidades Bluetooth situadas dentro de una piconet. El gestor de enlace filtra e interpreta estos mensajes y no los propaga hacia los niveles superiores. Cada dispositivo Bluetooth tiene su propio gestor de enlace, que se encarga de descubrir otros gestores de enlace

remotos y comunicarse con los mismos para gestionar el establecimiento del enlace, la autenticación, la configuración y otras funciones. Para realizar su papel de proveedor de servicios, el gestor de enlace hace uso de las funciones que ofrece el controlador de enlace subyacente, un módulo de supervisión que maneja todas las funciones de la banda base de Bluetooth y da soporte al gestor de enlace. El controlador de enlace envía y recibe datos, solicita la identificación del dispositivo emisor, autentica el enlace, establece el tipo de enlace SCO o ACL y determina el tipo de trama a utilizar en cada paquete. Los mensajes que se intercambian entre los gestores de enlace toman la forma de unidades de datos de protocolo (PDU, Protocol Data Unit). (Bernal, 2007)

2.2.6. Funcionalidad

Diseñado originalmente como un reemplazo del cable por un consorcio industrial llamado Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth.com), la utilidad real de Bluetooth parece recaer en su papel como traductor universal. Los estándares Bluetooth permiten a los fabricantes de aparatos de hardware totalmente distintos habilitar conexiones simples que requieren una mínima configuración y no precisan controladores especiales. (Larrea, 2012)

Bluetooth tiene su verdadero papel entre las robustas redes tipo Ethernet y la mezcla de cables y estándares incompatibles. Se usa principalmente a nivel personal, estando su uso muy extendido en los smartphones. Con ellos se crean picoredes conectando varios dispositivos como un reproductor de música, un localizador GPS, teclados y ratones y en general casi cualquier dispositivo de interfaz humana. Otros usos menos conocidos por el usuario, pero de uso muy extendido, son el control remoto de dispositivos, o su uso en equipamiento médico. (Clodoaldo Robledo Sacristán, 2011)

Aunque el Bluetooth está orientado a la comunicación entre dispositivos, existen otras aplicaciones emergentes para esta tecnología; como el bluejacking e incluso el toothing. El primero consiste en enviar mensajes a otros usuarios cercanos (el radio de acción de bluetooth es de unos diez metros) que tengan su terminal con bluetooth activado .Este método conlleva un problema de seguridad ya que su uso indiscriminado daría acceso a cualquiera a introducir malware en el dispositivo. El toothing le añade la funcionalidad de las relaciones sociales. Al no generar ingresos, estos usos están poco desarrollados. Con la llegada de la banda ancha móvil y la proliferación de los programas de mensaje al instante vía 3G. (Gadgets, 2010)

2.2.7. Arquitectura Software

Los protocolos son una forma consensuada en la que los dispositivos intercambian información. Los principales objetivos que se pretende conseguir con esta norma son:

• 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 nuestros equipos personales. (Clodoaldo Robledo Sacristán, 2011)

2.2.8. Estructura del paquete.

En cada slot, un paquete puede ser intercambiado entre la unidad maestro y uno de los esclavos.

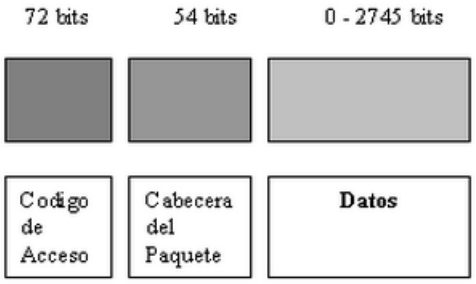


Figura 5. Estructura paquete Bluetooth (Giraldez, 2010)

Cada paquete comienza con 72 bits de código de acceso derivados de la identidad del maestro y que es única para el canal. Cada paquete intercambiado en el canal esta precedido por este código. Ciertos recipientes en la piconet comparan las señales que arriban con el código de acceso, y si estos no son iguales, el paquete recibido es considerado no valido en el canal y el resto del contenido es ignorado. Además, el código de acceso es también utilizado para sincronización. El código de acceso es sumamente robusto y resistente a la interferencia. Una cabecera sigue al código de acceso y esta contiene información de control importante como la dirección de control de acceso al medio (MAC), tipo de paquete, bits de control de flujo, el esquema ARQ de petición de retransmisión automática y un chequeo de error en cabecera. La cabecera está protegida por un código de corrección de error. Los datos (Payload) pueden seguir o no a la cabecera y para soportar altas ratas de datos se definen los paquetes multi-slot. Un paquete puede cubrir uno, tres o cinco slots y son siempre enviados en una portadora de salto sencilla. (Giraldez, 2010)

2.2.9. Transmisión y Recepción del paquete:

El canal se divide en espacios de tiempo con una duración de 625 ms cada uno. Dichos espacios son enumerados según el reloj interno de la piconet maestra. Para transmisión Full-Duplex, un esquema Time División Duplex (TDD) es usado. La unidad maestra comienza su transmisión en los espacios de tiempo pares y las unidades esclavas en los espacios de tiempo impares. El comienzo del paquete debe estar alineado con el comienzo de la ranura de tiempo, el salto de frecuencia permanecerá hasta haber transmitido el paquete. En el caso de un solo paquete,

el salto de frecuencia se deriva del reloj interno de la unidad maestra; en el caso de varios paquetes, el salto de frecuencia deriva del reloj dentro del primer espacio de tiempo. (Jorge Cabrejas Peñuelas, 2011)

El salto de frecuencia permanecerá hasta haber transmitido el paquete. En el caso de un solo paquete, el salto de frecuencia se deriva del reloj interno de la unidad maestra. En el caso de varios paquetes, el salto de frecuencia deriva del reloj dentro del primer espacio de tiempo. El equipo de transmisión se clasifica en 3 grupos según el nivel de potencia de emisión. El equipo receptor debe poseer una sensibilidad de al menos –70 dBm, y la tasa de error admisible debe ser menor o igual a 0,1 %. (Telecomunicaciones, 2007)

Power Class	Maximum Output Power (Pmax)	Nominal Output Power	Minimum Output Power[1)]	Power Control
1	100 mW (20 dBm)	N/A	1 mW (0 dBm)	Pmin<+4 dBm to Pmax Optional: Pmin[2)] to Pmax
2	2.5 mW (4 dBm)	1 mW (0 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	Optional: Pmin[2)] to Pmax
3	1 mW (0 dBm)	N/A	N/A	Optional: Pmin[2)] to Pmax

Tabla 3. Niveles de Emisión (Telecomunicaciones, 2007)

2.3. WIFI

Wifi es una tecnología inalámbrica utilizada para conectar e intercambiar información entre dispositivos electrónicos sin necesidad de conectarlos mediante el uso de cables físicos, se usa el término Wi-Fi (wireless fidelity o fidelidad sin cables) para designar a todas las soluciones informáticas que utilizan tecnología inalámbrica 802.11. Es el estándar más utilizado para conectar ordenadores a distancia. Estrictamente la palabra wi-fi hace referencia a todos los dispositivos electrónicos diseñados para establecer una comunicación inalámbrica y que han sido certificados por la organización Wi-Fi Alliance. (Aumaille, 2002)

Wi-Fi Alliance es una asociación compuesta por diversas empresas tecnológicas cuyo objetivo principal es fomentar, mejorar y garantizar la calidad de todos los dispositivos que utilizan esta tecnología como medio de comunicación inalámbrica. (Alliance, 2015)

Tecnología inalámbrica la cual envía paquetes de información y establece la comunicación entre diferentes dispositivos mediante la emisión y recepción de ondas de radio, la ondas o señales de radio corresponden a una banda específica del espectro electromagnético las cuales pueden propagarse a través del espacio al igual que lo hacen las ondas del radar, de la televisión o de la telefonía móvil. (Aumaille, 2002)

2.3.1. Versiones 802.11

Existen distintos estándares que se han ido implementando con el paso del tiempo, con el objetivo de mejorar la conectividad y su rendimiento. Poseen características diferentes como la frecuencia que usan, el ancho de banda, la velocidad y el alcance. En los dispositivos casi siempre existe compatibilidad con los estándares anteriores. La banda de 2.4 GHz está muy congestionada debido a dispositivos que la usan como: equipos de microonda, bluetooth, teléfonos inalámbricos, cámaras de seguridad, hornos microwave, etc., además porque un adaptador inalámbrico aunque admita varios estándares siempre va a escoger y usar de ser posible el que más velocidad permita. (Jorge Cabrejas Peñuelas, 2011)

Una característica importante que tenía el estándar 802.11G es que todos los dispositivos que cumplían dicho estándar respondían a las mismas características técnicas. Todos utilizaban la misma banda de frecuencias, el mismo ancho de banda por canal, el mismo tipo de modulación, la misma banda de guarda; sin embargo, con la publicación del nuevo estándar 802.11N las cosas iban a cambiar en cuanto a simplicidad. Este nuevo estándar añade algunas características respecto a su antecesor 802.11G que pueden mejorar sustancialmente el rendimiento de las redes inalámbricas. Hasta la versión anterior, la 802.11G, todos los dispositivos Wi-Fi tenían las mismas características, con lo cual el rendimiento era más o menos parecido en condiciones óptimas, con un tope máximo teórico para todos los dispositivos de 54 Mbps. (Magro Segura, 2011)

Estándar	Velocidad (teórica)	Velocidad (práctica)	Banda	Ancho de banda	Año
802.11	2 Mbps	1 Mbps			1997
802.11ª	54 Mbps	22 Mbps	5,4 Ghz		1999
802.11b	11 Mbps	6 Mbps	2,4 Ghz		1999
802.11g	54 Mbps	22 Mbps	2,4 Ghz	20 MHz	2003
802.11n	600 Mbps	100 Mbps	2,4 Ghz y 5,4 Ghz	40 MHz	2009
802.11ac	6.93 Gbps	100 Mbps	5,4 Ghz	80 o hasta 160 MHz	2012

Tabla 4. Versiones Estándar 802,11

En el estándar 802.11N se definen sin embargo varias configuraciones de funcionamiento, cada una de las cuales ofrecen prestaciones diferentes, no siendo obligatorias que un dispositivo certificado como 802.11N incluya todas las posibles configuraciones y por lo tanto ofrezca las máximas prestaciones. Por lo que se creó el esquema de modulación y codificación MCS (Modulation and Coding Scheme). El esquema de modulación y codificación define el valor de algunos parámetros de la transmisión que influyen directamente en la velocidad máxima alcanzada, esta norma IEEE 802.11n define hasta 77 MCS, es decir, 77 modos de operación diferentes y cada uno de ellos ofrece hasta cuatro velocidades máximas teóricas, dependiendo del ancho del canal utilizado y del intervalo de guarda. (Mishra, 2004)

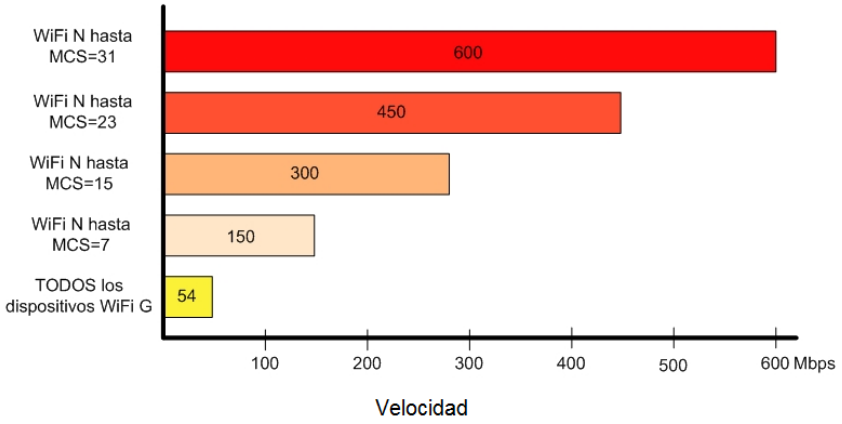


Figura 6. Dispositivos WIFI G Y N (ms.gonzalez, 28/08/2014)

2.3.2. Tipos de dispositivos WIFI

En la figura 9 se observa que sólo hay una posible configuración para WiFi G mientras que para Wifi N se pueden encontrar hasta 4 diferentes, cada una con unas velocidades máximas diferentes en función de los modos implementados. Sólo un dispositivo WiFi N que implemente todos los modos operativos, del 0 al 31, podrá utilizar la velocidad máxima teórica de 600 Mbps. (ms.gonzalez, 28/08/2014)

2.3.3. MCS WiFi

Las comunicaciones entre un Access point (o un router WiFi) y un cliente Wi-Fi se llevan a cabo mediante una negociación del MCS que permiten las condiciones de transmisión y las características de los dispositivos. Inicialmente se negocia el MCS más alto posible. Sin embargo, este MCS puede reducirse para minimizar el efecto debido a las condiciones de transmisión, como la distancia entre los dispositivos, obstáculos e interferencias. Los tipos de modulación más avanzados y las velocidades de modulación altas tienen la ventaja de transmitir más bits por unidad de señal modulada, pero por el contrario son más sensibles a errores producidos por las condiciones de transmisión, cuando la tasa de errores crece, la solución es cambiar el tipo de modulación, la velocidad de modulación o ambas

hasta encontrar un esquema que se vea lo menos afectado posible por las condiciones de transmisión.

Por tanto, el MCS máximo utilizado en una comunicación WiFi N, en condiciones de distancia, obstáculos, interferencias óptimas, viene marcado por el dispositivo con el MCS más bajo. (Montero Vásquez, 2011)

2.3.4. Factores que definen el MCS

Se utiliza una técnica llamada **SDM** (Spatial División Multiplexing, Multiplexación por división espacial) para las transmisiones inalámbricas que permite conseguir varios flujos de información sobre el mismo rango de frecuencias. Se aprovechan las llamadas multi-rutas de las señales radioeléctricas debido a las reflexiones, que sin el uso de esta técnica se podrían considerar interferencias pero por medio del SDM se pueden aprovechar para el envío de más información. En estándar Wi-Fi N admite entre 1 y 4 flujos simultáneos. (Ponce, 2006)

Coding Rate o Velocidad de Modulación: Se suele especificar con dos cifras. La primera indica el número de bits de información por símbolo (unidad mínima de señal modulada que contiene información) y el segundo indica el número total de bits enviados en un símbolo. Estos bits extra del segundo parámetro son bits de redundancia para la detección de errores. (Revilla, 2013)

Modulation type o Tipo de Modulación. La modulación es el proceso por el cual se genera una señal que se adapta al medio de transmisión. En el caso de Wi-Fi la señal modulada es una señal analógica que contiene información digital. Dependiendo de la técnica de modulación empleada se puede conseguir enviar más bits en la misma cantidad de tiempo. El parámetro que define el rendimiento de un tipo de modulación concreto es el número de bits por símbolo. La modulación más básica es la BPSK y la más avanzada es la 64-QAM. Las modulaciones más avanzadas permiten transmitir más bits por unidad de tiempo pero son más sensibles a interferencias y desvanecimientos de la señal. (Royce, 1970)

Ancho de banda del canal. En ancho de banda de un canal es la diferencia entre la frecuencia más alta y la frecuencia más baja utilizada por un canal. En el estándar Wi-Fi G se utilizaban canales con un ancho de banda fijo de 20 MHz. Sin embargo, en Wi-Fi N existe la posibilidad de elegir entre canales de 20 MHz y 40 MHz. Utilizar un canal de 40 MHz hace aumentar el rendimiento de la transmisión. El estándar WiFi N permite la posibilidad de utilizar dos bandas de frecuencia, la primera situada en 2.4 GHz, que es la que ya se utilizaba en WiFi G y una segunda banda en 5 GHz. Los canales de 40 MHz realmente están pensados para ser utilizados en esta última banda de 5 GHz ya que admite un mayor número de canales y es una banda más libre de interferencias. En la práctica sin embargo, ningún operador proporciona routers WiFi que trabajen en la banda de 5 GHz, por lo tanto, en entornos residenciales, no se suele utilizar canales de 40 MHz. (Tiziana Priede Bergamini, 2007)

Intervalo de guarda (GI). Este parámetro define el periodo de tiempo entre símbolos (mínima unidad de señal que contiene información). En entornos donde existe la posibilidad de multi trayectos es necesario dejar un periodo de guarda entre símbolos consecutivos lo suficientemente grande para evitar que un símbolo llegue al receptor antes que termine el anterior (debido a una ruta multitrayecto más corta). El estándar permite el uso de dos valores, 400 ns y 800 ns. (Tiziana Priede Bergamini, 2007)

2.3.5. Arquitectura.

Los elementos que forman una red wifi son los siguientes:

Punto de Acceso (AP): Es el dispositivo que gestiona la información transmitida y la hace llegar al destino; también proporciona la unión entre la red WIFI y la red fija.

Antena: Elementos que envían al aire señales en forma de ondas electromagnéticas que contienen la información dirigida en el dispositivo de destino; y a la vez captan del aire las señales de las cuales se extraerá la información que llega de otro dispositivo, hay diferentes tipos de antenas y cada una de ellas tienen propiedades geométricas que hacen que dirijan la energía electromagnética en ciertas direcciones del espacio. (Definicion y fundamentos de antenas, 2007)

Dispositivo Externo WIFI: La tarjeta WIFI, es una tarjeta de red de área local (CHAL) y permite la conexión de un terminal de usuario en una red 802.11, hay diferentes tarjetas para cada sub estándar o también hay mixtas. La principal diferencia entre estas tarjetas y una tarjeta Ethernet convencional es el cifrado de datos, el identificador de red WIFI, el canal y el ajuste de velocidad. (Boquera, 2003)

2.3.6. Seguridad

En una red inalámbrica ad hoc, la seguridad es un problema fundamental. No se puede confiar en el medio, por lo que se debe usar la criptografía, lo que conlleva a confiar en las claves criptográficas usadas. Encaminamiento de redes ad hoc las redes móviles ad hoc el encaminamiento de paquetes entre cualquier par de nodos llega a convertirse en una tarea comprometida, porque los nodos se pueden mover de manera aleatoria dentro de la red. Un camino que se consideraba óptimo en un punto dado del tiempo podría no funcionar en absoluto unos pocos momentos después. Para escenarios bajo techo el cierre de una puerta podría ser causa de que se interrumpiese un camino. (Allard-Jacquiun, 2008)

En cualquier caso la propiedad más atractiva de un modelo de formación de redes ad hoc es su independencia del control centralizado y, por lo tanto, el aumento de libertad y de flexibilidad que da al usuario. Las redes ad hoc han sido mayormente usadas en el sector militar, donde poder establecer una comunicación ad hoc es a menudo una necesidad.

- **MESH:** Es una red inalámbrica, descentralizada, punto a punto, compuesta de nodos independientes que se comunican entre sí, siendo estos nodos computadores de escritorio, portátiles, dispositivos móviles como tabletas, Smartphone u otras unidades que soportan el estándar IEEE 802.11 La movilidad de estos nodos la ubican dentro la categoría MANET (Mobile ad hoc network) En este tipo de redes cada nodo propaga la señal haciendo que aumente la cobertura de la red, formando así un cloud mesh. (Aumaille, 2002)

Los nodos son capaces de establecer comunicación entre ellos en cuanto sus zonas de cobertura se solapan entre sí.

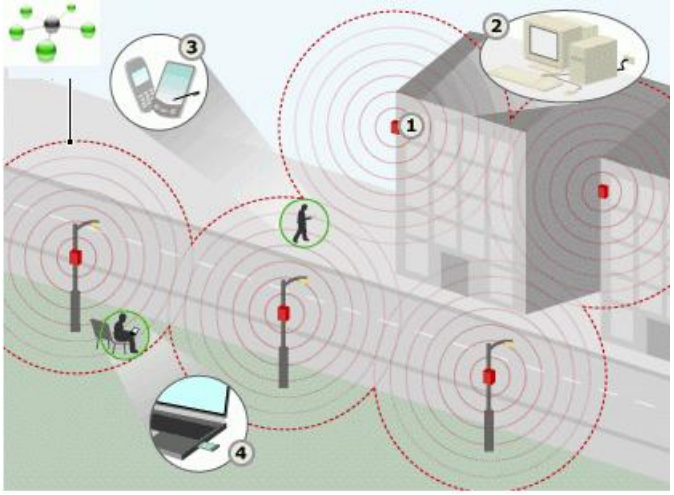


Figura 7. Solapamiento Redes Mesh (Bernal, 2007)

Por otro lado, si se solapan varias zonas de cobertura, aunque fallen uno o más nodos, la red se sustenta y sigue operando. El usuario probablemente no notará la falla, ya que su equipo se conectará automáticamente (roaming) con el nodo más próximo operativo. Cuantos más puntos de acceso a Internet disponga, más fiable y rápida será la red, para su funcionamiento, no hace falta instalar ningún tipo de soporte de software en los ordenadores que se conectan a la red mesh, además, la administración y supervisión de la red realiza remotamente a través de Internet. (Boquera, 2003)

Las redes Mesh maximizan la conectividad eliminando nodos ocultos y facilitar el despliegue mediante la existencia de rutas alternativas, un terminal que no cuente con una buena calidad de enlace con la estación base puede optar por comunicarse directamente con otro terminal que sí cuente con buena conectividad con la estación base. Es decir, la comunicación entre un terminal remoto y la estación base puede realizarse a través de otros terminales remotos, de este modo se maximiza la conectividad de la red, ya que cada terminal se convierte en un nuevo nodo a través del cual se pueden conectar otros terminales; sin embargo

calidad de servicio (QoS) es muy baja y no proporcionan grandes capacidades. (Choi & Tekinay, 2003)

- **(NM) Nodo Mesh:** Es el responsable de establecer los paths de comunicaciones con el resto de los nodos de la red y mantener las comunicaciones.

- **(AP) Capa de Servicio:** La funcionalidad de los Nodos Mesh, que permiten crear y gestionar una capa de servicio a los usuarios y sus características, (encriptación, VLAN, tipo de protocolo, etc.).

- **(GT) Gateway:** Que permite el acceso a la red externa. (Choi & Tekinay, 2003)

2.3.7. Estándares Wi-Fi

Las redes Wi-Fi cumplen los estándares genéricos aplicables a las XAL5 cableadas (Ethernet o equivalentes) pero necesitan una normativa específica adicional que defina el uso de los recursos radioeléctricos y la manera o el orden en qué cada uno de los dispositivos en red envía la información a los otros. Los estándares del IEEE no se configuran nunca de manera cerrada, es decir que se van mejoran a medida que avanzan las investigaciones en el campo, por eso a lo largo del tiempo van apareciendo nuevos sub estándares que implementan mejoras o variantes sobre algún aspecto. La nomenclatura que se sigue en estos casos consiste a ir añadiendo letras minúsculas detrás del número 802.11, que es el del estándar principal. (Clodoaldo Robledo Sacristán, 2011)

2.3.8. Limitaciones tecnológicas 802.11

Independientemente de la banda de frecuencia en que trabajan, todos los estándares de la subfamilia 802.11 comparten algunas limitaciones.

- **Alcance:** Aunque comercialmente se habla típicamente de un alcance de hasta **100 metros**, depende, de la ubicación y de la presencia de obstáculos en el camino entre el punto de acceso y el terminal, y de las condiciones meteorológicas e Interferencias. Así, en espacio abierto, con buenas condiciones meteorológicas y antenas exteriores de los terminales, este alcance puede ser bastante superior. Sin embargo, en el interior de un edificio, donde las paredes representan un obstáculo muy importante, la distancia será notablemente inferior. (e-Learning)

- **Anchura de banda**: Nominalmente, los diferentes estándares pueden alcanzar, físicamente (en el canal aéreo, descontando cualquier ineficiencia que puedan introducir los protocolos superiores), las velocidades mencionadas en la mesa. Sin embargo, a causa del efecto de los

protocolos necesarios para transportar la información de usuario sobre el canal aéreo, la velocidad útil es mucho menor. Además, en función de las condiciones del entorno y, de la calidad de cada comunicación entre un terminal y el punto de acceso, la anchura de lado de esta comunicación se adapta, con el fin de utilizar codificaciones más robustas ante interferencias y/o errores. Es por eso que a veces se cuenta con una conexión con el punto de acceso de 11 Mbps, otros en 5 Mbps, en 2 Mbps o, incluso, en 1 Mbps. (Valeria Jordán, 2010)

- **Calidad de servicio:** No todo el tráfico tiene la misma importancia desde el punto de vista de cada usuario. Así, se puede considerar que una llamada de VoIP tendría que tener prioridad sobre una transferencia de ficheros. Los protocolos más extendidos de Wi-Fi, como b y gr, no incluyen ningún mecanismo para priorizar un tipo de tráfico sobre uno otro, lo cual resulta muy perjudicial cuando se mezclan flujos de tráfico con requerimientos muy diferentes, como voz y datos. La consecuencia es que Wi-Fi es poco adecuado para transportar tráfico exigente en términos de calidad, como VoIP, no tanto para que no funcione adecuadamente, como porque no se puede garantizar cuándo y en qué condiciones funcionará(Valeria Jordán, 2010)

- **Seguridad:** En un principio, las redes Wi-Fi no presentaban mecanismos de seguridad muy sofisticados, sin embargo, y la publicación de las debilidades de los mecanismos de seguridad originales, se hizo necesario introducir mejoras en este aspecto. De hecho, la falta de seguridad de estas redes, es uno de los principales retos para mejorar a futuro. (Dordoigne, 2014)

- **Movilidad:** Popularmente, se considera que las redes Wi-Fi son móviles, ya que no hay que conectarse a una ubicación fija para acceder a los servicios que ofrecen, estrictamente hablando, eso se considera itinerancia, y no movilidad; además, incluso cuando se trabaja a baja velocidad (caminando), a causa del escaso alcance de cobertura de un punto de acceso, rápidamente se debe establecer conexión con otro punto de acceso, lo que implica "saltar" del uno al otro. También en este aspecto el estándar presenta deficiencias que pueden hacer que se pierda brevemente la conexión e incluso se requiera volver a conectarse manualmente. (Cruz, 2004)

2.3.9. Aspectos tecnológicos de 802.11b

Este estándar define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 2.4 GHz, con una tipología de modulación que permite alcanzar velocidades de transmisión "en el aire" de hasta **en 11 Mbps,** cosa que supone una velocidad efectiva para los usuarios de aproximadamente 5.5 Mbps. Hasta hace poco era la tecnología más extendida, pero ahora ha sido sustituida por 802.11g, que ofrece las mismas ventajas (banda de uso libre, simplicidad de funcionamiento), pero con más

anchura de lado, y que, además, es compatible con b, lo cual permite mezclar dispositivos de ambos tipos en la misma red. (Gadgets, 2010)

2.3.10. Aspectos tecnológicos de 802.11a:

Este estándar define la creación de redes sin hilos a la frecuencia de 5 GHz. La información de un usuario se transmite modulando digitalmente una señal de la banda de 5 GHz con los datos del usuario. La modulación que se utiliza en este estándar difiere de la del 802.11b, y es especialmente útil en entornos donde pueden aparecer grandes interferencias, por ejemplo, en transmisiones móviles en trenes. En cambio, es incompatible con 802.11b, ya que trabaja en otra frecuencia. El estándar 802.11a permite alcanzar velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps, cosa que supone una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps. (H. Labiod, 2007)

2.3.11. Aspectos tecnológicos de 802.11g

Este estándar mejora el 802.11b, ya que trabaja igualmente a la frecuencia de 2.4 GHz, pero varía la modulación hasta alcanzar igualmente velocidades de transmisión máximas de hasta 54 Mbps con una velocidad efectiva de aproximadamente 36 Mbps, tiene capacidad de trabajar conjuntamente con el equipamiento 802.11b, permitiendo mantener el equipamiento anterior y migrar lentamente al nuevo estándar. (H. Labiod, 2007)

2.3.12. Aspectos tecnológicos de 802.11n

Anchura de lado equivalente a Fast Ethernet El objetivo del nuevo estándar 802.11n es mejorar todavía más el alcance y el ancho de banda de lado de las redes Wi-Fi, de manera que sea comparable a las redes de área local fijas. Se moverán en torno a los 100 Mbps. La solución utilizada en 802.11n consiste a reducir las ineficiencias, pero sobre todo a aprovechar lo que en principio es una gran desventaja de los sistemas sin hilos: las interferencias provocadas por las reflexiones de la señal, que hacen que lleguen diversas copias de la misma señal ligeramente distorsionadas y retrasadas en el receptor. La gran innovación del 802.11n es el uso de más de una antena en cada punto de acceso y en cada terminal, de manera que se puedan aprovechar los "rebotes" y combinarlos para obtener uno señal mejor. Al mismo tiempo, se puede enviar más de una señal a la vez (diversas antenas). Combinando ambos efectos, se consigue una transmisión más eficaz y más robusta, y en definitiva, más anchura de lado para el usuario. Esta técnica se llama MIMO (Multiple-input, Multipleooutput).

La manera de conseguir las anchuras de lado es juntando dos canales gr "normales" para una única comunicación. Evidentemente, si bien la velocidad es el doble, la capacidad total de la celda se reduce a la mitad. (IEEE 802.15 Working Group for WPAN)

2.3.13. WEP

Es un sistema de cifrado estándar propuesto por el comité 802.11, que comprime y cifra los datos que se transmiten a través de las ondas de radio. La clave está fija y es la misma para todos los usuarios de una red. WEP es soportado por la mayoría de fabricantes de productos Wi-Fi, sus principales características son:

• **Autenticación Abierta:** Es el mecanismo de autenticación por defecto que permite que cualquier dispositivo pueda obtener acceso a la red y los datos se transmiten sin ningún tipo de cifrado. (Valeria Jordán, 2010)

• **Autenticación de clavo compartida:** Es un mecanismo de autenticación que utiliza la clave WEP de la red para autenticar al cliente. El proceso consiste en el envío por parte del punto de acceso de un texto que posteriormente el cliente cifra con la clave de red y lo devuelve al punto de acceso. Si este proceso se resuelve satisfactoriamente, se inicia el mismo proceso en sentido inverso. De esta manera se produce una autenticación mutua. Este sistema es vulnerable, ya que es sencillo obtener la clave de cifrado, el algoritmo no se considera seguro. (Ponce, 2006)

• **Autenticación por dirección MAC**: Es un mecanismo de autenticación basado en listas de control de acceso que contienen las direcciones físicas de los equipos (direcciones MAC7). Cada punto de acceso establece las direcciones que son válidas por autenticar un cliente en su red. Este sistema también es vulnerable ya que es sencillo capturar las direcciones permitidas por un punto de acceso concreto. (Gadgets, 2010)

2.3.14. WPA (Wi-Fi Protected Access, también conocido como TKIP)

Sistema de cifrado creado para eliminar las principales debilidades de seguridad de las redes sin hilos y de WEP. Se trata de un paso intermedio para sistemas que todavía no son totalmente compatibles con 802.11i, ya que se puede implementar con una sencilla actualización del software de los productos b y gr. Hace un proceso de encriptación más fuerte que WEP, pero las claves de cifrado son estáticas. (ITU, 2013)

2.3.15. WPA2

Utiliza un nuevo sistema de cifrado AES, considerado el más seguro conocido actualmente en cualquier tipo de red, la clave cambia en cada sesión, y es diferente para cada usuario. No obstante, el problema continua siendo el cómo conseguir la primera clave, nombrada llave maestra, que se utilizará para la autentificación inicial, y que permitirá conseguir todas las claves subsiguientes. El estándar aconseja IPSec.

El 802.11i es el paso que lleva las redes sin hilos al mismo estándar de seguridad que las redes fijas. (J.M. Paés, Juunio 2004)

2.3.16. Itinerancia y Movilidad

Una de las utilidades más interesantes de la tecnología sin hilos es la posibilidad de cambiar de red sin necesidad de modificar la configuración del sistema, es decir, ofrecer Itinerancia (roaming) entre los diferentes puntos de acceso. Esta característica permite que el usuario pueda moverse por el territorio sin tener que hacer ninguna modificación en su terminal, es decir que no se pierde la cobertura y que se permite la movilidad entre diferentes islas WiFi.

A fin de que la red permita itinerancia se tienen que configurar los puntos de acceso para que trabajen en diferentes canales de frecuencia, de manera que no se produzcan problemas de funcionamiento en aquellas zonas en que se crucen las coberturas de diferentes puntos de acceso, y el usuario "salte" de manera transparente de uno al otro. Para la interconexión de puntos de acceso creando una única red por la cual los usuarios puedan moverse libremente, se ha aprobado recientemente el estándar 802.11f que, entre otros aspectos, define el registro de un punto de acceso dentro de una red y el intercambio de información con el otros puntos de acceso para permitir la funcionalidad mencionada. Aun así, el problema más grave de la itinerancia entre islas WiFi de diferentes propietarios deriva de la falta de estándares sobre intercambio de información de autentificación En las redes Wi- Fi, estos acuerdos, a estas alturas, se hacen de una manera más ad hoc, lo cual dificulta en cierta manera la itinerancia internacional. Sin embargo, los operadores más grandes de redes Wi-Fi han llegado a acuerdos de itinerancia de ámbito, incluso, mundial. La movilidad pura, es decir, el hecho de poder mantener una comunicación en movimiento sin interrupciones a velocidades elevadas, es todavía un objetivo lejano de la subfamilia 802.11. (José Manuel Huidobro Moya, 2006)

2.3.17. WiFi N en redes residenciales

En el caso de las redes Wi-Fi N residenciales la realidad es que los routers Wi-Fi que los operadores proporcionan a sus clientes son de gama baja. Se da este nombre ya que utilizan el mínimo número de modos MCS exigido por el estándar, Por tanto, la velocidad máxima que admiten la mayoría de los routers residenciales proporcionados por las operadoras es de 300 Mbps. (Jorge Cabrejas Peñuelas, 2011)

2.4. WIMAX

La tecnología estandarizada 802.16, promete más alcance, más anchura de lado y más potencia que el WiFi, además de más funcionalidad en términos, especialmente, de calidad de servicio y seguridad. La primera diferencia importante entre el Wi-Fi y el WiMAX radica en los diferentes ámbitos de aplicación para los cuales fueron diseñadas. El Wi-Fi surgió como una tecnología para cubrir los últimos metros del acceso y permitir al usuario librarse de los hilos. La funcionalidad deseada era una anchura de lado comparable a la de las conexiones de lado ancha fijas disponibles y un servicio best-effort (sin garantías

de calidad), igual que las redes Ethernet de área local en las cuales complementaba; mientras que WIMAX, fue diseñado como alternativa para dos grandes aplicaciones. (H. Labiod, 2007)

Por una parte, el WiMAX está destinado a ser la evolución del LMDS y el MMDS para la implementación de radioenlaces punto a punto; de la otra, el WiMAX es una tecnología adecuada para dar un servicio de acceso fijo puesto que puede utilizarse como competidor o sustituto de la red de acceso fija (DSL y cable) en determinados entornos, especialmente en entornos rurales, donde el despliegue de soluciones de cable es muy costoso y los radioenlaces punto-multipunto se presentan como una alternativa flexible y más barata las dos propias de operadores de telecomunicaciones, y no de usuarios finales, es también por eso que el estándar incluye mecanismos de seguridad y QoS, ya que éstos son requisitos obligatorios para un servicio que quiere ser de categoría comercial. (Larrea, 2012)

Originalmente, se utilizaron frecuencias elevadas, que permitían coberturas de decenas de kilómetros (10-66 GHz) pero los enlaces necesitan una visión directa entre el emisor y el receptor, así como equipamientos mayores y pesados, adecuados para ubicaciones fijas.

El WiMAX, por su parte, introdujo mejoras para el soporte de la movilidad, a velocidades de hasta 120 km/h. También introdujo la posibilidad de complementar las redes “mesh” y mejoró el uso en interiores de edificios. En definitiva, evoluciones que permitieron al WiMAX promocionarse también como alternativa en las redes móviles convencionales en términos de ubicuidad, alcance y funcionalidad, como las redes de telefonía móvil 2G y 3G. Eso comporta, sin embargo, un desplazamiento hacia bandas de frecuencias más bajas (2-11 GHz), que permiten las transmisiones sin visión (Larrea, 2012)

2.4.1. Topologías de Red WIMAX

• **De distribución:** Análogo a las redes de infraestructura WiFi. La estación base ocupa el rol del punto de acceso y centraliza el acceso de los usuarios distribuidos por la celda en la red fija y a la salida hacia Internet. Además, se ocupa de gestionar el canal y distribuir los recursos en función de las necesidades de calidad de cada usuario.

• **Malladas:** Análogo a las redes ad hoc, permiten la comunicación directamente entre estaciones móviles sin necesidad de pasar por una estación base, la gestión de los recursos es entonces distribuida. Un inconveniente de la misma es que, por razones de compatibilidad en los sistemas de gestión, a menudo todos los equipos han de ser del mismo fabricante. (T., 2-2009)

2.4.2. Estándares WIMAX

Actualmente sólo hay dos estándares a tener en cuenta: el IEEE 802.16-2004 y el IEEE 802.16e-2005. Originalmente, el estándar 802.16 se finalizó el año 2001 y comprende las funcionalidades básicas del WIMAX. Trabajaba en la banda de los 10 en los 66 GHz, que exige visibilidad directa para la comunicación, con canales muy anchos (hasta 28 MHz) y modulaciones eficientes, el estándar permitía capacidades teóricas de hasta 134 Mbps. El 802.16a, que básicamente extiende el estándar original para bandas de frecuencias más bajas, que permiten la comunicación sin visibilidad directa, mejora la cobertura dentro de edificios y permite establecer redes donde los mismos terminales WIMAX actúan como repetidores (mesh networks). (Magro Segura, 2011)

El estándar 802.16d, más conocido como en 802.16-2004, unifica ambos estándares en uno de solo, y además, incorpora algunas correcciones a los estándares originales. Éste es el estándar de referencia actualmente, y para el cual empiezan a aparecer los primeros equipos. Con posterioridad se diseñó el estándar 802.16e, incluye soporte para la movilidad con velocidades de hasta 120 km/h, así como soporte para la itinerancia. Este estándar ha pasado a ser conocido como 802.16e-2005. Esta enorme flexibilidad en términos de bandas de frecuencia, anchuras de lado por canal, velocidades, etc. sólo se consiguió mediante un estándar de gran complejidad y con un gran número de parámetros y configuraciones posibles, muchas incompatibles entre sí. Sin embargo así fuera técnicamente posible trabajar en este rango de frecuencias y anchuras de lado, la regulación de los diferentes países no necesariamente lo permite. Así, se han asignado segmentos del espectro para usos compatibles con la tecnología 802.16-2004 en las bandas de 3,5 GHz y 5,8 GHz. (Mishra, 2004)

En cuanto al 802.16e, aunque parece que bandas en los 2,3 y 2,5 GHz son las más probables (ambas reguladas). En todos los casos, las anchuras de lado por canal permitidas son más reducidas de lo que el estándar permite, con valores que oscilan entre los 3,5 y los 10 MHz como máximo. (Montero Vásquez, 2011)

2.4.3. IEEE 802.16-2004

WIMAX define sólo los niveles más bajos de la tecnología, nombrados nivel físico y de enlace de datos, y deja todos los aspectos más próximos a los servicios y aplicaciones que se quieran utilizar en manos del mercado. Físicamente, el WiMAX utiliza una modulación conocida como OFDM, que permite un uso más eficiente del espectro que permite extraer más velocidad de la misma anchura de lado. Su robustez ante errores, interferencias es mayor a comparación de la de WIFI ya que utiliza dos tipos de mecanismos: (Mora, 2012)

• **Forward Error Correction:** La introducción de cierta redundancia en la información emitida, de manera que si hay pérdidas debidas, por ejemplo, a la meteorología, la información en recepción pueda ser reconstruida correctamente.

• **Adaptive Modulation:** El hecho de que la modulación utilizada se adapte automáticamente a las condiciones del canal. (Mora, 2012)

WiMAX introduce un sistema de reparto de las posibilidades de transmisión que permite flujos de datos tengan mayor prioridad y mejores garantías de calidad que otros. Antes de transmitir o de recibir información con un determinado nivel de calidad, cada estación tiene que solicitar a la estación base los recursos (anchura de lado, retrasos máximos permisibles, etc.) que necesita para la aplicación a que vaya destinada la conexión. Como en el caso del 802.11e, recae sobre la estación base, y fuera de la especificación del estándar, definir los mecanismos por los cuales se decide cuándo aceptar una nueva conexión y como decidir la manera de repartir los recursos. (Moya, 2008)

2.4.4. Clases de servicio que el WiMAX soporta:

• **Unsolicited Grant-Real Time:** Transmisión a intervalos regulares y garantizados por parte de la estación. Es el servicio de máxima calidad y está pensado para aplicaciones de voz y vídeo en tiempo real, como telefonía y videoconferencia.

• **Real Time Polling:** Similar al HCCA de 802.11e. Aunque también da garantías de calidad, la transferencia ya no se hace en intervalos tan regulares como en la clase anterior y, por lo tanto, es más adecuado para transmisión de vídeo no interactivo. (Ponce, 2006)

• **Variable BitRate-Non Real Time:** se garantiza una velocidad durante toda la transmisión, pero no una transmisión constante. Adecuado para servicios de datos donde se quiera asegurar una transmisión rápida y con un caudal garantizado. Estas capacidades, junto en los mecanismos de robustez del WiMAX, permiten ofrecer, un servicio de alta calidad y de categoría profesional en operadores de telecomunicaciones. (Ponce, 2006)

2.4.5. Movilidad WIMAX

Introducir movilidad en WiMAX, implica diversas modificaciones del estándar:

• Trabajar en frecuencias más bajas, que permiten una mejor penetración en edificios y vehículos.

• Introducir una modulación diferente, nombrada SOFDMA, que permite adaptar parcelas del espectro a las condiciones exactas de cada usuario, sin embargo esta modulación es incompatible con la utilizada por 802.16-2004

• Aplicar técnicas de emisión y recepción basadas en sistemas de múltiples antenas, que permiten aprovechar las reflexiones de la señal en paredes, árboles, etc. Tal como se ha explicado para el estándar 802.11n, se pueden transformar estas reflexiones, que en principio provocan interferencias, en una fuente adicional de información para reconstruir mejor la señal original, y obtener así un sistema más eficiente y más robusto. 802.16e introduce entonces el uso de más de una

antena en cada punto de acceso y en cada terminal, de manera que se puedan aprovechar las reflexiones y combinarlas para obtener uno señal mejor. Al mismo tiempo, se puede enviar más de una señal a la vez (diversas antenas). Combinando ambos efectos, se consigue una transmisión más eficaz y más robusta, lo cual es crucial en entornos móviles. En el caso de WiMAX se combina con AAS (Adaptive Antenna System). Esta segunda mejora permite no sólo combinar las señales de diversas antenas, sino que las características de emisión de cada antena se adaptan a las condiciones de potencia y ruido de cada receptor individual, y mejoran todavía más la recepción. (Pére, 2010)

El estándar 802.16e prevé todos los tipos de traspaso, y pone en WiMAX a la vez con las redes de telefonía móvil en este aspecto. Aun así, inicialmente, los equipos que saldrán al mercado sólo tendrán que soportar el llamado hard handoff; es decir, que podrá pasar hasta más de uno segundo entre el abandono de una antena y la conexión en la siguiente, lo cual puede dar pie a degradaciones apreciables de la comunicación, especialmente para servicios de voz. Para datos no sería prácticamente apreciable. La gran ventaja del 802.16e es la posibilidad de mantener comunicaciones en movimiento hasta a120 km/h. (Rebollo, 2008)

2.5. ZIGBEE

ZigBee es un estándar que define un conjunto de protocolos para el armado de redes inalámbricas de corta distancia y baja velocidad de datos. Opera en las bandas de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz y puede transferir datos hasta 250Kbps.

Este estándar fue desarrollado por la Alianza ZigBee, que tiene a cientos de compañías desde fabricantes de semiconductores y desarrolladores de software a constructores de equipos OEMs e instaladores. Esta organización sin fines de lucro nace en el año 2002. (Allard-Jacquiun, 2008)

La idea de usar una conexión inalámbrica para controlar sensores y adquirir datos tiene muchos años. Existen numerosas soluciones propietarias usadas en domótica pero el gran inconveniente que tienen es la incompatibilidad entre sensores, controles y equipos de procesamiento de datos que obliga a hacer pasarelas o gateways para interconectar dispositivos de diferentes marcas.

2.5.1. Especificaciones ZigBee

- Ultra bajo consumo que permita usar equipos a batería
- Bajo costo de dispositivos y de instalación y mantenimiento de ellos.
- Alcance corto (típico menor a 50 metros).
- Optimizado para ciclo efectivo de transmisión menor a 0.1 %
- Velocidad de transmisión menor que 250 kbps. Típica: menor que 20 kbps.

ZigBee es el estándar más aceptado hoy para usar en redes de sensores y actuadores que deban operar con baterías. (Allard-Jacquiun, 2008)

2.5.2. Arquitectura

Esta se basa en el modelo de referencia ISO para interconexión de sistemas abiertos OSI. ZigBee usa solo 4 capas con el objeto de simplificar la arquitectura para el armado de una red de baja tasa de transmisión, simple y de bajo consumo. Las 2 capas inferiores, o sea la capa física y la capa de acceso al medio son las definidas por el Standard IEEE 802.15.4. Las capas de red y de aplicación se definen en ZigBee. Cada capa se conecta con las capas adyacentes por medio Service Access Point (SAP). Un SAP es un lugar por donde una capa superior requiere un servicio a una capa inferior. (Revilla, 2013)

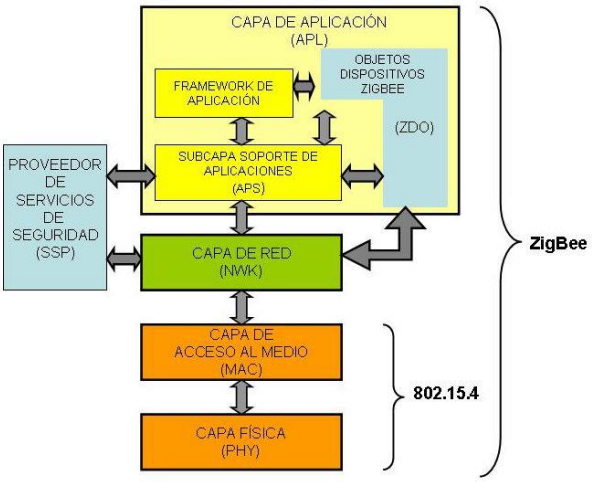


Figura 8. Arquitectura Zigbee (ITU, 2013)

ZigBee es una pila de protocolos constituido por diferentes capas independientes una de la otra.

2.5.3. Capa de Red:

Esta capa actúa como interfaz entre la capa acceso al medio y la capa aplicación. Es la responsable de iniciar la red, unirse a la red, enrutar paquetes dirigidos a otros, proporcionar los medios para garantizar la entrega del paquete al destinatario final, filtrar paquetes recibidos, cifrarlos y autentificarlos. Por lo tanto, esta capa implementa seguridad y encamina tramas a sus destinos. En el controlador de red es la responsable de crear una nueva red y asignar direcciones a los dispositivos de la misma. (Magro Segura, 2011)

2.5.4. Capa de soporte a la aplicación

El siguiente nivel se encarga de 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. Las capas de red y de soporte a la aplicación son definidas por la ZigBee Alliance. (H. Labiod, 2007)

2.5.5. Capa de Aplicación

Esta la capa de la que se encargan los fabricantes, donde se encuentran los ZDO (ZigBee Device Objects) que se encargan de definir el papel del dispositivo en la red.

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 autentificar 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. (Quiroz, 2004)

2.5.6. Protocolos de conexión:

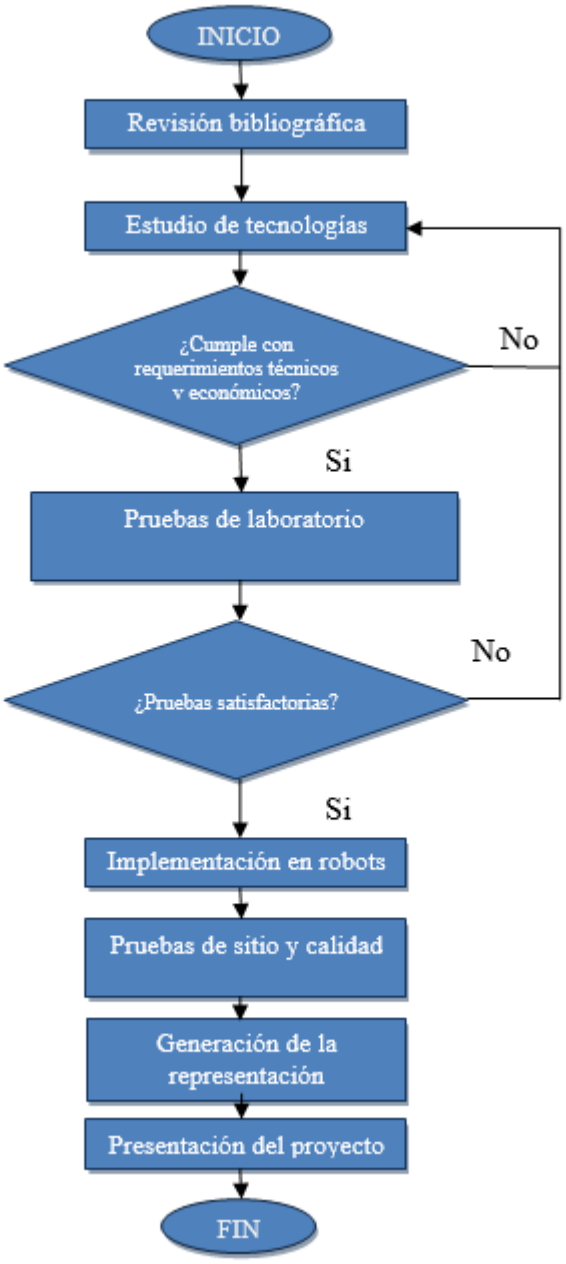
Los protocolos ZigBee minimizan el tiempo de actividad de la radio para evitar el uso de energía. En las redes con balizas los nodos sólo necesitan estar despiertos mientras se transmiten las balizas (además de cuando se les asigna tiempo para transmitir). Si no hay balizas, el consumo es asimétrico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

ZigBee debe respetar el estándar de WPAN de baja tasa de transmisión IEEE 802.15.4-2003 donde se definen los niveles más bajos. (Rodriguez Pérez, 2003)

2.5.7. Estrategias de conexión:

La finalidad de las redes ZigBee es establecer una comunicación inalámbrica entre varios dispositivos de muy bajo consumo. La estrategia consiste en mantener durante mucho tiempo el mayor número posible de dispositivos en modo “dormido”. El dispositivo solo se “despierta” durante un instante simplemente para confirmar que sigue “vivo”. Esta transición dura unos 15ms (de modo “dormido” a modo “despierto”), y la enumeración de "esclavos" dura alrededor de 30ms. (Telecomunicaciones, 2007)

3. METODOLOGÍA



El proyecto está comprendido como un proyecto de investigación por lo que se da inicio al mismo desde el ámbito teórico, realizando estudios y obteniendo material bibliográfico, del cual se obtiene la información necesaria para realizar los análisis de cada una de las tecnologías estudiadas y generar cuadros comparativos que nos permitan obtener resultados fiables para poder seleccionar la tecnología que más se adecue a las necesidades encontradas en los robots Dani, de esta manera

al implementar esta tecnología en los dispositivos se podrá dar una solución adecuada al problema de comunicación existente actualmente.

3.1. Revisión Bibliográfica:

Basados en las tecnologías estudiadas en el anteproyecto se decide ahondar en la investigación de cada una de estas, teniendo en cuenta los diferentes escenarios de búsqueda como libros, artículos, conferencias, datasheets, marcos de referencia entre otros. Este estudio y recopilación de información es de gran importancia en el desarrollo del proyecto, debido a que serán las fuentes de comparación para los próximos pasos, fue indispensable que la información obtenida provenga de fuentes fiables, generando de esta forma el primer filtrado de la información.

Esta información se organizó por tecnologías con una distribución de acuerdo a la fecha de salida al mercado; de tal manera que permita una búsqueda eficiente para las respectivas comparaciones

3.2. Estudio de Tecnologías

Teniendo con el paso anterior donde se cuenta con una base de la información detallada de cada una de las tecnologías disponibles, se procede al estudio detallado dé cada una de ellas, para encontrar información de interés (potencias, alcances, topologías, protocolos, etc.), de manera teórica, lo que conlleva a la comprensión del funcionamiento, ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías estudiadas.

Este estudio arrojó superficialmente una primera idea de que tecnologías pueden ser adecuadas para el proyecto que se está desarrollando.

3.3. Evaluación pre requisitos técnicos y económicos

Con el acercamiento técnico y teórico del estudio anterior, se nos presenta la primera incógnita, donde se inicia la evaluación exhaustiva de las tecnologías inalámbricas disponibles, teniendo en cuanta factores cruciales en los proyectos, como lo son el alcance, la viabilidad económica y las especificaciones técnicas, es en este paso donde se ve reflejada la importancia de tener una buena base de conocimiento almacenada de las tecnologías donde se encontraron las características de funcionamiento adecuadas.

En este punto de decisión puede se eliminaron tecnologías dependiendo de los resultados analíticos encontrados.

3.4. Pruebas de Laboratorio

Luego de haber realizado un buen análisis comparativo se procede a hacer la implementación de las tecnologías que más campos y variables hayan cubierto de acuerdo al alcance definido previamente en este proyecto. En este paso, se hicieron pruebas de comunicación, alcances, consumos y todas las variables que puedan compararse contra los marcos de referencia teóricos para poder concluir eran fiables. Las pruebas se hicieron en espacios cerrados teniendo en cuenta que se requieren para la implementación de robots que trabajarán en este tipo de espacios, por ello, las pruebas prácticas son las más cercanas a las necesidades pertinentes.

3.5. Pruebas Satisfactorias

Se verifico el resultado experimental para comprobar si se va a dar una solución eficiente al problema planteado, es por eso decisivo analizar minuciosamente los resultados prácticos y decidir que tecnología cumple con los parámetros y en caso que ninguna lo logre, realizar nuevamente estudios de nuevas tecnologías y repetir todo el proceso.

De estas pruebas pudimos concluir que la tecnología inalámbrica más acertada para este proyecto es la wifi, ya que cuenta con las características técnicas y económicas requeridas para la comunicación entre robots Dani.

3.6. Implementación en Robots

Teniendo ya la tecnología seleccionando que cumple con los requerimientos deseados, se realizó la implementación la implementación en las plataformas Dani, teniendo en cuenta que por ser una comunicación inalámbrica y que son robots independientes toda conexión física se realizó solamente contra el robot sin existir conexiones externas a este.

3.7. Pruebas en sitio

Como proceso final se realizaron nuevamente las pruebas de la tecnología seleccionada, donde se comprobó que en el ambiente real de funcionamiento de los dispositivos la tecnología transmite eficientemente la información que el robot desee enviar o recibir, además se comprobó parámetros de alimentación eléctrica, efectos del peso adicional sobre el robot, alcance, interferencias generadas entro otros.

4. ESTUDIO COMPARATIVO.

4.1. INFRARROJO.

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, permite la comunicación bidireccional entre dos extremos a velocidades que oscilan entre los 9.600 bps y los 4 Mbps. (Association, 2008)

Características

La tecnología IrDA es un sistema seguro y de bajo costo que reemplazo el cable, esta tecnología es comúnmente usada para muchas aplicaciones y ambientes específicos, y continua siendo objeto de desarrollo e investigación por parte de cientos de empresas que, a lo largo de los años, han formado la Asociación de Datos Infrarroja. Infrarrojo IrDA tiene éxito como una tecnología de transporte de comunicaciones.(Autor)

- Cono de ángulo estrecho de 30°.
- Opera en una distancia de 0 a 1 metro.
- Conexión universal sin cables.
- Comunicación punto a punto.
- Soporta un amplio conjunto de plataformas de hardware y software.

Se clasifican de acuerdo a la longitud de onda en; ***infrarrojo cercano*** (de 800 nm a 2500 nm), infrarrojo medio (de 2.5 µm a 50 µm), ***infrarrojo lejano*** (de 50 µm a 1000 µm). Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros. La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, −273,15 grados Celsius (cero absoluto). (Bernal, 2007)

Su implementación es de bajo costo, rápido y su consumo de energía es bajo. Seguro en cuanto al envío de datos ya que requiere conexión consciente y deliberada. Es ubicuo (mundialmente adoptado y aplicado en más de 1 mil millones de productos) debido a su característica de no-propietario (hasta ahora son libres), lo que ayuda a promover la adopción y hace posible a través de la interoperabilidad tipo de plataforma, marcas y productos si se aplican adecuadamente. IrDA no tiene problemas de interferencia de radio frecuencia o conflictos de señal. (Diaz, 2010)

Esta tecnología inalámbrica (IrDA) está relativamente libre de regulación. (Frecuencias infrarrojas son justo debajo de la luz visible en el espectro

electromagnético para que no haya restricción en cualquiera que quiera utilizarlos).

Ofrece un amplio ancho de banda que transmite señales a velocidades altas (alcanza los 10 Mbps), cuenta con una longitud de onda cercana a la luz y se comporta como ésta (no puede atravesar objetos sólidos) por lo que es inherentemente seguro contra receptores no deseados. Los componentes que se utilizan para su implementación son sumamente económicos y de bajo consumo de potencia. (José Manuel Huidobro Moya, 2006)

4.1.1. Enlaces Infrarrojos.

Los enlaces infrarrojos se encuentran limitados por el espacio y los obstáculos. El hecho de que la longitud de onda de los rayos infrarrojos sea tan pequeña (850-900 nm), hace que no pueda propagarse de la misma forma en que lo hacen las señales de radio, por este motivo las redes infrarrojas suelen estar dirigidas a redes de reducido tamaño. (autor)

Métodos de transmisión

Se utilizan tres métodos diferentes para la transición de datos en redes infrarrojas: punto a punto, casi-difuso y difuso.

- **Modo punto a punto**

El tipo de emisión por parte del transmisor se hace de forma direccional. Por ello, las estaciones deben verse directamente, para poder dirigir el haz de luz directamente de una hacia la otra. Esto conlleva a que el sistema sea más limitado, pues a todos los inconvenientes de las comunicaciones infrarrojas hay que unir el hecho de tener que colocar las estaciones enfrentadas. Este método se suele usar en redes inalámbricas Token Ring, donde el anillo está formado por una unión de enlaces punto a punto entre las distintas estaciones, conformando cada uno de los segmentos. (Electronica Basica)

- **Modo Casi-Difuso**

El tipo de emisión es radial; al contrario que en el modo punto a punto. Para ello se transmite hacia distintas superficies reflectantes, las cuales redirigirán el haz de luz hacia la/s estación/es receptora/s. De esta forma, se rompe la limitación impuesta en el modo punto a punto de la direccionalidad del enlace. En función de cómo esté dispuesta la superficie reflectante, se distinguen dos tipos de reflexión: *pasiva y activa*. En la reflexión pasiva, la superficie reflectante simplemente refleja la señal, debido a las cualidades reflexivas del material. En la reflexión activa, el medio reflectante no sólo refleja la señal, sino que además la amplifica. En este caso, el medio reflectante se conoce como satélite. Mientras la reflexión pasiva es más flexible y barata, requiere de una mayor potencia de emisión por parte de las estaciones, debido al hecho de no contar con etapa repetidora. (J.M. Paés, Juunio 2004)

- **Emisión Difuso**

Se diferencia del casi-difuso en que debe ser capaz de abarcar, mediante múltiples reflexiones, todo el recinto en el cual se encuentran las estaciones, esto requiere una potencia de emisión mayor que el modo punto a punto y el casi difuso, puesto que el número de rebotes incide directamente en el camino recorrido por la señal y las pérdidas aumentan.

Una de las principales desventajas de este sistema es que es sumamente sensible a objetos móviles que interfieren y perturban la comunicación entre emisor y receptor. Además que las restricciones de potencia de transmisión limitan la cobertura de estas redes a corta distancia. IrDA hizo su camino a ambientes LAN con la tecnología EthIR, liberando teléfonos celulares con capacidad IrDA para trabajar con Asistentes Personales Digitales, HPCs, y otros dispositivos, para ofrecer conectividad móvil a Internet. (Murillo, 2008)

La luz solar directa, las lámparas incandescentes y otras fuentes de luz brillante pueden interferir fácilmente con la señal.

4.1.2. Esquemas de Modulación

A medida que los datos se codifican más eficientemente, se logran tasas o flujos de bits mayores dentro del mismo ancho de banda, pero se requiere hardware más sofisticado para manejar la modulación y la demodulación de los datos.

Para las tasas de transmisión de datos igual o menor a 1.152Mbps, se usa la modulación RZI (Return to Zero Inverted), donde un cero se representa por un pulso de luz cuya duración es normalmente 3/16 de la duración de un bit para tasas menores o iguales a 115.2 kbps, para 576 kbps y 1.152 Mbps, la duración nominal del pulso óptico es 1/4 de la duración del bit de la trama, Con RZI el emisor envía un pulso para indicar un 0 binario, mientras que para el 1, no envía pulso. (Murillo, 2008)

Al llegar a la marca de 4 Mbps el emisor de IrDA cambia a PPM o Modulación por Posición de Pulso (Pulse Position Modulation). La longitud y posición de un pulso es determinado por un período de reloj. Estos períodos son determinados por la duración del símbolo y son divididos en 4 segmentos iguales. Estos segmentos son referidos como Chips (Pedazos). Los datos transmitidos por un dispositivo IrDA son transmitidos en un formato de 8 bits, conforme al estándar de la IRDA, 8 bits de datos, bit de paridad, y bit de paro para un total de 10 bits por carácter. (htt)

4.2. BLUETOOTH

Especificación industrial para Redes Inalámbricas de área personal (WPAN) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con este protocolo son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.
- Eliminar los 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 PDA, teléfonos móviles, computadoras portátiles, ordenadores personales, impresoras o cámaras digitales. (Giraldez, 2010)

Este protocolo es adecuado para distancias menores a 10 metros y principalmente para conectar dispositivos a alta velocidad. El uso más generalizado de Bluetooth es para el intercambio de información entre dispositivos electrónicos que se encuentren accediendo a la red creada, bluetooth es para periféricos y para una mejor transferencia de datos entre un ordenador y dispositivos, no es como una red de transmisión. También permite el acceso a Internet desde un PC conectándolo al terminal móvil y accediendo así a través de las redes GPRS o UMTS a la red, convirtiendo el equipo en un módem para la conexión. (Ponce, 2006)

Características

La comunicación por bluetooth se realiza a una velocidad de un megabyte por segundo (20 veces más rápido que una conexión telefónica a Internet) por ello se usa para la comunicación directa con dispositivos determinados.

Este protocolo es para el intercambio de voz y datos, de bajo costo, automático y de baja interferencia, sin embargo la velocidad es baja para la transmisión de archivos pesados (1Mbps), y su interferencia es alta debido al limitado radio de acción entre los periféricos (30 pies entre ellos) adicional su límite de periféricos es considerable, y si se encuentra en modo visible se consume altas porciones de energía. (Autor)

Versiones de Bluetooth

- ✓ **Bluetooth v.1.1**

Ericsson inició un estudio para investigar la viabilidad de una nueva interfaz de bajo costo y consumo para la interconexión vía radio entre dispositivos como teléfonos móviles y otros accesorios. El estudio partía de un largo proyecto que investigaba unos multicomunicadores conectados a una red celular, y se llegó a un enlace de radio de corto alcance, llamado MC link. Conforme este proyecto avanzaba se fue haciendo claro que éste tipo de enlace podía ser utilizado ampliamente en un gran número de aplicaciones, ya que tenía como principal virtud que se basaba en un chip de radio. (Giraldez, 2010)

- ✓ **Bluetooth v.1.2**

A diferencia de la 1.1, provee una solución inalámbrica complementaria para co-existir bluetooth y wifi en el espectro de los 2.4 GHz, sin interferencia entre ellos. La versión 1.2 usa la técnica “Adaptive Frequency Hopping (AFH)”, que ejecuta una transmisión más eficiente y un cifrado más seguro. Para mejorar las experiencias de los usuarios, además de ofrecer una calidad de voz (Voice Quality – Enhanced Voice Processing) con menor ruido ambiental, y provee una más rápida configuración de la comunicación con los otros dispositivos bluetooth dentro del rango del alcance. (Giraldez, 2010)

- ✓ **Bluetooth v.2.0**

Creada para ser una especificación separada, principalmente incorpora la técnica “Enhanced Data Rate” (EDR) que le permite mejorar las velocidades de transmisión en hasta 3Mbps a la vez que intenta solucionar algunos errores de la especificación 1.2. (Giraldez, 2010)

- ✓ **Bluetooth v.2.1**

Simplifica los pasos para crear la conexión entre dispositivos, además el consumo de potencia es 5 veces menor. (Larrea, 2012)

- ✓ **Bluetooth v3.0**

Aumenta considerablemente la velocidad de transferencia. La idea es que el nuevo Bluetooth trabaje con WiFi, de tal manera que sea posible lograr mayor velocidad en los Smartphone. (Larrea, 2012)

- ✓ **Bluetooth v4.0**

Disminuye drásticamente el consumo de energía, ampliando la cantidad de aplicaciones, permitiendo la incorporación de receptores y transmisores bluetooth en dispositivos pequeños como relojes, reproductores portátiles, instrumental médico, etc., mejora la seguridad con encriptadores AES-128. (Larrea, 2012)

- ✓ **Clases de Dispositivos:**

Existen dos tipos de dispositivos bluetooth: "Clase 1" o "Clase 2" es únicamente una referencia de la potencia de transmisión del dispositivo, siendo totalmente compatibles los dispositivos de una clase con los de la otra. Los dispositivos de Clase 1 tienen un alcance de hasta 100 metros, mientras que los de Clase 2 llegan hasta los 20/30 metros. Si un dispositivo de clase 1 desea conectarse con uno de clase 2, deberán colocarse la distancia del alcance del de clase 2, ya que por más que el otro sea clase 1, debe ponerse a la distancia donde llega el de clase 2. Las distancias que indican son medidas tomando punto a punto dos dispositivos de la misma clase, instalados a campo abierto, sin ninguna interferencia. La realidad es

que en instalaciones normales en interiores de edificios, la distancia oscila entre 5 y 25 metros, según las condiciones ambientales. (Perez)

4.2.1. Enlaces Bluetooth

El establecimiento de una conexión entre dos dispositivos bluetooth se establece de la siguiente manera:

Solicitud: Búsqueda de puntos de acceso, *Paginación:* Sincronización con los puntos de acceso, *Descubrimiento* del servicio del punto de acceso, *Creación* de un canal con el punto de acceso, *Emparejamiento* mediante el PIN (seguridad), y utilización de la red.

La fase denominada solicitud, es donde el dispositivo maestro envía una solicitud a todos los dispositivos que encuentra dentro de su rango o puntos de acceso. Todos los dispositivos que reciben la solicitud responden con su dirección. El dispositivo maestro elige una dirección y se sincroniza con el punto de acceso mediante una técnica denominada paginación, que principalmente consiste en la sincronización de su reloj y frecuencia con el punto de acceso, se establece un enlace con el punto de acceso que le permite al dispositivo maestro ingresar a una fase de descubrimiento del servicio del punto de acceso, mediante un protocolo denominado SDP (Service Discovery Protocol). Cuando esta fase de descubrimiento del servicio finaliza, el dispositivo maestro está preparado para crear un canal de comunicación con el punto de acceso, mediante el protocolo L2CAP. (Rodríguez D. M., 2002)

Según las necesidades del servicio, se puede establecer un canal adicional, denominado RFCOMM que funciona por el canal L2CAP, para proporcionar un puerto serial virtual. El punto de acceso puede incluir un mecanismo de seguridad denominado emparejamiento, que restringe el acceso sólo a los usuarios autorizados para brindarle a la piconet cierto grado de protección. El emparejamiento se realiza con una clave cifrada comúnmente conocida como PIN, para esto, el punto de acceso le envía una solicitud de emparejamiento al dispositivo maestro. La mayoría de las veces se le solicitará al usuario que ingrese el PIN del punto de acceso. Si el PIN recibido es correcto, se lleva a cabo la conexión. En el modo seguro, el PIN se enviará cifrado con una segunda clave para evitar poner en riesgo la señal. Cuando el emparejamiento se activa, el dispositivo maestro puede utilizar libremente el canal de comunicación establecido. (Royce, 1970)

Desde un punto de vista de tecnología de transmisión, bluetooth está basado en la tecnología clásica del escenario inalámbrico conocida como spread spectrum (espectro esparcido), en concreto en frequency hopping: estos sistemas de frequency hopping dividen la banda de frecuencia en varios canales de salto (hopping); en el transcurso de la conexión se produce una transición brusca (salto o hopping) de un canal a otro de forma aleatoria. Desde un punto de vista de arquitectura, bluetooth se basa en el concepto de picored, que se refiere a la

capacidad de varios equipos para configurarse como una red; de una forma más estricta, la picored se puede definir como la red de corto alcance formada por dos o más unidades o equipos que comparten un canal, es decir, que funcionan de forma síncrona y siguiendo la misma frecuencia de hopping. La picored se diferencia de otras redes similares de su entorno mediante la secuencia de frecuencia de hopping. Las picorredes se pueden enlazar de forma ad-hoc generando lo que se conoce como red de dispersión o scatternet: estas scatternets permiten que se pueda producir la comunicación entre configuraciones flexibles de forma continua; estas redes pueden actuar también como enlace inalámbrico a redes de datos ya existentes. El chip Bluetooth está formado por un transceiver de radio-frecuencia, una unidad de control de enlace banda-base conjuntamente con el software de gestión y un subsistema de antena; a los equipos que incluyen este chip y verifican las especificaciones bluetooth. (Torres, 2005)

4.2.2. Modulación Bluetooth

Modulación GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) es un método para comunicaciones digitales. Las comunicaciones digitales se enfocan en traducir símbolos de un alfabeto discreto a una señal que el transmisor puede enviar en un medio, y en que el receptor puede recuperar los símbolos originales. Para el protocolo bluetooth el alfabeto contiene únicamente los símbolos 0 y 1, por lo tanto los símbolos se conocen como bits. En la modulación FSK se transmite información al disminuir la frecuencia portadora por el periodo de duración de un símbolo 0 y aumentar la frecuencia por el periodo de duración de un símbolo 1. De esta forma, si se aplica un filtro 6 2 Antecedentes gaussiano a una onda cuadrada, esto cambia la frecuencia portadora y se consigue la modulación GFSK. La modulación GFSK es un tipo de modulación por desplazamiento de frecuencia con fase continua, la cual se caracteriza por tener una buena eficiencia de potencia y una amplitud constante. Los requerimientos de ancho de banda para FSK incrementan a la vez que incrementa la cantidad de símbolos de modulación. Por esto, en las aplicaciones con baja tasa de datos de Bluetooth, la modulación GFSK emplea un filtro gaussiano para reducir el ancho de banda necesario. (Galal etal., 2012)

4.3. WIFI

Se usa el término Wi-Fi (wireless fidelity o fidelidad sin cables) para designar a todas las soluciones informáticas que utilizan tecnología inalámbrica 802.11, es el estándar más utilizado para conectar ordenadores a distancia. El uso más frecuente de esta tecnología es la conexión de portátiles a internet desde las cercanías de un punto de acceso o hotspot. Estos puntos son cada vez más abundantes y permiten a cualquier usuario utilizar la red sin necesidad de instalar un cable telefónico. La emisión y recepción de datos se realiza a través de radiofrecuencia. Existen diferentes formatos de conexión, pero el más popular es el conocido como 802.11b, que opera en la banda de los 2,4 GHz, la misma que las microondas de la telefonía móvil.

Wi-Fi usa el protocolo 802.11 para ofrecer acceso seguro, confiable conectividad inalámbrica rápida. Este tipo de redes se pueden utilizar para conectar dispositivos electrónicos entre sí, a Internet y a las redes de cable que utilizan la tecnología Ethernet. Redes Wi-Fi funcionan en las bandas de 2,4 y 5 GHz, con algunos productos que contengan ambas bandas (banda dual). Ellos pueden proporcionar el rendimiento real similar a las redes cableadas básicas (Valeria Jordán, 2010)

Características

Wi-Fi funcionan a través de ondas de radio, en las bandas de 2,4 GHz o 5GHz. Estas bandas se designan como licencia libre. Debido a que las bandas de Wi-Fi son licencia libre, se vuelve más importante para los fabricantes para asegurar que sus productos pasan los estándares de interoperabilidad establecidos por la certificación y funcionan en base a ciertos protocolos previamente establecidos. (tech, 2015)

Los dispositivos habilitados por wifi pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica, este punto de acceso o hostpot tiene un alcance de unos 20 metros en interiores y al aire libre es mayor. La compatibilidad de los equipos que cuentan con esta tecnología de acceso es total, sin embargo cuenta con una velocidad menor en comparación con la red cableada debido a las interferencias y perdidas de la señal que incurren en el ambiente, también la seguridad es menor y se han creado tarjetas de wifi en modo promiscuo de forma que puedan calcular la contraseña de red y acceder a la clave de acceso. (tech, 2015)

Permite a los usuarios establecer conexiones a Internet sin ningún tipo de cables y puede encontrarse en cualquier lugar que se haya establecido un hotspot. Al ser redes inalámbricas, la comodidad que ofrecen es muy superior a las redes cableadas porque cualquiera que tenga acceso a la red puede conectarse desde distintos puntos dentro de un rango suficientemente amplio de espacio. Una vez configuradas, las redes Wi-Fi permiten el acceso de múltiples ordenadores sin ningún problema ni gasto en infraestructura, no así en la tecnología por cable. (ms.gonzalez, 28/08/2014)

Sin embargo, el sistema Wi-Fi es una menor velocidad en comparación a una conexión con cables, debido a las interferencias y pérdidas de señal que el ambiente puede acarrear, adicional existen algunos programas capaces de capturar paquetes, trabajando con su tarjeta Wi-Fi en modo promiscuo, de forma que puedan calcular la contraseña de la red y de esta forma acceder a ella. Las claves de tipo WEP son fáciles de conseguir con este sistema. Se minimizo el problema de seguridad por las claves tipo wep con el estándar WPA y posteriormente WPA2, basados en el grupo de trabajo 802.11i. Las redes protegidas con WPA2 se consideran robustas dado que proporcionan muy buena seguridad, este problema se agrava si consideramos que no se puede controlar el

área de cobertura de una conexión, de manera que un receptor se puede conectar desde fuera de la zona de recepción prevista. (Tiziana Priede Bergamini, 2007)

Hay que señalar que esta tecnología no es compatible con otros tipos de conexiones sin cables como Bluetooth, GPRS, UMTS, etc.

4.3.1. Enlaces WIFI

Enlaces (PTP): Las redes punto a punto se aplican para un tipo de arquitectura de red específica, en la que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente dos nodos. Los dispositivos AP Y CPE deben soportar el modo de punto de acceso y de modo de estación o transmisión, por lo tanto una conexión punto a punto puede ser creada a partir de AP y CPE o del 2 CPE o del 2 de AP, de acuerdo al diseño de red. La configuración más simple de una conexión punto a punto, es utilizando dos CPE debido a que cuentan con antenas direccionales integradas, nuestra tecnología integra todos estos elementos y más para poder dar soluciones viables, de larga duración y rentabilidad. (Rebollo, 2008)

Enlaces (PMTP)

La conectividad punto multipunto inalámbrico que garantizan alta disponibilidad, trabajan bajo estándares 802.11a/g y IEEE 802.11n. El AP/CPE deben operar con tecnología MIMO 2X2 (2 transmisiones y 2 recepciones) y deben estar equipados con antenas de polarización dual que incrementan la confiabilidad con funciones de radio MIMO que provean una mayor seguridad en la salida real de datos. Se pueden implementar coberturas de redes PTP y PMTP en frecuencia de 2.4 Ghz y en frecuencia 5Ghz, con un amplio alcance. (Mishra, 2004)

Enlaces Punto de Repetición

El repetidor técnicamente trabaja como una estación y un punto de acceso al mismo tiempo, se utiliza para extender la zona inalámbrica tomando la señal de una base de punto de acceso y transmitirla a las áreas no cubiertas. Este tipo de cobertura puede incrementarse sin una puerta de enlace adicional. El repetidor usualmente requiere una antena omnidireccional y puede ser móvil. Esta solución puede ser para interiores y exteriores. La red extendida puede tener la misma o diferente configuración de seguridad que la base AP. (Magro Segura, 2011)

Enlaces de cobertura Local

El estándar IEEE 802.11n permite alcanzar una gran salida de datos para usuarios como una laptop, Smartphone o PDA y es compatible con cualquier cliente con equipo (basado en IEEE 802.11a/b/g). Las zonas de cobertura pueden ser creadas en interiores y exteriores. Las áreas de cobertura VLAN son muy populares en las estaciones petroleras, tiendas, bares, restaurantes, lugares públicos y otros. (Magro Segura, 2011)

Redes Privadas

Se pueden crear radios virtuales (VSSID) y las VLAN's, permitiendo crear varias redes virtuales en un solo equipo físico. Esta es una solución es muy efectiva porque requiere menos equipos, menos instalación, menos mantenimiento, y provee internet a varios tipos de usuarios al mismo tiempo.

4.3.2. Modulación WIFI

La idea básica detrás de las diversas técnicas de modulación usadas en IEEE 802.11 es utilizar más ancho de banda del mínimo necesario para mandar la información a fin de conseguir protección contra la interferencia. (Autor)

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Se basa en el concepto de transmitir sobre una frecuencia por un tiempo determinado, después aleatoriamente saltar a otra. El transmisor envía al receptor señales de sincronización que contienen la secuencia y la duración de los saltos. En el estándar IEEE 802.11se utiliza la banda de frecuencia (ISM) que va de los 2,400 hasta los 2,4835 GHz, la cual se divide en 79 canales de 1 MHz y el salto se hace cada 300 a 400 ms. Los saltos se hacen alrededor de una frecuencia central que corresponde a uno de los 14 canales definidos. (ms.gonzalez, 28/08/2014)

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Implica para cada bit de datos, una secuencia de bits (secuencia seudoaleatoria, PN) debe ser transmitida. Cada bit correspondiente a un 1 es substituido por una secuencia de bits específica y el bit igual a 0 es substituido por su complemento. El estándar de la capa física 802.11 define una secuencia de 11 bits (10110111000) para representar un “1” y su complemento (01001000111) para representar un “0”, en lugar de esparcir los datos en diferentes frecuencias, cada bit se codifica en una secuencia de impulsos más cortos, de manera que los 11 impulsos en que se ha dividido cada bit original ocupan el mismo intervalo de tiempo. Esta técnica de modulación ha sido común desde el año 1999 al 2005. (tech, 2015)

OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

Algunas veces llamada modulación multitono discreta (DMT) es una técnica de modulación basada en la idea de la multiplexación de división de frecuencia (FDM). FDM, que se utiliza en radio y TV, se basa en el concepto de enviar múltiples señales simultáneamente pero en diversas frecuencias. En OFDM, un sólo transmisor transmite en muchas (de docenas a millares) frecuencias ortogonales. Una señal OFDM es la suma de un número de subportadoras ortogonales, donde se modula independientemente usando QAM la (modulación de fase y amplitud) o PSK (modulación de fase) la subportadora. Esta técnica de modulación es la más común a partir del 2005**.** (Alliance, 2015)

4.4. WIMAX

(Worldwide Interoperability for Microwave Access), estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.16) el cual proporciona accesos en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base.(Autor)

Cuando hay objetos que se interponen en la transmisión de la señal, se transmiten las ondas a bajas frecuencias (entre los 2 y los 11 Ghz) para no sufrir interferencias por la presencia de objetos. Esto hace que el ancho de banda disponible sea menor. Las antenas que oferten este servicio tendrán tan solo cobertura de 65 Km cuadrados (como los teléfonos móviles). Cuando no existen objetos que se interponga se transmiten las ondas a muy alta frecuencia, de 66 Ghz, disponiendo de un gran ancho de banda. Las antenas que oferten este servicio tendrán una cobertura de hasta 9.300 Km. cuadrados. (H. Labiod, 2007)

Características

WiMax utiliza una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,3 a 3,5 GHz. Es una tecnología conocidas como tecnología de última milla o como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El estándar que define esta tecnología es el IEEE 802.16. WiMax es el medio de acceso a la telefonía 4G. O sea, mediante el WiMax (entre otros, no es la única tecnología usada) El estándar 802.16, definen el tipo de red Peer-tú-Peer (P2P) y redes ad hoc en las que se trabaja, permitiendo que un usuario pueda comunicarse con otros usuarios o con los servidores de otra red de área local LAN, a través de su punto de acceso o estación base. Para que funcione es necesaria la instalación de antenas repetidoras situadas estratégicamente para dar servicio a determinadas zonas. Lo más importante de la tecnología WiMAX es el transceptor de la estación base, una antena central que se comunica con las antenas de los usuarios, con una antena se da cobertura a más de 30 kilómetros a la redonda.. Es una excelente forma de obtener conexiones de Internet de forma rápida y económica en zonas donde las tecnologías tradicionales no acceden, o bien, no les es rentable. (Autor)

Ofrece servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales). Se pueden añadir más canales, posee anchos de banda configurables y no cerrados sujetos a la relación de espectro, se adapta a diferentes topologías de red: Punto a punto, Punto-multipunto o bien de fijo, nómada y móvil, soporta cientos de usuarios por canal, gracias a su ancho de banda, capa MAC con soporte de múltiples especificaciones físicas, llamadas telefónicas usando VoIP. Sin embargo las dudas sobre la seguridad han sido el principal freno tanto para los operadores comerciales como para los usuarios empresariales a la hora de realizar mayores inversiones y acometer proyectos WiFi o de gran envergadura. Esto ha llevado a que el (IEEE) y el conjunto de empresas que conforman el WiMax Fórum trabajen en conjunto para la definición

de un entorno de seguridad robusto y consolidado que ofrezca plena confianza a los usuarios. (Moya, 2008)

Distancias de hasta 80 kilómetros, con antenas muy direccionales y de alta ganancia. Velocidades de hasta 75 Mbps, 35/35 Mbps, siempre que el espectro esté completamente limpio. anchos de banda configurables y no cerrados, sujetos a la relación de espectro. Permite dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras (dos tipos: fija y móvil).

Fija

Bajo el protocolo 802.16d, que funciona mediante antenas fijas (similares a las de TV). En trabaja en la banda de 3.5 GHz, con una velocidad máxima de 75 Mbps y un rango de hasta 10 Km. (Ponce, 2006)

Móvil

Bajo el protocolo 802.16e, que trabaja en la banda de 2 - 3 GHz, con una velocidad máxima de 30 Mbps y un rango de hasta 3.5 Km.

Las redes WiMAX son redes que trabajan bajo la tecnología NLOS (no necesitan tener una línea de visibilidad entre las antenas), pero este sistema solo permite atravesar pequeños obstáculos. Además, cuando no hay una línea de visión directa (LOS) entre ambos, tanto la velocidad como la distancia (rango) se reducen notablemente. En este sentido les ocurre lo mismo que a las redes WiFi. Para una transmisión a distancias mayores (en teoría puede llegar hasta los 50 Km) es necesario que las antenas tengan una línea de visión directa(LOS). (Ponce, 2006)

4.4.1. Enlaces WIMAX

En una punta esta la *Estación Base* En una Torre o Estación Base, pueden coincidir distintos tipos de antenas, con las que atender distintas necesidades y oferta de servicio para abonados. Un mismo enlace de WiMax, tiene capacidad para proporcionar varios canales por conexión física y atender a múltiples suscriptores, cada uno de ellos tratados privadamente, con protocolos y nivel de servicio diferenciados para cada uno de ellos, según lo que puedan contratar individualmente, identifica con un operador de comunicaciones, en donde existen una o varias antenas con las que se retransmite la señal. Este elemento puede ser una torre, en donde se anclan las antenas o una pequeña edificación en algún lugar elevado. Las antenas que se ubican en este extremo pueden ser omnidireccionales o antenas de panel, para conexiones punto a punto, cuando se quiere cubrir una gran distancia y se necesita una tasa de transferencia alta. (Torres, 2005)

En el otro extremo de la conexión, está el usuario final, que puede ser residencial o corporativo, se encuentra instalado el CPE (Customer Premises Equipament) que constituye el último eslabón de este tipo de redes y en donde acaba el flujo de

transferencia de datos entre operador y el cliente final. Por las características de la señal transmitida en WiMax, el CPE es un pequeño dispositivo, como una mínima caja en la que asoma una antena, cuando la señal se pretende distribuir en una red LAN o se da servicio a varios puestos. Se instala en el exterior o interior del edificio y se conecta al punto de distribución. Por su tamaño y aspecto, en cualquier caso, resulta un elemento poco llamativo para el observador. Puede ser perfectamente una tarjeta PCMCIA, PCI o módulo USB que se inserte llanamente en el ordenador, cuando se trata de conexiones directas de equipos individuales. Es posible, incluso, encontrar portátiles que lo llevan integrado en su circuitería. Cuando se plantea un enlace *LOS*, en el intercambio de señal, existe visibilidad y una comunicación directa. Éste es el mejor de los casos y la comunicación se produce en las frecuencias altas, entre 12 y 66 GHz, consiguiendo un radio de cobertura muy alto, y donde las conexiones pueden alcanzar las mayores tasas de transmisión de estas especificaciones. Si los enlaces son del tipo *NLOS*. La señal debe sortear obstáculos constructivos y para evitar los problemas de interferencia que estos pueden introducir en la señal, se opera en las frecuencias más bajas, entre 2 y 11 GHz, lo que provoca que las velocidades de operación de los enlaces sea menor y la cobertura tenga una extensión mucho más reducida, situándose su alcance en una extensión similar a la que cubren las células de telefonía móvil. (H. Labiod, 2007)

4.4.2. Modulación WIMAX

Una de las principales características del WiMAX es la utilización de la modulación OFDM que permite una trasmisión simultánea de datos en distintas frecuencias simultáneas (optimizando el espectro de transmisión), y gracias a su ortogonalidad evita las posibles interferencias entre canales que existen en otros sistemas Wireless.(Autor)

En concreto WiMAX utiliza OFDM con 256 subportadoras, y estas subportadoras van moduladas en BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM o OFDMA (2048) portadoras. La elección de la modulación de las subportadoras vendrá dada por la distancia (esto está directamente relacionado con los valores de CINR y RSSI) que exista entre la SS y la BS, siendo la BPSK la modulación utilizada para las SS que se encuentren a mayor distancia y la 64QAM la utilizada cuando las SS estén muy próximas a la BS. La modulación BPSK es la menos optimizada y la que requiere más potencia, mientras que la 64QAM es la más óptima y requiere menor potencia. (Choi & Tekinay, 2003)

4.5. ZIGBEE

Es un estándar de comunicación inalámbrica centrado en dispositivos de bajo costo, bajo consumo, velocidades de transmisión bajas, seguridad y fiabilidad. El estándar permite la conexión de dispositivos a distancias entre 10 y 75 metros, dependiendo de la potencia de salida. Este estándar opera en tres bandas libres que son 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz. (Autor)

Este protocolo fue creado para enviar paquetes pequeños de datos en una red grande. ZigBee se utiliza para controlar la calefacción, iluminación, sistema de seguridad, etc. de cualquier edificio inteligente. Se espera que ZigBee se aplique para industrias, juguetes, periféricos de PC, componentes electrónicos, sistemas de control automático, medicina, etc. pero en este momento su principal aplicación es en los sistemas de demótica y de automatización. Posee una arquitectura basada en el modelo OSI. El IEEE 802.15.4 define las dos capas más bajas: la Capa Física y la Subcapa de Control de Acceso al Medio de la Capa de Enlace de Datos, la cual se encarga de aislar los detalles de las tecnologías físicas a la capa de control de acceso al medio. Estas capas son utilizadas por ZigBee para crear un marco de trabajo para las aplicaciones, puede funcionar con tan bajo consumo de energía que las baterías pueden durar años, más de mil veces que en otras aplicaciones inalámbricas. (Larrea, 2012)

Características

ZigBee, también conocido como "HomeRF Lite", es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s. Los rangos de alcance son de 10 m a 75 m, puede usar las bandas libres ISM (6) de 2,4 GHz (Mundial), 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red ZigBee puede estar formada por hasta 255 nodos los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver ZigBee dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas (un sensor equipado con un transceiver ZigBee pueda ser alimentado con dos pilas AA durante al menos 6 meses y hasta 2 años). La fabricación de un transmisor que utilice este protocolo consta de menos circuitos analógicos de los que se necesitan habitualmente., además ferentes tipos de topologías como estrella, punto a punto, malla, árbol. Acceso de canal mediante CSMA/CA (acceso múltiple por detección de portadora con evasión de colisiones). Escalabilidad de red, fragmentación, agilidad de frecuencia, gestión automatizada de direcciones de dispositivos, localización, recolección centralizada de datos (el conjunto fue sintonizado específicamente para optimizar el flujo de información en las grandes redes). (Pérez, 2010)

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

Coordinador ZigBee (ZigBee Coordinator, ZC)

El tipo de dispositivo más completo. 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, requiere memoria y capacidad de computación. (H. Labiod, 2007)

Router ZigBee (ZigBee Router, ZR)

Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrece un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario. (H. Labiod, 2007)

Dispositivo final (ZigBee End Device, ZED)

Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo 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. (H. Labiod, 2007)

Basándose en su funcionalidad, puede plantearse una segunda clasificación:

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 interfaces con los usuarios. (Torres, 2005)

Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD)

También conocido como nodo pasivo. Tiene capacidad y funcionalidad limitadas con el objetivo de conseguir un bajo coste y una gran simplicidad

Un nodo ZigBee (tanto activo como pasivo) reduce su consumo gracias a que puede permanecer dormido la mayor parte del tiempo. Cuando se requiere su uso, el nodo ZigBee es capaz de despertar en un tiempo ínfimo, para volverse a dormir cuando deje de ser requerido. Un nodo cualquiera despierta en aproximadamente 15 ms. (Torres, 2005)

4.5.1. Enlaces ZIGBEE

El enlace se lleva a cabo después de que el en enlace de comunicaciones se haya establecido. Una vez el enlace se establece es ya en la implementación en la que se decide de qué manera un nodo puede llegar a formar parte de la red o no. Además, también depende de la seguridad definida para realizar la operación y de cómo se haya implementado. El enlace sólo se permite si la implementación de la seguridad de la red de todos y cada uno de los dispositivos lo permite. La tabla de enlace se implementa en el coordinador ZigBee. Esto es porque se necesita que la red esté continuamente operativa y disponible, con lo que es más probable que el coordinador sea el que pueda ofrecer este servicio. Por otro lado, algunas aplicaciones pueden necesitar tener esta tabla de enlace duplicada, para que esté disponible por si ocurre un fallo de almacenamiento de la tabla original. Las copias de seguridad de la tabla de enlace y/o de otros elementos de datos sobre el coordinador ZigBee ya no pertenecen a la especificación de ZigBee 1.0, por lo que es responsabilidad del software de aplicación. (Pérez, 2010)

4.5.2. Modulación ZIGBEE

En la banda de 2.4Ghz usa la modulación de espectro expandido DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). A una velocidad de transmisión de 250Kbps y a una potencia de 1mW cubre aproximadamente unos 13 metros de radio. El bloque básico de construcción del transmisor de Spread Spectrum en Secuencia Directa (DSSS) se muestra en la figura 7. El dato a transmitir es multiplicado con la secuencia Pseudo-aleatoria (PN) para generar el dato "ensanchado". Los datos son convertidos a la forma analógica y son transmitidos después de la modulación La multiplicación del dato con la secuencia PN provoca el incremento del ancho de banda por un factor conocido como la ganancia de procesamiento (PG). PG se expresa en [dB] y se calcula mediante la razón de cambio del período del dato, Ts, para el período del circuito de la secuencia PN, Tc: donde el Ts >> Tc. (H. Labiod, 2007).

4.6. ESPECIFICACIONES DANI 1.0

4.6.1. Puertos disponibles

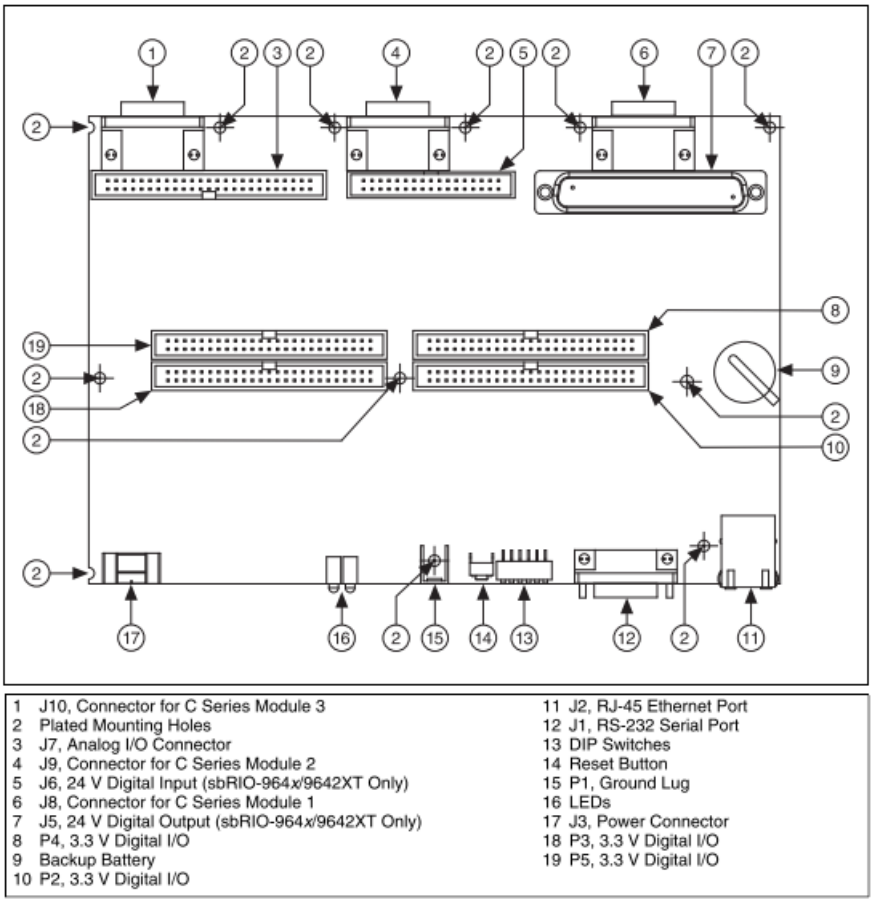


Figura 9. Diagrama de localización de puertos

4.6.2. Conexiones de Tierra

Todas las tierras (D GND, AI GND, AO GND, tierra de lug P1, y los agujeros de montaje chapados) están conectados entre sí internamente enl dispositivo Dani. Los diodos de protección ESD están conectados a los orificios de montaje plateado con un camino inductivo más baja que la ruta de acceso a GND D, por lo que la mejor protección ESD se proporciona mediante la conexión de los agujeros de montaje chapados y la tierra de lug P1 a una planta baja de la tierra inductiva.

Tener precaución al conectar las tierras de tal manera que las corrientes de fuga de suministro de potencia no atraviesen la board. Para verificar la correcta puesta a tierra del dispositivo Dani, la corriente que fluye en el conector J3 de potencia es igual a la corriente que fluye de J3 conector de alimentación. Estas corrientes se deben medir con una sonda de corriente después del montaje .Todas las fuentes de alimentación externas deben tener su conexion a una tierra del sistema externo al dispositivo Dani.

4.6.3. 3.3 Digital I/O

R1, resistencia de 33 Ω y los diodos de protección, D1 y D2, protegen cada canal DIO contra tensiones aplicadas externamente y de ESD. La combinación de R1 y D1 protege contra sobretensión, y la combinación de R1 y D2 protege contra la subtensión. La resistencia de R1 aumenta rápidamente con la temperatura. Durante las condiciones de voltaje, corriente de alta fluye a través de R1 y en los diodos de protección. Alta corriente provoca un calentamiento interno en R1, lo que aumenta la resistencia y limita la corriente.

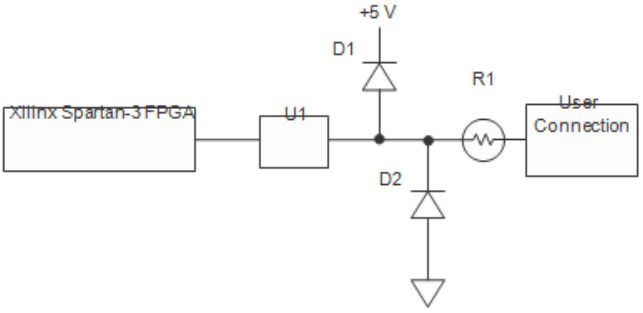


Figura 10. 3.3 Digital I/O

4.6.4. Acceso a la red.

El host central se comunica con el dispositivo a través de una conexión Ethernet estándar. Si el equipo host está en una red, se debe configurar el dispositivo en la misma subred que el equipo host. Si ni el equipo host ni el dispositivo está conectado a una red, puede conectar los dos directamente mediante un cable cruzado.

Para utilizar el dispositivo en una subred distinta de la que el equipo host está accediendo, se debe primero conectar el dispositivo en la misma subred que el equipo host. Usar DHCP para asignar una dirección IP o reasignar una dirección IP estática para la subred en la que desea que este físicamente.

4.6.5. Características Técnicas.

RED	Características
Network Interface	10BaseT y 100Base XT
Compatibilidad	IEEE 802.3
velocidades de comunicación	10 Mbps, 100 Mbps, auto-negociados
Distancia máxima de cableado	100 m / segmento
PUERTO SERIAL RS-232 DTE	
Velocidad de Transmision	Arbitraria
Velocidad de Transmision Maxima	115.200 bps bits de datos
Bits de Datos	5,6,7,8
Bits de Parada	1,2
Paridad	impar, par, marca Espacio, Ninguno
Flujo de Control	RTS/CTS, XON/XOFF, DTR/DSR, None
VELOCIDAD DEL PROCESADOR	
NI sbRIO-9611/9631/9641	266 MHz
NI sbRIO-9612/9632/9642 and NI sbRIO-96x2XT	400 MHz
ASPECTO FISICO	
Torque terminales de tornillo en J3	0,5 a 0,6 N • m (4.4 a 5.3 pulg)
Peso NI sbRIO-961x/9612XT	266.5 g
NI sbRIO-963*x*/9632XT	269.3 g
NI sbRIO-964*x*/9642XT	292.0 g
MEMORIA	
Memoria No Volatil	
NI sbRIO-9611/9631/9641	128 MB minimo
NI sbRIO-9612/9632/9642 and NI sbRIO-96x2XT	256 MB minimo
Memoria del Sistema	
NI sbRIO-9611/9631/9641	64 MB Minimo
NI sbRIO-9612/9632/9642 and NI sbRIO-96x2XT	128 MB minimo

5. RESULTADOS

Luego del análisis minucioso de la información recopilada se logró obtener un conjunto de tablas informativas que ayudarán a realizar una comparación punto a punto de cada una de las tecnologías, punto decisivo para seleccionar las adecuadas para los procedimientos y montajes prácticos.

5.1. Resultados Teóricos.

- ✓ **Tablas comparativas:**

BANDA	ANCHURA	ITU-T	WLAN
6,765-6,795 (MHz)	30 (KHz)	Todas	No
13,553-13,567 (MHz)	14 (KHz)	Todas	No
29,957-27,283 (MHz)	326 (KHz)	Todas	No
40,66-40,70 (MHz)	40 (KHz)	Todas	No
433,05-434,79 (MHz)	172 (KHz)	EMEA	No
902-928 (MHz)	26 (MHz)	América	Solo en América
2,4-2,5 (GHz)	100 (MHz)	Todas	si
5,725-5,875 (MHz)	150 (MHZ)	Todas	si
24-24,25 (GHz)	250 (MHz)	Todas	No
61-61,5 (GHz)	500 (MHz)	Todas	No
122-123 (GHz)	1 (GHz)	Todas	No
244-246 (GHz)	2(GHz)	Todas	No

Tabla 5. Bandas ISM (Guerra, 2011)

Estándar	Banda de Frecuencia	Ancho de banda	Tipo de Modulación	Tasa de Datos
802,11	2,4 GHz	20MHz	DSSS,FHSS	2Mb/s
802,11b	2,4 GHz	20MHz	DSSS	11Mb/s
802,11 a	5GHz	20MHz	OFDM	54Mb/s
802,11g	2,4 GHz	20MHz	DSSS,OFDM	54Mb/s
802,11n	2,4 GHz Y 5GHz	20MHz Y 40MHz	OFDM	600Mb/s
802,11ac	5GHz	20,40,80 Y 160MHz	OFDM	6,93Gb/s
802,11ad	60GHz	2,16GHz	SC,OFDM	6,76Gb/s

Tabla 6. Estándar Wifi 802,11 (Pére, 2010)

Características	LAN Inalámbrica	LAN Ethernet
Capa Física	Frecuencia de Radio	Cableado
Acceso de Medios	Prevención de Colisión	Detección de colisiones
Disponibilidad	Al público, con una radio NIC en el rango de un punto de acceso	Conexión por cable
Interferencia	SI	Irrelevante
Regulación	A cargo de las autoridades locales	Estándar IEEE

Tabla 7. Comparación LAN Y WLAN (Edgar García Flores, 2011)

CATEGORIA	ESTÁNDAR	CANALES	ANCHO DE BANDA	POTENCIA DE TRANSMISION	TASA DE TRANSMISION
Teléfonos Móviles Comunes	802,11 b/g	1-11	20 MHz	11 dBm	54 Mb/s
Smartphones	802,11n	1-11	20 MHz	11 dBm	65-72 Mb/s
Tablets	802,11n	1-11,36-48,149-161	20 MHz	11-14 dBm	65-72 Mb/s
Notebooks	802,11n	1-11,36-48,149-161	20/40 MHz	11-17 dBm	144-300 Mb/s
PC Bajo Rendimiento	802,11n	1-11	20 MHz	17-20 dBm	144 Mb/s
PC Medio Rendimiento	802,11n	1-11,36-48,149-161	20/40 MHz	17-20 dBm	144-300 Mb/s
PC Alto rendimiento	802,11n	1-11, 36-48, 52-64, 100-140, 149-161	20/40 MHz	17-20 dBm	216-450 Mb/s
Teléfonos VoIP	802,11 a/b	1-11,36-48,149-161	20 MHz	11-16 dBm	54 Mb/s

Tabla 8. Rendimiento de los dispositivos (Montero Vásquez, 2011)

APLICACIÓN	RENDIMIENTO	CALIDAD DEL SERVICIO
Navegadores WEB/Email	500 Kbps-1Mbps	WMN 0(BE)/DSCP 0
Videoconferencia	384Kbps/1Mbps	WMM 5 (VI)/DSCP AF41 (34)
Streaming de Video SD	1-15 Mbps	WMM 4 (VI)/DSCP CS4(32)
Streaming de Video HD	2-5 Mbps	WMM4 (VI)/DSCP CS4 (32)
Streaming a Apple TV	2,5-8 Mbps	WMM4 (VI)/DSCP CS4 (32)
Face Time	900 Kbps	WMM 5 (VI)/DSCP AF41 (34)
Streaming de video You tube	500 Kbps	WMM 0(BE)/DSCP 0
Impresiones	1 Mbps	WMM 0(BE)/DSCP 0
Compartir Archivos	5 Mbps	WMM 0(BE)/DSCP 0
Capacitaciones On Line	2-4 Mbps	WMM4 (VI)/DSCP CS4 (32)
Servicios de PC	85-150 Kbps	WMM 4 (VI)/DSCP CS4(32)
Aplicaciones de PC	20 Kbps(por App)	WMM4 (VI)/DSCP CS4 (32)
Back Up de Dispositivos	Ancho de Banda Disponible	WMM 1 (BK) /DSCP CS1 (8)
Llamadas sobre VoIP	5 Kbps	WMM 3 (BE)/ DSCP CS3(24)
Streaming sobre VoIP	27-93 Kbps	WMM 6 (VO)/DSCP EF (46

Tabla 9. Rendimiento y Calidad (José Manuel Huidobro Moya, 2006)

MATERIALES	GRADO DE ATENUACIÓN	EJEMPLOS
Aire	Ninguno	Aire Libre, Patio Interno
Madera	Bajo	puerta, Piso, Medianera
Plástico	Bajo	Medianera
Vidrio	Bajo	Ventanas sin teñir
Vidrio Teñido	Medio	Ventanas Teñidas
Agua	Medio	Acuario, Fuente
Seres Vivientes	Medio	Multitud, Animales, personas, plantas
Ladrillos	Medio	Paredes
Yeso	Medio	Medianeras
Cerámica	Alto	Tejas
Papel	Alto	Bobinas de Papel
Concreto	Alto	Muros de Carga, pisos, columnas
Vidrio a prueba de Balas	Alto	Ventanas a prueba de balas
Metal	Muy Alto	Concreto reforzado, espejos, armarios Metálicos, cabina del ascensor

PARÁMETROS	ZIGBEE	UWB

Tabla 10. Características WIFI en instalaciones (Corredera, 2009)

TIPO DE SERVICIO	EJEMPLO DE APLICACIÓN	VELOCIDAD BINARIA REQUERIDO	RETRASO ADMISIBLE (S)	ENTORNO DE USO
VOZ	Conversación (telefonía)	8-32 Kb/seg	Tiempo Real	Todos
VOZ/SONIDO	Grabación (correo de voz, etc.)	8-32 Kb/seg	(1s)	Todos
DATOS	Archivos Informáticos	1,6 Mb/archivo	<10, <120	interiores, Micro celdas
TEXTO	Teletexto	40 Kb/Página	<2s/página	Todos
FOTO FIJA	Imagen Alta Calidad (color), Fax (G4)	5 Mb/página, 500 Kb/página	< 10 s/página, <180 s/página	interiores, Micro celdas
IMAGEN EN MOVIMIENTO	Videoteléfono, Video Conferencia de Alta calidad	64Kb/s, <384 Kb/s	<10 s/páginas, Tiempo Real	interiores, Micro celdas, Todos
PORTADORES RDSI	2B + D, 1B +D	144 Kb/s, 80 Kb/s	Tiempo Real desde Able.	interiores, Micro celdas, Todos

Tabla 11. Rendimiento (Aumaille, 2002)

Potencia de Transmision	1.0 mW	0,1 mW
Ancho de Banda	5 MHz	500 MHz
Tasa de transmisión	100 kbps	1000 Kbps
Consumo de Energía	15 mW	1,5 mW

Tabla 12. Requerimientos de Calidad (Corredera, 2009)

Aplicación	Fiabilidad	Retardo	Jitter	Ancho de Banda
Correo Electrónico	Alta	Alto	Alto	Bajo
Transferencia de Ficheros	Alta	Alto	Alto	Medio
Acceso Web	Alta	Medio	Alto	Medio
Login Remoto	Alta	Medio	Medio	Bajo
Audio Bajo Demanda	Media	Alto	Medio	Medio
Video Bajo Demanda	Media	Alto	Medio	Alto
Telefonía	Media	Bajo	Bajo	Bajo
Videoconferencia	Media	Bajo	Bajo	Alto

Tabla 13. Requerimientos de Potencia (Choi & Tekinay, 2003)

5.2. Resultados Prácticos

Pruebas de conexión sin obstáculos (espacio libre).

Se realizaron tres series de prueba donde el objetivo principal es identificar los alcances obtenidos por el router utilizado, con base en estas pruebas se pueden obtener una serie de resultados y conclusiones que son determinantes para conocer si la tecnología escogida cubre las necesidades generadas por el proyecto.

- ✓ **Router y un dispositivo externo:**

Figura 11. Conexión directa router a dispositivo externo espacio libre (Autor)

En esta prueba se logró identificar el alcance máximo permitido por un solo router transmitiendo, y un dispositivo externo, en este caso un teléfono celular conectándose a esta red generada, la prueba se realizó de la siguiente manera. Se generó una red wifi en el router TL-MR3020 con parámetros de potencia al máximo.

- ✓ Conexión del celular a la red generada por el router.
- ✓ Envío de ping extendido desde celular hacia el router.
- ✓ Se empezó a retirar el teléfono del router gradualmente hasta el punto que no se tuvieran respuesta del ping y en ese punto se hizo la medición de la distancia.
- ✓ La prueba se realizó en 4 ocasiones, una en cada dirección de las caras del router.
- ✓ Se realizó el promedio de las 4 mediciones y se estipulo como valor máximo de alcance.

Obteniéndose los siguientes resultados.

	Distancia (m)	Potencia (dBm)	ping
	0	-4	Si
	0	-1	Si
	0	-2	Si
	0	-2	Si
Promedio	0	-2,25	Si
	5	-41	Si
	5	-44	Si
	5	-41	Si
	5	-42	Si
Promedio	5	-42	
	10	-43	Si
	10	-44	Si
	10	-45	Si
	10	-45	Si
Promedio	10	-44,25	
	20	-53	Si
	20	-57	Si
	20	-53	Si
	20	-52	Si
Promedio	20	-53,75	Si
	40	-73	Si
	40	-87	No
	40	-82	Si
	40	-71	Si
Promedio	40	-78,25	Si

Tabla 14. Resultados mediciones, muestra cada 15 seg (Autor)

- ✓ **Dos routers un dispositivo externo.**

Figura 12. Red de dos router y un dispositivo externo (Autor)

En esta prueba el objetivo es poder conocer cuál es la distancia máxima para que los routers establezcan la red mesh y a su vez la distancia máxima que puede estar alejado el móvil del router más cercano, pero con comunicación al router lejano, es decir cuál es la distancia máxima que puede estar el dispositivo del router lejano usando como salto intermedio el router agregado.

- ✓ Se generó una red wifi en los router TL-MR3020 con parámetros de potencia al máximo, teniendo en cuenta que la red debe tener el mismo nombre para ambos routers.
- ✓ Se activó la funcionalidad mesh de los router.
- ✓ Se conectó el celular a la red generada.
- ✓ Se realizó un ping extendido desde celular hacia el router del extremo lejano.
- ✓ Se empezó a retirar el teléfono del router gradualmente hasta el punto que no se tuvieran respuesta del ping y en ese punto se hizo la medición de la distancia.
- ✓ La prueba se realizó en 4 ocasiones, una en cada dirección de las caras del router.
- ✓ Se realizó el promedio de las 4 mediciones y se estipulo como valor máximo de alcance.

Obteniéndose los siguientes resultados.

Equipos		Distancia (m)	Ping
Router	Router	0	Si
		10	Si
		20	Si
		30	Si
		40	Si
		55	Si
		57	Si
		60	No
Router	Movil	0	Si
		10	Si
		20	Si
		30	Si
		35	Si
		37	Si
		40	No

Tabla 15. Distancias con dos Router (Autor)

Es evidente el incremento de distancias entre el router 1 y el móvil, teniendo como intermediario al router 2, donde la distancias posible creció mas de 2 veces, teniendo en cuenta que las tarjetas de red de los routers son de mayor potencia que la del móvil, por lo que el salto intermedio supera las distancias que hubiese alcanzado el móvil.
Es decir cuando los robot Dani deseen comunicarse a mayor distancia podrán adicionarse routers intermedios que sirvan como repetidores para transmitir la señal, o en pocas palabras en una red de trabajo con múltiples robots equipando la red mesh diseñada incrementarán los rangos de transmisión, pues cada dispositivo será usado como un punto de enlace adicional para direccionar el trafico necesario.

Estudio probabilístico de uso y conocimiento de tecnologías inalámbricas por medio de encuesta On line.

El estudio se realiza con una muestra de 100 personas (anexo 1-CD, resultados encuesta)

Tecnología	¿Cuál de las siguientes tecnologías conoce?	¿Cuál de las siguientes tecnologías conoce?
Wifi	96	99%
Bluetooth	92	95%
WiMAX	38	39%
Infrarrojo	86	89%
ZigBee	43	44%
GSM	68	70%
NFC	4	4%

Tabla 16. Resultado de Tecnologías (Autor)

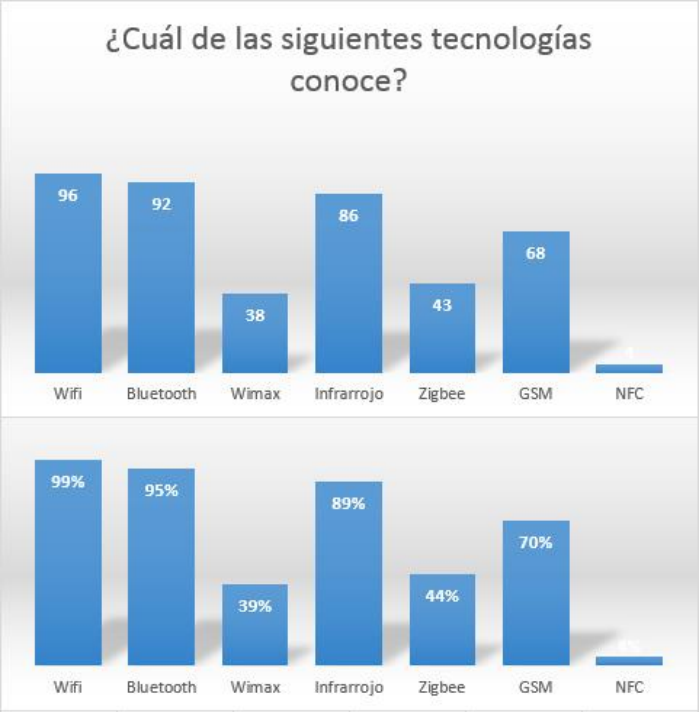


Figura 13. Análisis de resultados del uso de tecnologías inalámbricas (Autor)

En la siguiente tabla se relaciona la frecuencia de uso de las diferentes tecnologías inalámbricas, de acuerdo a la encuesta realizada por medio virtual.

Tecnología	Esporádicamente	Nunca	Diario	Una vez a la semana
Wifi	1	1	92	3
Bluetooth	44	3	19	22
WiMAX	14	83	0	0
Infrarrojo	18	56	19	1
ZigBee	14	79	2	2
GSM	4	21	64	8

Tabla 17. Frecuencia de uso de tecnologías inalámbricas (Autor)

Tecnología	Ninguno	1	02-abr	5 o más
Wifi	1	3	55	37
Bluetooth	0	6	75	16
WiMAX	79	10	6	0
Infrarrojo	44	21	29	3
ZigBee	80	9	6	2
GSM	21	21	49	6

Tabla 18. Cantidad de equipos con redes inalámbricas (Autor)

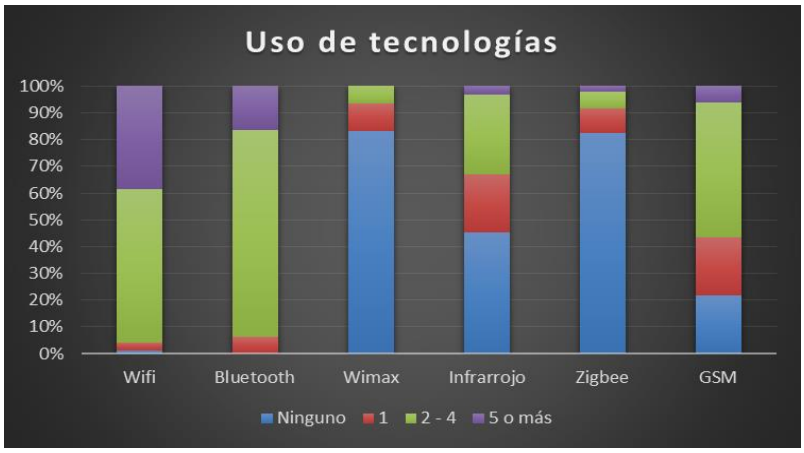


Figura 14. Cantidad de equipos con redes inalámbricas (Autor)

Como se ve en la figura 12 los usuarios cuentan con una mayor cantidad de dispositivos Wifi sobre las otras tecnologías, teniendo en segundo lugar dispositivos compatibles con la tecnología de Bluetooth y los de menor relevancia son WiMAX y ZigBee, por lo que empiezan a ser descartados de nuestra tecnología ideal para la implementación en las plataformas Dani.

	Infrarrojo	**Bluetooth**	**WIFI**	**ZigBee**
Estándar	IrDA	IEEE 802.15.(1,2,3)	IEEE 802.11 a, b, g n, ac	IEEE 802.15.4
Ancho de banda	2,4 kbit/s - 16 Mbit/s	1 Mbit/s - 24 Mbit/s	10 Mbit/s - 300 Mbit/s	20 Kbit/s - 250 Kbit/s
Alcance máximo	10 m	23 m	Indefinido	100 m
Angulo de Apertura	30°	360°	360°	360°
Topologías	Punto – Punto	Punto - Punto, Punto-Multipunto	Punto - Punto Estrella Árbol Malla	Punto - Punto Estrella Árbol Malla
Frec. de operación	800nm-1000um	2.4MHz	900 MHz; 2.4GHz; 5GHz	2.4MHz
Máximo # Dispositivos Interconectados	2	8	Indefinido	65535
Uso actual (redes de baja potencia)*	1	3	4	2

Tabla 19. Comparativo tecnologías Inalámbricas (Autor)

6. IMPLEMENTACIÓN.

Para la implementación de decidió usar el router TP-Link TL-MR3020 porque cumple con las siguientes características.

- Tamaño reducido: Se tuvo en cuenta el tamaño del dispositivo a usar de tal forma que fuera posible adaptarlo a los robots Dani, sin sobre dimensionar su tamaño.

- Consumo de energía: Se requería de un dispositivo que pudiera ser alimentado por corriente DC y además que tuviera el menor consumo posible con el fin de permitir que la plataforma robótica le proporcionará el suministro energético necesario con el mayor tiempo de autonomía posible.

- Firmware: Se buscaba un dispositivo que permitiera manipular su firmware con el fin de utilizar open source, teniendo en cuenta las características que agrega este a los dispositivos, en este caso permitiendo generar redes Mesh en un dispositivo que no tiene esta característica en su firmware por defecto.

- Características adicionales: Este router cuenta con algunos complementos que pueden ser usados en la escalabilidad del proyecto como lo son:

    - ✓ Puerto USB: el cual permite leer, guardar y transmitir información desde y hacia un pendrive USB 2.0

    - ✓ Router 3G: Permite la conexión de una simcard para la conexión GSM del dispositivo y de esta forma tener una conexión a la Internet.

    - ✓ Interfaz LAN y WLAN: Permite la utilización de ambas interface independientemente o en bridge dependiendo de las necesidades del usuario, además de permitir la generación de múltiples interfaces virtuales, para generar Multi-SSID u cualquier otra utilidad que se requiera.

En la figura 13 se puede ver el firmware por defecto que trae consigo el router, el cual permite una manipulación web de la configuración, pero restringe dicho control a las herramientas definidas por TP-Link es por esto que es necesario realizar un cambio en el firmware, a uno que permite la generación de redes mesh y además creación de interfaces. Por su amplia documentación web, por ser open source, además de permitir la generación de librerías y redes mesh se escoge el firmware OpenWrt, el cual es compatible totalmente con el router seleccionado.

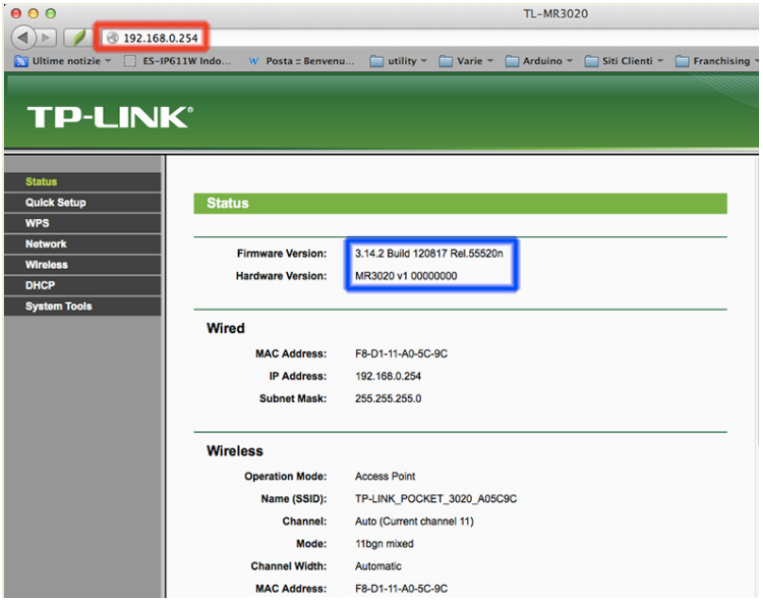


Figura 15. Vista web y firmware por defecto del router MR3020 (Autor)

El cambio del firmware es un proceso bastante sencillo para este dispositivo, basta únicamente con descargar el firmware, ir a la sección de actualización del dispositivo donde se debe buscar el archivo descargado anteriormente, cargarlo y esperar a que se realice el proceso de actualización. Luego de esto el dispositivo se reiniciara e iniciara con su nuevo sistema operativo, en la figura 14, se evidencia dos formas de acceder al dispositivo, la primera (izquierda) por SSH gestión por medio de comandos y la segunda (derecha) gestión web.

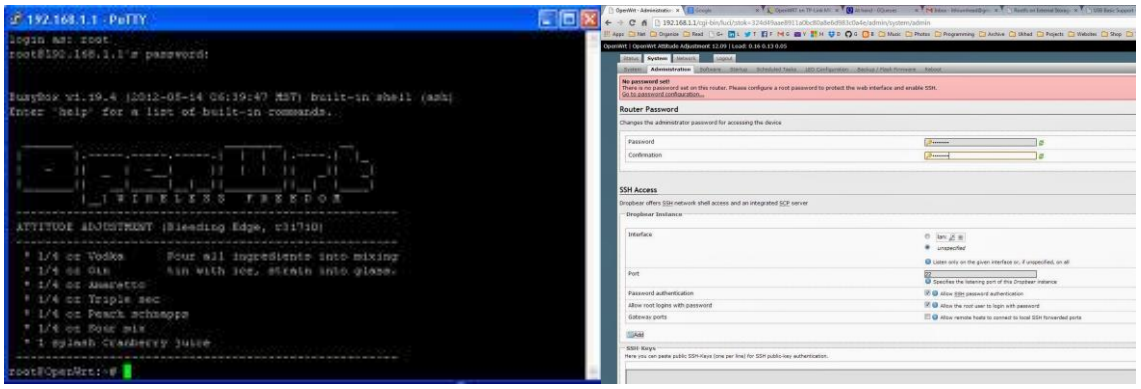


Figura 16. Páginas de inicio OpenWrt mediante SSH (izquierda) y mediante interfaz gráfica web (derecha) (Autor)

6.1. Diseño de Red Mesh

Basados en el análisis que indica que ninguno de los dispositivos Dani tiene un mando sobre los demás se decide realizar una red ad-hoc la cual es aceptada por es router MR3020 y genera un diagrama como el mostrado en la figura 15, una topología en malla que interconectará todas las plataformas y permitirá as u vez extender la red generando un mayor alcance de la comunicación pues usará saltos en caso de ser necesario llegar aún dispositivo con el cual no se tiene comunicación directa.

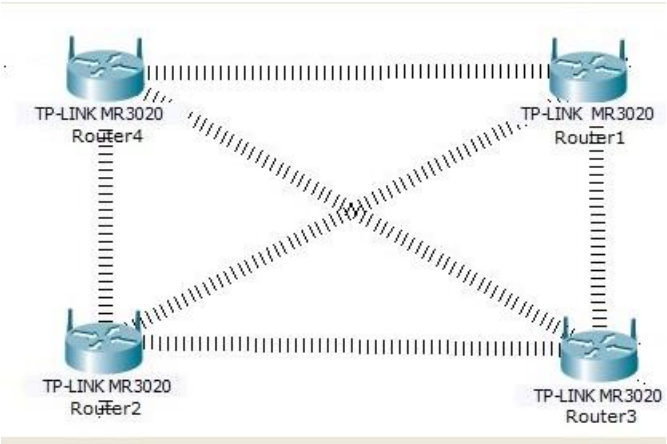


Figura 17. Red mesh generada por los dispositivos en configuración ad-hoc (Autor)

Red ad-hoc: Una red ad hoc inalámbrica es un tipo de red inalámbrica descentralizada. La red es ad hoc porque no depende de una infraestructura pre-existente, como routers (en redes cableadas) o de puntos de accesos en redes inalámbricas administradas. En lugar de ello, cada nodo participa en el encaminamiento mediante el reenvío de datos hacia otros nodos, de modo que la determinación de estos nodos hacia la información se hace dinámicamente sobre la base de conectividad de la red. En adición al encaminamiento clásico, las redes ad-hoc pueden usar un flooding (inundación de red) para el re-envío de datos. (Zanjireh, Larijani, & Popoola, 2014)

Una red ad hoc se refiere típicamente a cualquier conjunto de redes donde todos los nodos tienen el mismo estado dentro de la red y son libres de asociarse con cualquier otro dispositivo de red ad hoc en el rango de enlace. Las redes ad hoc se refieren generalmente a un modo de operación de las redes inalámbricas IEEE 802.11. (Lasso, 2014)

7. CONCLUSIONES

- Las aplicaciones inalámbricas en los últimos años han alcanzado un lugar muy importante en el desarrollo de las comunicaciones, cambiando la forma de ver las misma, desde su concepción, planeamiento e implementación.

- La tecnología infrarroja fue descartada desde el estudio teórico, debido a que sus ángulo de cobertura de 30° aproximadamente no permite una comunicación permanente a entornos de trabajos omnidireccionales como los son los movimientos y comportamiento de las plataformas robóticas, además de ser altamente sensibles a obstáculos, por lo que no son adecuados para interiores, parámetros de gran necesidad en la implementación de este proyecto.

- Al tratarse de una tecnología estandarizada y un desarrollo tan gigante de la misma, los precios de dispositivos para la implementación de redes Wi-Fi disminuye constantemente, lo que hace de este tipo de configuración de red cada vez más accesible.

- Las pruebas fueron concluyentes al determinar la tecnología Wifi como la más adecuada para la implementación en los Robots Dani, teniendo en cuenta que es la tecnología más usada por los usuarios consultados, la cantidad de dispositivos por persona fue la más elevada, además de cumplir con requerimientos esenciales como bajo consumo de potencia, largo alcance, alta velocidad de transmisión, alto número de dispositivos aceptados en la red, topología física y lógica adecuada para el trabajo realizado por las plataformas robóticas.

- Teniendo como parámetro importante del estudio la escalabilidad, la tecnología Wifi toma fuerza, ya que es una alternativa altamente conocida, por esto las compañías invierten en desarrollos constantes y se han creado protocolos, dispositivos, actualizaciones y demás que mejoran su funcionamiento y dan escalabilidad y proyección a esta implementación.

- El constante desarrollo de Wifi como una tecnología de integración ha logrado que sean múltiples las compañías y personas que invierten sus recursos en mejorar la funcionalidad de este, es por eso que se logra contar con un firmware como OpenWrt que es robusto, libre y de fácil acceso, generando una reducción de costos en su implementación por no requerir pago de licencias ni adicionales, además permite encontrar una variada y amplia gama de documentación, dando soluciones más rápidas y eficientes frente a problemas o dudas encontradas en el funcionamiento del servicio, todos estos parámetros son representados como reducción de precio de implementación.

- El cambiar del firmware a OpenWrt permitió tener un mayor control sobre el dispositivo, aunque no se efectúan cambios físicos, si es posible generar configuraciones y nuevas topologías que no son posibles desarrollar con el software por defecto del router, esto debido a que OpenWrt al ser un firmware de código abierto permite intervenir el dispositivo con menores restricciones y generar librerías que manipulen ampliamente el core del mismo.

- Wi-Fi que se ha mantenido entre otras tecnologías de última milla, como la mejor solución dentro de entornos locales. Una de sus principales ventajas es que no es necesario utilizar el cableado Ethernet para formar una red.

8. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.). Obtenido de http://tsusistemas.tripod.com/julia1.html

(2007). *Definicion y fundamentos de antenas.* Quito.

Informatica Moderna. (2008).

ASSIGNATURE. (07 de 2014). Recuperado el 01 de 2015, de http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lsed/2003-04/0.IR/6.htm

Allard-Jacquiun, G. T. (2008). Zigbee-Wifi Coexistance. *SchneiderElectric* .

Alliance, W.-F. (2015). *Wi-Fi Alliance*. Obtenido de http://www.wi-fi.org/

Association, I. D. (2008). Estandard de Comunicaciones IDRA. *Abood S. Quality, 2*(23), 8-10.

Aumaille, B. (2002). *J2EE: Desarrollo de aplicaciones Web.* España: Eni.

Bernal, I. (2007). Visión general de Tecnologías Inalámbricas. Ecuador: Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.

Boquera, M. C. (2003). *Servicios avanzados de telecomunicación.* España: Diaz de Santos.

Choi, W.-J., & Tekinay, S. (2003). Location based services for next generation wireless mobile network. *Vehicular Technology Conference*, 22-25. Obtenido de Woo-Jin Choi; Tekinay, S., "Location based services for next generation wireless mobile networks," Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring. The 57th IEEE Semiannual , vol.3, no., pp.1988,1992 vol.3, 22-25 April 2003

Clodoaldo Robledo Sacristán, D. R. (2011). *Programación en Android.* España: Aula mentor.

Corredera, J. R. (03 de 2009). Tecnologías y Servicios para TSSI. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.

Cruz, Á. P. (26 de Julio de 2004). *Universidad ICESI.* Obtenido de http://www.icesi.edu.co/contenido/pdfs/apachon_gsm.pdf

Diaz, C. J. (2 de Noviembre de 2010). Telecomunicaciones. *Transmision en Infrarrojos*.

Dordoigne, J. (2014). *Redes Informaticas: Nociones fundamentales.* eni, ediciones.

Edgar García Flores, J. A. (2011). *CISCO, CCNA 3.*

e-Learning. (s.f.). Obtenido de Alcance y Cobertura.

Electronica Basica. (s.f.). Obtenido de Electronica Basica: http://www.electronica-basica.com/infrarrojo.html

es.kyoskea.net. (21 de 08 de 2013). *www.es.kioskea.net.co*. (kyoskea) Recuperado el 02 de 10 de 2015, de http://www.kyocera.com

Gadgets. (2010). Sistema operativo android. *Gadgets*, 60-64.

Giraldez, J. R. (2010). *Modelado del retardo de Transmision en Bluetooth 2,0 + EDR.* Malaga: Universidad de malaga, escuela tecnica superior de Ingenieros de Telecomunicacion.

Guerra, L. L. (2011). Intoducción Estándar IEEE 802Estándar IEEE 802.11 Topología WLAN . *Redes Inalámbricas* .

H. Labiod, H. A. (2007). *"Wi-FiTM, BluetoothTM, ZigbeeTM and WiMaxTM.* Springer,.

IEEE 802.15 Working Group for WPAN. (s.f.). (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) Recuperado el 2 de 02 de 2016, de http://grouper.ieee.org/groups/802/15/index.html

ITU, I. T. (1 de Enero de 2013). *ITU*. Obtenido de http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/sp/T-SP-E.212B-2013-PDF-E.pdf

J.M. Paés, F. G. (Juunio 2004). Seminario Técnico "Tecnologías inalámbricas en Domotica". *propagación y planificación radioeléctrica.* Santiago de Chile.

Jorge Cabrejas Peñuelas, J. J. (2011). *3GPP LTE: Hacia la 4G móvil.* Barcelona, España: Marcombo.

José Manuel Huidobro Moya, R. C. (2006). *Sistemas de telefonía.* Madrid, España: Thomsom .

Larrea, D. G. (2012). Transmision Inalambrica. *Revista conceptual UCB*, 1-15.

Lasso, J. (19 de Noviembre de 2014). Obtenido de Nueva Tecnologia de Redes: http://new-redes.blogspot.com.co/2014/11/red-ad-hoc-inalambrica-una-red-adhoc.html

Magro Segura, O. (10 de Octubre de 2011). *Universidad Carlos III de Madrid.*

Mishra, A. R. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G ... to 4G.* Inglaterra: Wiley.

Montero Vásquez. (2011). *Localización y Seguimiento por GPS con Android*. Obtenido de Universidad Rey Juan Carlos.

Mora, S. L. (2012). *Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web.* España: Club universitario.

Moya, o. M. (2008). *Redes y servicios de telecomunicaciones.* España: Thomson.

ms.gonzalez. (28/08/2014). Velocidad de las redes WiFi N en entornos residenciales. *Redes Telemáticas*.

Murillo, R. G. (2008). *Espectroscopia Infrarroja.* Bogota.

Pais, E. (13 de Septiembre de 2011). *EL pais.* Obtenido de http://tecnologia.elpais.com/tecnologia/2011/09/13/actualidad/1315904463_850215.html

Pére, E. H. (2010). *Tecnologías y redes de transmisión de datos.* Mexico: Limusa.

Perez, G. (s.f.). *Espectrometria.com*. Obtenido de http://www.espectrometria.com/espectrometra_infrarroja

Ponce, M. C. (2006). *Tesis Doctoral Estudio del estándar IEEE 80.15.4 "ZIGBEE" para comunicaciones inalámbricas de área personal de bajo consumo de energía y comparación con el estándar IEEE 802.15.1"BLUETOOTH"".* Ecuador: Escuela Politécnica Nacional de Ecuador.

Quiroz, S. A. (2004). Redes de Sensores Inalambricos Zigbee.

Rebollo, J. B. (2008). *Sistemas de Telefonia conceptos básicos .* España: Lulu.

Revilla, J. M. (3 de Abril de 2013). *http://www.itespresso.es/*. Obtenido de http://www.itespresso.es/movil-cumple-40-anos-109407.html

Rodriguez Pérez, S. (2003). *Contribución al estudio de las técnicas de simulacion de canales ópticos no guiados e interiores aplicadas al diseño de receptores en diversidad ángular.* Tenerife.

Rodríguez, C. A. (2007). *Grua por medio de un Siistema Inalambbrico.* Pamplona, Colombia.

Rodríguez, D. M. (2002). *Sistemas inalámbricos de comunicación personal.* México: Alfaomega.

Royce, W. (1970).

Soriano, J. E. (2012). *Android: Programación de dispositivos móviles a través de ejemplos.* Barcelona: Marcombo.

T., J. J. (2-2009). *Redes Wimax* . Obtenido de http://redeswimax.jimdo.com/wimax/arquitectura-de-red-wimax-topolog%C3%ADas/

tech, H. (2015). Introducción a WI-FI. *High-Tech, 1*, 1-7.

Telecomunicaciones, C. o. (2007). *Emisiones Electromagneticas de los sistemas de telefonia movily acceso fijo inalambrico.*

Tiziana Priede Bergamini, C. M. (2007). *Marketing móvil: una nueva herramienta de comunicación.* España: Netbiblo.

Torres, J. J. (2005). *Juan José Yunquera Torres.* Sevilla: Universidad de Sevilla.

Valeria Jordán, H. G. (2010). *Acelerando la revolución digital: banda ancha para América Latina y el Caribe.* Santiago de Chile.

Vasquez, R. J. (2008). *Consulta y actualización de base de datos mediante equipos móviles.* Medellin, Colombia: Itm.

Vértice, E. (2010). *Técnicas avanzadas de diseño web.* España: Vertice.

Zanjireh, M. M., Larijani, H., & Popoola, W. O. (2014). Activity-aware clustering algorithm for wireless sensor networks. *ieee xplore*.